

平成15年度

新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務

調査研究報告書

**S i C半導体 / デバイス事業化・普及戦略に係わる
調査研究**

平成16年3月

財団法人 新機能素子研究開発協会

まえがき

パワーエレクトロニクスによる電力制御技術を通じた電力・エネルギー消費削減対策が注目されているが、現在用いられているシリコン(Si)による半導体素子は、その材料物性値からくる性能限界のため、パワー半導体素子の性能を革新的に向上させることは困難となっている。この状況の中で、Siの物性限界をはるかに凌ぐ物性値を持つシリコンカーバイド(SiC)による低損失デバイスの開発が、国内外で活発に進められている。

日本では平成10年度から14年度までの5年間、国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」においてSiC材料・デバイスの基盤技術開発を実施した。この技術をベースに「エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業」の一環として、SiCデバイス技術の高度化、実用化を狙って2つの先導研究と3つの実用化研究を15年度より開始した。また、基盤技術開発と並行して、SiCデバイスの将来の可能性についても5年間にわたり詳細に調査した(「次世代パワー半導体デバイス実用化調査」:(財)エンジニアリング振興協会)。以上の開発努力により、技術的到達点は実用化を見通すことのできる段階にまで至るものと期待されているものの、SiC基板の世界シェアが85%にも達する先進の巨人の存在を前にして、広範な普及を期待するには超えなければならない高い障壁のあることは否定できない。

この背景にあって(財)新機能素子研究開発協会は、新エネルギー・産業技術研究開発機構より「SiC半導体/デバイス事業化・普及戦略に係わる調査研究」を受託し、平成15年12月に「次世代パワーエレクトロニクス研究開発戦略委員会」(委員長:東京理科大学正田英介教授)を組織し、調査を開始した。本調査研究の遂行に当たっては「川上から川下まで」を合い言葉に、材料・基板技術から、デバイス技術およびパワエレ技術までの応用分野まですべての関係者を網羅したネットワークを形成し、広範な協力体制を構築しながら必要な戦略の立案を企図した。

また同時に、世界の技術開発の現状、各国の関係機関の動向などについて最新情報の集積に努め、研究開発の方向性を見定める一助とした。

本調査は各方面の方々の熱心な協力を得て短期間ながら順調に進めることができた。以下に調査の結果得られた成果について述べる。

目次

- 1 . SiC 半導体材料 / デバイスの事業化・普及に向けて
- 2 . SiC、GaN、ダイヤモンド半導体材料開発の最新動向
 - 2.1 SiC 半導体材料
 - 2.1.1. SiC デバイス実用化におけるウェハ技術の意義
 - 2.1.2. ウェハ開発の現状分析
 - 2.1.3. 技術的課題と課題解決の方策
 - 2.2 SiC エピタキシャル膜
 - 2.2.1 大口径、均一化
 - 2.2.2 スループット向上
 - 2.2.3 表面欠陥の低減
 - 2.2.4 転位密度の低減
 - 2.2.5 オフ角度の低減
 - 2.2.6 まとめ
 - 2.3 SiC 結晶基板とエピ膜の製造技術上（量産技術上）の問題点
 - 2.3.1 SiC 基板の種類
 - 2.3.2 インゴット生産上の問題点
 - 2.3.3 ウェハ加工の問題点
 - 2.3.4 エピ工程の問題点
 - 2.4 GaN 半導体材料
 - 2.4.1 III 族窒化物半導体材料
 - 2.4.2 デバイス技術
 - 2.5 ダイヤモンド半導体材料
 - 2.5.1 材料プロセス技術
 - 2.5.2 デバイス技術
 - 2.5.3. まとめ
 - 2.6 SiC 半導体材料事業化における課題
 - 2.7 SiC 基板材料事業化・普及の課題解決の方策
- 3 . SiC 半導体デバイス開発の最新動向
 - 3.1 技術的重要課題
 - 3.2 SiC 半導体デバイス製造上の課題
 - 3.2.1 材料技術
 - 3.2.2 プロセス技術

- 3.2.3 実装技術
- 3.3 SiC 半導体デバイス事業化上の課題
 - 3.3.1 SiC 量産化技術の課題
 - 3.3.2 イオン注入工程における課題
- 3.4 SiC デバイス事業化のための課題解決の方策

- 4. パワーエレクトロニクスからの要請
 - 4.1 電力システム応用
 - 4.1.1 電力システムをとりまく状況
 - 4.1.2 電力システムでのパワーデバイス
 - 4.1.3 SiC デバイスの適用効果と課題
 - 4.1.4 展望
 - 4.2 EV/HEV 応用
 - 4.2.1 省エネ及び環境への対応
 - 4.2.2 HEV・FCEV・EV
 - 4.2.3 電源・モータ・制御システム
 - 4.2.4 インバータ
 - 4.2.5 おわりに
 - 4.3 IT 電源系応用
 - 4.3.1 IT 網の構成
 - 4.3.2 IT 電源系の構成
 - 4.3.3 SiC による IT 電源系の高効率化の効果の試算
 - 4.3.4 SiC への期待
 - 4.4 鉄道システム応用
 - 4.4.1 電気鉄道車両
 - 4.4.2 電気鉄道用電力設備
 - 4.5 家電応用

- 5. SiC 半導体材料 / デバイスの事業化・普及ロードマップ

- 6. SiC 半導体材料 / デバイスの導入効果

- 7. 結論

付録：SiC 関連論文リスト

1. SiC 半導体材料 / デバイスの事業化・普及に向けて (調査研究の位置づけ)

パワーエレクトロニクスによる電力制御技術を通じた地球環境対策、電力消費削減対策が注目されている。特に自動車(電池自動車EV,燃料電池自動車FCEV,およびハイブリッド自動車HEV)、IT/CPU 電源、汎用インバータを始め、電力機器、鉄道など様々な分野への導入により広範な効果の生ずることが期待されている。しかし、現在用いられているシリコン(Si)による半導体素子は、その材料物性値からくる性能限界のため、パワー半導体素子、ひいてはパワーエレクトロニクス装置の性能を革新的に向上させることは困難となっている。この状況の中で、Si の物性限界をはるかに凌ぐ物性値を持つシリコンカーバイド(SiC)による低損失デバイスの開発が、国内外で活発に進められている。

これまで日本では、5年間にわたる国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」を実施し、要素技術としては所期の目標をクリアしたものと評価された。更に「エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業」の一環として SiC デバイス技術の高度化、実用化を狙った2つの先導研究と3つの実用化研究を実施中である。これにより技術的には実用化を狙える段階に到達する計画となっている。しかし世界に目を転じてみれば、米国 Cree 社は DARPA の資金援助により世界市場をほぼ独占するまでに成長し、欧州ではInfinition社はCree社の基板を使用して通信機器用ダイオードの販売を開始するなど、動きが急ピッチで展開している。

一方、SiC デバイスを用いたパワーエレクトロニクスの将来の技術的、経済的可能性については、研究開発と並行して実施された調査研究において詳細な検討がなされている。たとえば、省エネルギー効果に関しては、2020年において表.1-1に示す通りの効果が見込めるものと評価された。

このように期待は高いが、残念ながら現在、SiC結晶基板材料は米国 Cree 社の圧倒的な技術力、販売力から脱却できないこともあり、広範な事業化・普及を見込むことはきわめて困難である。しかし、表.1-1に掲げられた効果を具現化するには、量的拡大が不可欠であることは言うまでもない。この事態を打開すべく、適切な戦略の立案を目的として調査研究を実施することとした。

本調査研究においては、SiC半導体材料 / デバイスを事業化・普及するために必要な条件を探るため、技術開発課題と解決法、情報交換から共同事業を含む人的 / 組織的連携などの方策の可能性等の調査を行い、もって当該技術における開発戦略の立案に資することを狙った。

特にSiCデバイス産業のキーテクノロジーとなるSiC結晶基板事業が日本のビジネスとして離陸するための戦略立案に重点を置き、また、同じくワイドギャップ半導体として優れた性能が期待されるGaNおよびダイヤモンド半導体についても競合デバイスの観点で調査を行うこととした。SiC半導体材料 / デバイスの「上流から下流まで」を合言葉に、技術・ビジネスの動向調査及び応用分野であるパワーエレクトロニクスからのニーズを踏まえて、我が国SiC材料 / デバイス事業化・普及のための戦略ロードマップの作成と委員会、フォーラム、協力関係支援活動を通して技術・ビジネス力強化のための有力なネットワーク作りを狙った。

調査体制としては、次世代パワーエレクトロニクス研究開発戦略委員会を設置して推進することとした。

表.1-1 2020年の主要分野における省エネ効果

応用	導入量	省エネルギー量 (TWh/年)	CO2 排出削減量 (万 t-CO2/年)	省エネルギー量 原油換算 (万 kl/年)
EV/FCEV	500 万台	6.25	229	145
モータ制御	4,100 万台	9.96	366	231
CPU 電源	6,500 万台	2.73	100	63
UPS	2,300 万台	4.71	173	109
分散電源	2,002 万 kW	3.83	141	89
通信基地局	50 万基	2.3	84	53
合計		29.78	1093	690

(NEDO 委託業務 次世代パワー半導体デバイス実用化調査 平成14年度年度成果報告書
:エンジニアリング振興協会)

2. SiC、GaN、ダイヤモンド半導体材料開発の最新動向

SiC、GaN、ダイヤモンド半導体はいずれも Si に比べて大きなエネルギーバンドギャップを持つ半導体である。SiC、GaN は Si の約 3 倍、ダイヤモンドは 5 倍のバンドギャップを持つ。このことにより、Si に比べて本質的に低損失（省エネルギー）、良好な高周波特性（パワーデバイスおよびモジュールの小型化）、高耐圧（高い動作電圧に対し有利）、高温動作が可能、耐放射線性が高い、などの電子デバイスの実現が期待される。

SiC について見ると、わが国でもパワーデバイスとしていよいよ実用化開発のフェーズに入った。電子デバイス用材料としての SiC は先ず結晶基板材料として欠陥がなく、できるだけ大口径のものが安定して得られることが必要条件であるが、現在その基板材料の供給は質、量ともに米国の Cree 社が圧倒的な力を持っており、世界の 90% 以上を米国が、且つその大半を Cree 社が供給している。現在までその成長技術の難しさから 2 インチ径の基板が製品の中心であったが、2 インチ基板の時代は終わりつつあり、製品は 3 インチに移ったと言われる。且つその品質も 2 インチ径にくらべこの 1 年で各段に向上したと言われている。

また、戦略的な販売を行っているため、その良質な基板をわが国のデバイスメーカーが現在の開発時において常に購入できるとは限らない、という状況である。

現在は背景として、GaN 白色 LED 素子の基板として、先にビジネス化され安価に製造されるようになったサファイヤ基板よりパワーや静電気（帯電抑制）に関して優れている SiC 基板材料のビジネスが米国 Cree 社によって立ち上がっている。その SiC 基板の結晶形はパワーデバイスの本命とされる 4H ではなく 6H である。6H は 4H より比較的容易に作成できるとはいうものの、その製造過程で技術ノウハウの蓄積がなされ、技術力も向上するため、4H 製造に大きな技術力、資金力の蓄積となっており、そのことによる米国 Cree 社とわが国の基板メーカーの差が大きくなっていくと懸念するものもある。

下流側（デバイス、システム側）としては、基本的に「品質の良いものが、安価で安定して購入できれば良い」のであるが、その意味からも国内に強力な基板メーカーを育てる必要がある。

結晶基板材料と同等かそれ以上にデバイスメーカーが要望しているのは、良好なエピタキシャル膜である。基板メーカーかデバイスメーカーのどちらがエピ膜を形成するかの問題があったが、現在は材料側からエピ膜付き基板をデバイスメーカーへ供給することが適切であるというのが材料、デバイス側の一致した意見となっている。

高周波・高出力デバイスとしての GaN 素子は平成 15 年度の後半から高出力素子として飛躍的なパワーアップが実証されつつある。平成 14 年度から実施されている国家プロジェクト「高周波プロジェクト」の成果として、現在世界の最高である出力 230W / チップを記録した。この場合も、やはり SiC 基板は重要な役割を担っている。ただ、2GHz より高周波数の領域では半絶縁性の SiC 基板が必要になり、この場合は製造法上、SiC パワーデバイスの

N型基板とはかなり異なるといわれ、装置としてもN型基板と共用化はできない。

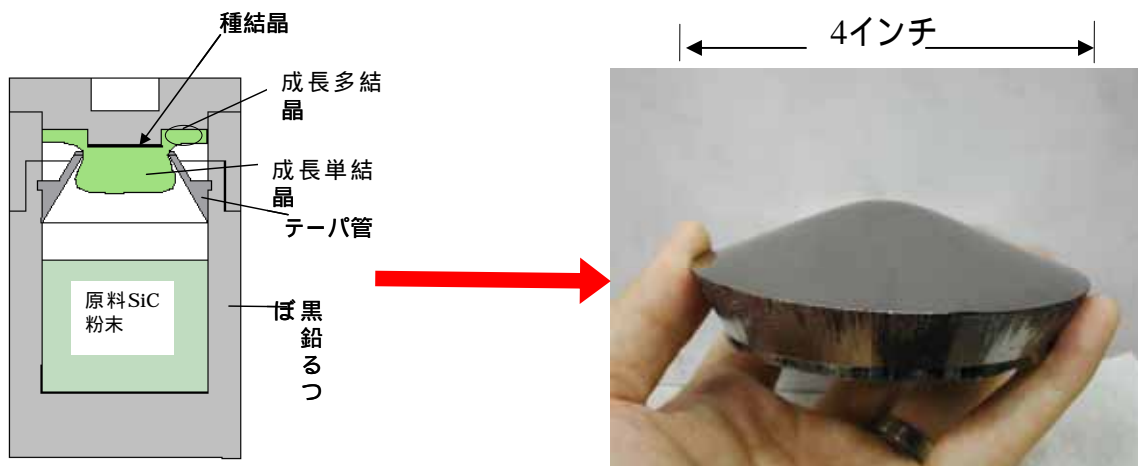
ダイヤモンド半導体は究極のデバイスと言われて久しいが、米国ではその実現が困難として、1995年に断念したテーマである。日本はこの究極のデバイスをもう一度挑戦することに踏み切ったものである。ここ1~2年開発の成果として将来の紫外線発光などデバイスとして実用化に期待が持てる結果が生まれている。ダイヤモンド結晶膜の作成は高温高压法によって合成した人工ダイヤモンド基板上にマイクロ波プラズマCVDによりエピタキシャル成長で行われているが、多くの結晶欠陥や不純物が混入するといった課題を基本的に解決して、ミリ波帯域の応用、宇宙空間でも長期間使用できる信頼性があるデバイス、通信衛星、地上放送局などの真空管を代替、高出力化できるデバイスなど、GaNの高周波デバイスと将来的には競合できるデバイスの実現に期待できる成果も得られるようになってきた。

現在の米国Cree社SiC基板のマイクロパイプ密度数/cm²の状況を表2-1に示す。

ここ1年で3インチ径基板においても2インチ径基板よりかなり質的な向上も成し遂げたとのデバイス側からのコメントが聞かれるようになってきた。ただこの表において見られるように、高品質の基板の歩留まりがどの程度かは不明であるが、Manufacturing(量産レベル)と開発用サンプルレベルとのマイクロパイプ密度のレベルが約2桁違いが見られ、量産技術レベル、事業化レベルでは未だかなりの改善の余地が残されていることを示している。このことは、かつてのSiテクノロジーのように、今後、量産技術レベルで日本が力を発揮する余地があると考えられる。

表.2-1 米国C社のSiC基板のマイクロパイプ密度

	4インチ径	3インチ径	Manufacturing 3インチ径
N-type	22	0.22	< 50
半絶縁性 (GaN 用基板)	55	1.4	< 80
XRC(arcsec)	60	36	



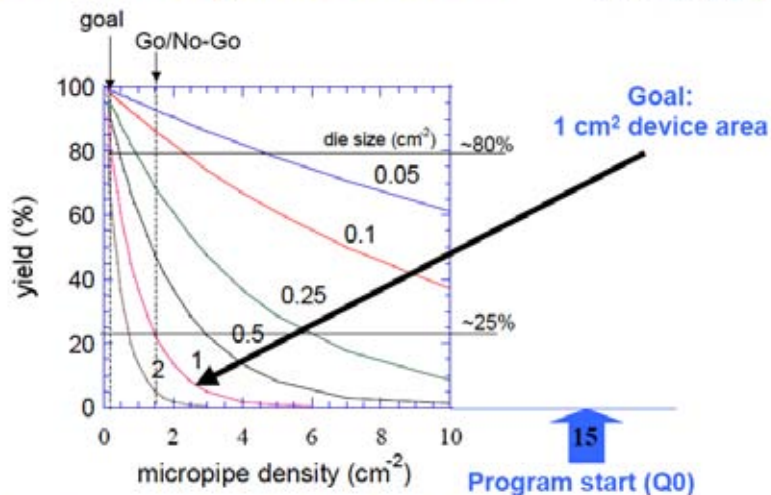
るつば構造最適化

成長結晶(口径4インチ 4H SiC)

図 2-1 プロジェクト超低損失電力素子技術開発による 4 インチ径 SiC 結晶

次に、図.2-2 に DARPA のネット上資料よりデバイスのチップサイズとマイクロパイプ密度と歩留まりの関係を示す。この通り汎用ビジネスレベルでは、マイクロパイプ密度は現在のサンプルレベルより、もう 1 桁小さくする必要がある。

Material Quality Yield Limits



Dislocations: not catastrophic but degrade device performance

Microsystems Technology Office

Distribution A, Approved for Public Release, Distribution Unlimited. (case #43018)

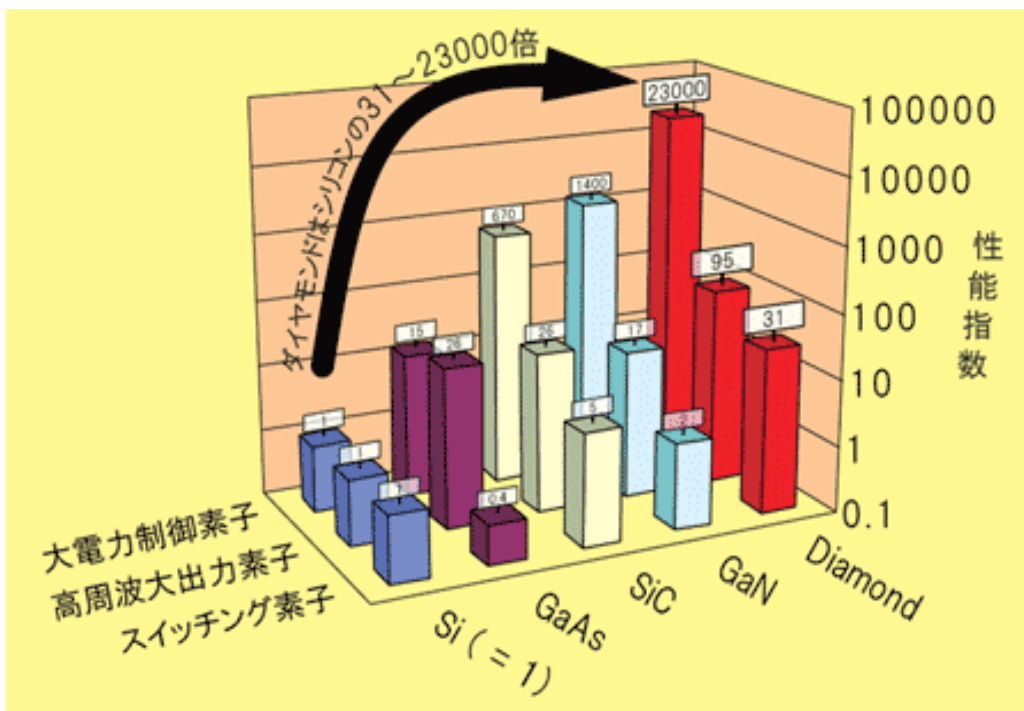


14

図 2-2 SiC 基板のマイクロパイプと歩留まり

(DARPA の web 掲載資料より)

以上、このように SiC を始めとするこれらワイドギャップ半導体デバイスは、まだ Si デバイスに対抗するには実用化、事業化の上で課題は多いが、Si 比べて将来において本質的にパワーエレクトロニクスへの飛躍的な性能向上が期待される。このことを示すグラフを、図.2-3 に示す。



(産総研 資料より)

図.2-3 ワイドギャップ半導体デバイスの性能指数の比較
(Si を 1 とする)

2.1. SiC 半導体材料

2.1.1. SiC デバイス実用化におけるウェハ技術の意義

90年代に入って、ある程度の品質の30mm基板が米国クリー社から市販されるようになってデバイス開発研究がスタートしたことからわかるように、ウェハの品質と口径とコストは、デバイスの実用化のキーである。現在、市販されている1mm程度(600V耐圧、6A)のSiC-SBD(SBD:ショットキーバリアダイオード)の歩留まりは70%程度で、コストの40%はウェハと言われている。マイクロパイプ(MP:貫通欠陥)の存在はデバイスの動作上論外の欠陥で、妥当な歩留まりでしかるべき電流容量のデバイスを作製するためにはその低減は不可欠である。図2-4に期待される欠陥低減と作製できるチップの電流容量を示す。この他に、エッチングで検出される種々の欠陥(エッチピット密度:EPD)はデバイスの特性と関係する。例えば、pinダイオードの順方向電流劣化問題は積層欠陥に起因すると言われている。またMOSの酸化膜の信頼性も欠陥と相関ありと予想されている。

4H-SiCは一般には、昇華法で成長され、不純物制御が困難であるので、デバイスを作製するには、不純物ドーパ量の制御できる、バルク基板上へのエピタキシャル成長技術の開発が不可分の関係にある。

以上のようにSiCのパワーデバイス実用化には、デバイス性能を実現できる高品質の、しかるべき面積のデバイスチップをしかるべきスループットで作製できる結晶成長技術の確立と、現状のウェハ価格を桁で低減できる状況を作り出すことがキーとなっている。

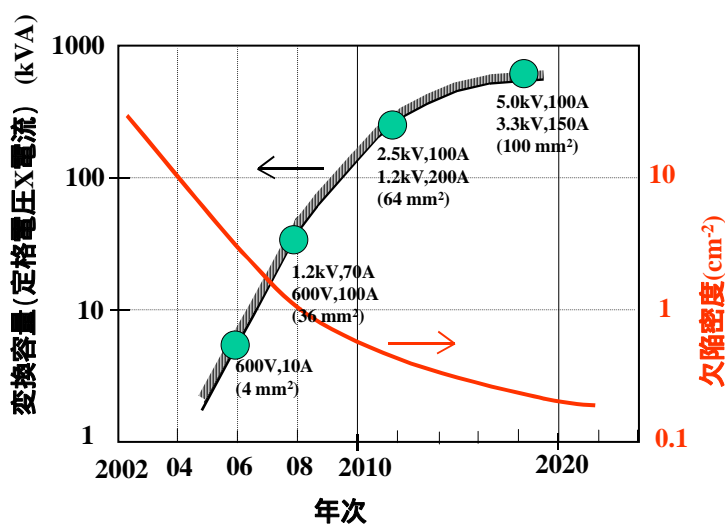


図.2-4 電圧、電流容量のトレンド

2.1.2. ウェハ開発の現状分析

パワーデバイス用ウェハの供給は、米国クリー社の寡占状態にあり、現在、市販のウェハは2インチから3インチになりつつある。研究開発レベルでは4インチは数社から報告されている。品質は、学会発表レベルでは、4インチでマイクロパイブ密度 $\sim 30/\text{cm}^2$ 、3インチでは1個/ cm^2 を切るところまできている。従って、パワーデバイス用ウェハ研究開発としては、MP密度の低減からEPDの低減に向かっている。しかしながら、通常入手できるウェハは、3インチでMP密度 $< \sim 15/\text{cm}^2$ 程度で50～60万円、2インチではMP密度 $< \sim 5/\text{cm}^2$ で40万円程度、 $10\mu\text{m}$ 程度のエピ膜をつければさらに10万円程プラスされるので、品質、値段とも大いなる改善が求められている。国内では長年開発を進めてきた新日本製鐵（販売信越化学）新興ベンチャーのシクスオンが販売を行っているが、量的にはまだ僅かであり、口径、品質においてもクリー社に及ばないのが現状である。

クリー社のSiCウェハの多くは、パワー用に比べ比較的品質を問わないGaN LED用基板として使用されている。また、GaN高周波素子用半絶縁基板に関しては、クリー社より品質的に優れていると評判のOKMETIC社（フィンランド）がある。彼らは他社とはことなるHTCVD（高温CVD法）という方法で、高純度化（高抵抗化）を達成し、研究開発では、2インチでほぼMPなし、EPDも $3\sim 5,000/\text{cm}^2$ の高品質を達成している。市場が活性化しているLED用のGaN on SiCはSiC基板量産化にとって、有利なアプローチであるが、知財の関係から後発の企業としては選択しにくい。世界的にみれば、この他に、ドイツのSiCrystalや米国のDow Corning（旧Sterling Semicon.を買収）があるが、質・量ともにクリー社にはるかに及んでいない。

終了した「超低損失電力素子」プロジェクトでは、「2インチMP無し、口径4インチウェハの成長の目標」を達成し、その後AISTと参加企業との共同研究で、さらなる高品質化の開発が進められている。以上のウェハ開発の現状を模式的に図2-5に示すとともに、クリー社のホームページの情報を図にしたものを図2-6に示す。

以上のメーカーの他に、新聞発表や学会情報によれば、高純度原料を持ちセラミックス製品に実績のあるブリジストンからウェハの企業化アナウンスもあるが、現状では6H-SiCの開発の段階にある。また、Si基板上へのヘテロエピ成長で得られる3C-SiCウェハの供給（6インチまでできているが、供給は2インチ）がHOYA半導体からはじまっている。3C-SiCはバンドギャップが $\sim 2\text{eV}$ と4H-SiC（ $\sim 3\text{eV}$ ）比べ小さいので高耐圧素子には適さないが、数百V耐圧までのデバイスへの適用が期待されている。まだ、結晶欠陥も多く、電流のとれるデバイスとしての報告はない。その他、2～3社がウェハ研究開発を開始しているとの情報がある。

ウェハのSEMI規格については、2インチは完了し、3インチは作業中である。

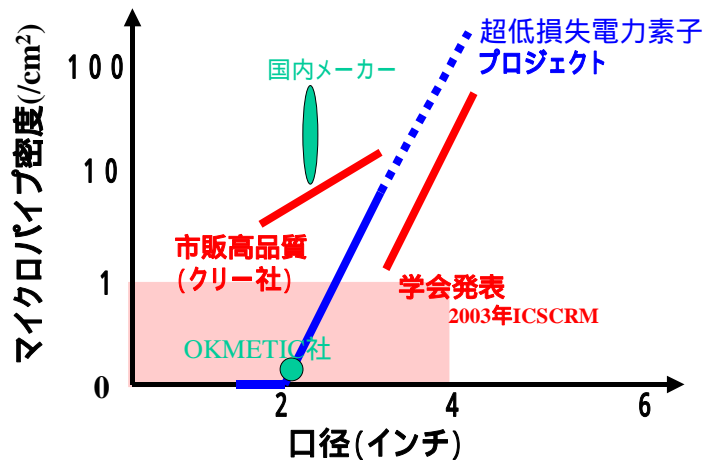


図 2-5 ウェハ開発の現状

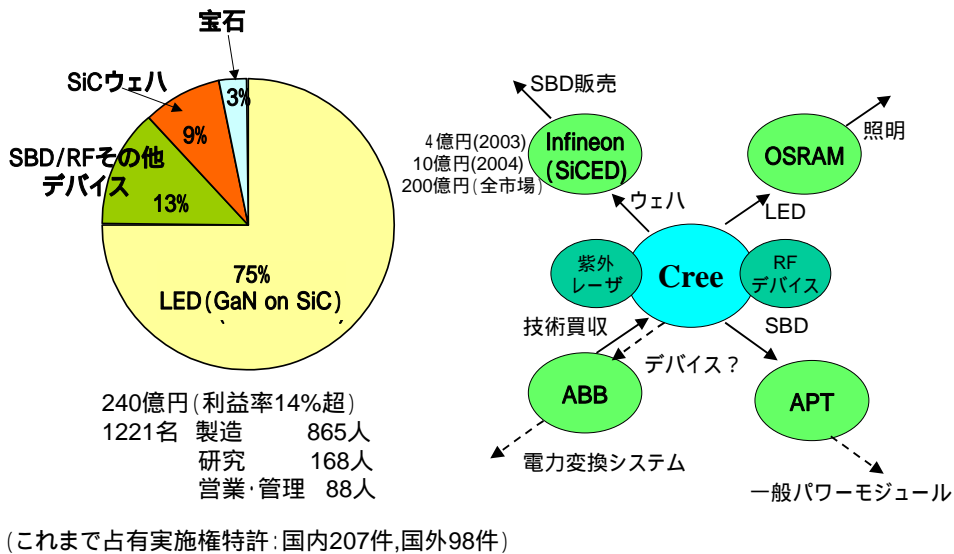


図.2-6 米国Cree社の動向 (2 0 0 3 年) <http://www.cree.com>

2.1.3. 技術的課題と課題解決の方策

現在のクリー社の寡占状態が実現したのは、米国政府（主として DARPA）の十数年にわたる戦略的企業育成によると言われている。米国政府はクリー社と並ぶ SiC ウェハのセコンドベンダーの育成の必要を認識しており（旧 Sterlinng 社もその一つ）、ウェハからデバイスまでの産業育成の一貫した支援体制をとっている。これは、新興半導体産業においては、ウェハ会社はデバイスの需要予測がつかず、デバイス会社は、高品質・低コストウェ

ハの供給の見通しが得られず、ともに思い切った開発投資に踏み切れない。更に、システム会社は供給時期の予測がつかず、いわば三すくみ状態に陥りがちであるからである。我が国では、「超低損失電力素子」プロジェクトによって、SiC デバイス開発の動きが一気に加速され、結晶 プロセス デバイス技術開発のラセンを一段確実にあがり、システムメリットの見える応用に向けての研究開発も始まった。しかしながら、上がったゆえに見えてきた課題もあり、以下に示す

現在のウェハ価格を桁で下げる方策の明確化

現行ウェハの実力の明確化

(デバイス仕様とウェハ品質：例えば、EPD がデバイス特性に与える影響)

現行結晶成長法(昇華法、HTCVD)の技術トレンドの明確化

(品質、口径の限界はあるか)

現行結晶法を越える成長法の可能性探求

に関しては、切断・研磨などの周辺技術開発を含めた量産体制がとれることが有効であり、量産により、ある程度の技術開発も進むものと期待される。に関しては、デバイス開発と密接に連携したウェハ評価とウェハ技術開発を進める以外にない。に関しては、企業からは学会への情報提供が全くなく、我が国独自に、限界を追求する研究開発を進める以外にない。に関しては、とも関係するが、まだ、発見される可能性はある。結晶成長の満たすべき仕様(品質、成長速度、コスト)を十分に精査した上での取り組みは意義がある。

我が国における SiC パワーデバイス開発の機運を一層もりあげて、実用化へのステップをきるためには、こうした技術課題を克服する方策が必要である。しかしながら、研究開発の現状をみるに、各企業の体制は充分とは言えない。ウェハ、デバイス、システムにわたる実力ある機関の連携を可能とするコンソーシアムの結成が有効である。

2.2 SiC エピタキシャル膜

エピタキシャル成長の分野においては、ステップフロー成長技術による高品位ホモエピタキシャル成長の実現、サイト競合成長技術によるドーピング濃度制御、ホットウォール炉による高品位、厚膜成長などのブレークスルーがなされてきた。現在では、市販レベルで、n 型、p型ともに 10^{15} - 10^{19} cm⁻³ の 4H-、6H-SiC エピタキシャル膜が得られるようになっている。

エピタキシャル成長装置としては、以前はコールドウォール炉が主に使用されていたが、最近では高温部の温度勾配の低減に有利なホットウォール炉による高品位エピタキシャル膜形成が多く報告されるようになった。図 2-7 に各種の SiC エピタキシャル成長装置の模式図を示す。最近では、4 インチ基板 (1 枚) に対応可能な横型ホットウォール炉や、4 インチ基板 4 枚の同時処理に対応可能なプラネタリ炉も開発されている。

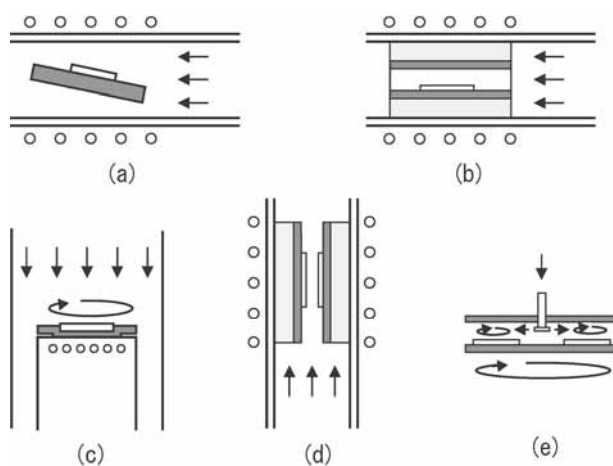


図.2-7 各種 SiC エピタキシャル炉の模式図

- (a) 横型コールドウォール、(b) 横型ホットウォール、(c) 縦型コールドウォール、
(d) 縦型ホットウォール、(e) ホットウォールプラネタリ

エピタキシャル成長における現状の課題としては、大口径・均一化、スループット向上、表面欠陥低減、転位密度低減、オフ角度低減などが挙げられる。以下に、それぞれの課題について述べる。

2.2.1 大口径、均一化

大口径の課題として、膜厚やドーピング濃度の均一化が挙げられる。特に、ドーピング濃度の均一化技術の開発が望まれている。前述の 4 インチ対応可能な炉においては、均一性向上のために、基板の回転機構 (プラネタリ炉では基板自公転) が取り入れられている。プラネタリ炉においては、2 インチウェハに対して、膜厚均一性 $\sigma/\text{mean} < 0.5\%$ 、ドーピ

ング濃度均一性 $\sigma/\text{mean} < 5\%$ が得られている。大口径基板への対応、ドーピング濃度の均一性向上には、高精度のプロセスシミュレーションを可能とするためのモデルの開発も重要と考えられる。均一化に適した炉構造の選定、炉内の温度、反応種の均一領域の拡大を行う必要がある。

2.2.2 スループット向上

エピタキシャル成長プロセスにおけるスループットの向上も重要な課題である。スループットの向上のためには、(i) 成膜時間の短縮、(ii) 同時処理枚数の増加が効果的である。成膜時間の短縮については、成長速度の向上、エピタキシャル成長前後の昇・降温時間や成長前の成長前ガスエッチング時間の短縮が効果的である。成長速度の向上に関しては、従来は数 $\mu\text{m}/\text{h}$ であったのに対して、最近では 10-30 $\mu\text{m}/\text{h}$ での高速、高品位成長技術の開発や、100 $\mu\text{m}/\text{h}$ 以上の高速化も報告されている。高速成長に関しては、前述の大口径・均一化と、後述の表面欠陥低減との両立が最大の課題と考えられる。

2.2.3 表面欠陥の低減

エピタキシャル成長時に発生する表面欠陥の低減も重要である。特に、キャロットと呼ばれる大型の表面欠陥や、パーティクル付着などに起因する大型欠陥の除去については、完全なる除去が望まれる。この他、ピットやステップバンチングが発生する場合もある。多くの場合、これらの表面欠陥は、基板表面の研磨損傷や、成長前ガスエッチング条件、結晶成長条件によって影響を受ける。また、幾つかの表面欠陥は、基板表面に現れる転位とステップフローとの相互作用で生じているものと考えられ、転位周辺における結晶成長機構の解明、基板の転位密度低減も重要である。この他、表面欠陥の種類、形状、密度は選択する結晶面によって大きく影響を受けることも報告されているが、未解明な部分が多く残されているのが現状である。

2.2.4 転位密度の低減

バルク成長とエピタキシャル成長の結晶成長機構の違いにより、基板とエピタキシャル膜の界面近傍において、転位が構造変換することが少しずつ解明され始めている。{0001}面に対するエピタキシャル成長では、基板中に存在するマイクロパイプが、エピタキシャル成長によってほぼ 100%の確率で閉塞可能なことが報告されているが、これは基板中のマイクロパイプのパーガーズベクトル n_c が n 個の $1c$ に空間的に分解されることによると考えられている。また、(0001) 面に対するエピタキシャル成長時には、基板中に存在する basal plane 転位の多くが *treading edge* 転位に構造変換されることも知られている。この時、エピタキシャル膜中に残された basal plane 転位が、パイポーラ動作時の順方向電圧劣化の一因となることが大きな問題となっている。(0001)面以外に対するエピタキシャル成長における転位の挙動に関しては、一部しか知られていないのが現状である。

2.2.5 オフ角度の低減

4H-SiC {0001} 面に対するエピタキシャル成長では、ステップフロー成長の促進のために、[11-20] あるいは [10-10] 方向に 8° オフ傾斜された基板面が広く使用されてきた。最近、バルク単結晶の有効利用、エピタキシャル膜中の basal plane 転位密度の低減などを目的に、このオフ角度を低減する要望が高まっている。3 インチ直径の市販 4H-SiC では、4° のオフ角度が一部採用されている。また、1° 以下の微傾斜基板面（ジャスト面）に対するエピタキシャル成長の実現も報告されている。低オフ角度、あるいはジャスト面に対する高品位エピタキシャル成長は、今後の重要な研究開発課題の一つである。

2.2.6 まとめ

今後は、バルク成長の基板口径拡大に合わせた 4 インチ基板対応のエピタキシャル結晶成長装置の開発が必要である。マルチウェハ対応、均一化が装置開発上の課題であると思われる。この分野では、海外のエピタキシャル結晶成長装置メーカーが先行していることから、国内メーカーによる装置開発も望まれる。

エピタキシャル成長技術に関しては、取り上げた課題以外に、ライフタイムの向上、点欠陥密度や不純物の低減、成長温度の低温化、選択成長など、さまざまな課題が残されている。均一性、スループット、高品位化を同時に達成するためには、今後、多くの技術開発が必要と考えられる。

2.3 SiC 結晶基板とエピ膜の製造技術上（量産技術上）の問題点

2.3.1 SiC 基板の種類

SiC 基板は用途によって、光用の 6HN 型（6 周期の六方晶の N 型）、通信用の 6HSI 型（6 周期の六方晶の半絶縁）あるいは 4HSI 型（4 周期の六方晶の半絶縁）、パワー用の 4HN 型（4 周期の六方晶の N 型）または 3C 型（3 周期の立法晶）に分けられる。

製造方法としては原料を 2100 以上に熱して気化し、その温度よりもやや低い種の上に昇華させる昇華法が通常使用されているが、3C 型は特殊な処理をほどこされた Si 基板上に CVD 法で蒸着されている。スエーデンの Okmetic 社と日本の HOYA アドバンスト・セミコンダクタ・テクノロジー社以外は昇華法で製造しており、一般に入手できる基板は昇華法で製造されているので、昇華法について述べる。

2.3.2 インゴット生産上の問題点

基板に要求される共通仕様は、大口径化（2 インチ径から 4 インチ径へ）と欠陥の減少（マイクロパイプ、積層欠陥、板状欠陥、小傾角粒界など）である。

それらを達成する結晶を成長させる上での最大の問題点は、温度が 2100 以上と高温のため、種結晶の温度、原料の温度、坩堝の温度などを正確に測定することが困難で、温度制御が難しいということである。温度測定には放射温度計が使用されるが、測定点が多すぎると、熱放射によるロスが多くなる。測定点が少なすぎると正確な制御ができなくなる。制御がずれると、パワー用の 4H 型結晶に 6H 型結晶が混ざったり、あるいは光用の 6HN の基板に 4HN が混じったりする。

昇華法とは坩堝内の原料を加熱し、昇華させ、坩堝上部に設置した種結晶で再結晶化させる方法である。加熱方法は石英管の内部に設置したグラファイト坩堝を石英管の周囲に設置した高周波コイルで誘導加熱する方法と、抵抗加熱で行う方法がある。2000 以上という光でエネルギーが伝搬する高温においては、絶対温度だけではなく、温度差を制御することが困難であり、成長速度の再現性、ならびに、インゴット径方向の温度勾配の再現性を得ることも困難である。従来、誘導加熱の場合、高周波加熱コイルと坩堝の相対位置で坩堝の温度分布が制御されていたが、生産レベルでの安定化が困難であることから、トップデータの報告はあっても、生産に結びつかなかった。その一つの解決手段として加熱コイルの各ターンに流れる電流を独立に電氣的に制御するマルチゾーン反応炉が開発された。これにより、高周波加熱方式で、はじめて坩堝温度分布を電氣的に制御することが可能となった。またこの装置では、雰囲気ガスの流れを工夫するとともに、熱遮蔽板を設けることによって効率よく反応炉内を加熱できるような構造になっている。このようにすることにより、後述の原因により生じる炉 1 台、1 台のばらつきを防ぐことができる。

また、量産には多くの炉を並べる必要があるが、炉の設計だけではなく、実際の作業に

も注意する必要がある。というのは、全く同じように設計した炉でも、断熱材の置き方一つで、それぞれの炉の温度特性が変わり、炉間のばらつきや、インゴットのばらつきが多くなる。

次に、種基板自体の品質が悪いと、成長した結晶もその品質を遺伝のように引き継ぐので、種結晶は欠陥の少ない品質の良いものを選択して使用すべきである。欠陥の減少については生物の品種改良にも似て、遠い道程であり、何世代にも亘って少しずつ改良しなければならない。

さらに、種となる基板と種を保持する台座との接合も重要である。通常、種は原料の上に下向きに取り付けられるが、種を保持する台座との間に隙間があっては、種の温度制御ができないので、接着剤の選択、およびその処理方法が大切である。

大口径化については、種が取り付けられている坩堝の内径を少しずつ大きくすることにより、大きくなる。何世代か後に 2 インチが 3 インチになり 4 インチになる。但し、口径が大きくなるに連れ、径方向の温度制御がさらに重要になり、またウェハ加工にも時間がかかり、また平坦性の確保も加速度的に難しくなる。

光用基板と通信用基板は SiC 基板の上に GaN のエピ膜を積む。このヘテロエピの場合、基板の欠陥がエピ膜に伝搬しにくいいため、ホモエピを行う SiC のパワーデバイス用途ほど欠陥を余り問題にしない。ただし通信用は高抵抗化が必要であるため、高純度化を行い、深い準位の制御が必要である。

ホモエピを行う SiC のパワーデバイス用途ではマイクロパイプがあると絶縁破壊がおこる。このためマイクロパイプの数は少ない程良く、クリー社では 15 個/cm²以下という最高級グレードのウェハが販売されているが、通常手に入るレベルは 30 個/cm²以下である。なお、日本の S 社でも平成 16 年 1 月より 30 個/cm²のサンプル販売を開始した。マイクロパイプの数が 30 個/cm²以下になると、マイクロパイプが均一に分布していないことが幸いして、インフィニオン社が販売している 1.4mm 角の素子では usable area が 80% 程度となる。

しかし、電力用は単にマイクロパイプの数だけではなく、積層欠陥や板状欠陥の数も次第に問題になってきているが、これらについての製造工程における防止策はやっと緒に付いたばかりである。

2.3.3 ウェハ加工の問題点

光用、通信用は (0001) 方向のジャスト面基板が用いられるが、パワー用は通常 8 度程度オフ角を付けたものが用いられる。このため、スライス前に角度を X 線で測定する必要がある。ウェハの切断は通常ダイヤモンドブレードで行われる。研磨はダイヤモンド砥粒および SiC 砥粒を使用して行われる。また、表面状況をより良くするためには CMP (Chemical Mechanical Polishing) を行う。

大口径化に伴い、反りの問題が無視できなくなると思われ、インゴット製造工程や切断・

研磨工程、の最適条件の探索が必要になる。

2.3.4 エピ工程の問題点

ここでは光用や通信用の SiC 基板上に GaN のエピ膜を積むヘテロエピを除き、電力用のホモエピについてのみ述べる。

エピの成膜工程は、シランとプロパンのガスを流し、基板付近の温度を千数百 °C にして行う。キャリアは一般に水素ガスを用いる。

電力用のエピは、1000V 程度の耐圧素子用では N 型のエピと P 型のイオン注入の組み合わせで、3000V 程度の高耐圧素子用では N 型だけでなく P 型のエピも積む必要がある。

従来、SiC のエピは GaAs などと同様に基板を載せているサセプターのみを高温にする Cold Wall 法が使用されてきた。この方法は不純物の急峻な制御が可能で、スループットも高いというメリットがある。一方、膜厚分布や不純物濃度分布の均一性が得られやすいという理由で炉心管も同時に熱する Hot Wall 法も注目されている。

最近、エピによりマイクロパイプが埋まるという報告もあるが、良いエピ膜を得るためには、マイクロパイプが少ない基板を選ぶ必要がある。また、高耐圧素子では積層欠陥によって素子の時間的劣化が起こることが確認されており、積層欠陥の少ない基板を選ぶ必要がある。さらには、研磨により表面に傷などが入った基板では良いエピ膜が積めないので CMP により基板表面を原子レベルに近い程度にきれいに研磨しておく必要がある。

高耐圧素子のためには、基板全面に亘って膜厚分布も、不純物濃度分布も小さいことが必要である。現在、日本国内では S 社のみが 2 インチのエピ付き基板の製造を行っているが、今年は 3 インチのエピ付き基板も量産予定である。保証している膜厚分布と不純物濃度分布のバラツキは米国の会社のカタログ値では 50% 以下であるのに対して、S 社では 20% 以下である。

2.4 GaN 半導体材料

2.4.1 III 族窒化物半導体材料

SiC 材料をベースにしたエレクトロニクスが高出力低損失電子デバイスを目指して大きな関心を集めつつある中、III 族窒化物半導体など、他のワイドギャップ半導体を用いた研究開発にも最近めざましい進展が見られる。

GaN、AlGaN 等の III 族窒化物は、SiC よりも更に大きなバンドギャップ値を持ち、Johnson や Baliga 等の高出力デバイス性能指数では、SiC を大きく越える値を示す。これら III 族窒化物は、当初短波長光デバイスをターゲットに研究が進んだ。しかし、ホモエピタキシャル成長のための基板が無く、ヘテロエピタキシー技術に依存したため、転位等の結晶欠陥が災いしてか高耐圧性能の点では SiC デバイスほどのパフォーマンスが示されていなかった。一方、SiC とは異なって III-V 族化合物半導体であり、混晶やヘテロ構造という概念がデバイス機能実現の上で適用できる。即ち、高い絶縁破壊電圧などのワイドギャップ半導体の利点に加えて、GaAs 系の高移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) のような 2 次元電子ガス系を作製でき、極めて早い電子走行を達成できるのである。また、ワイドギャップ半導体の中では、熱伝導度がそれほど高くないとされていたが、最新の高品質膜を対象としたデータでは、SiC には及ばないものの Si の 2 倍程度の値が報告された。また、格子定数の点からそのエピタキシャル成長には高い熱伝導度を持つとされる SiC を使うことも可能であり、高出力デバイスでは不可避な熱放散の点での問題点も大きな欠点とは見なされなくなってきた。これらのことから、III 族窒化物は短波長光デバイスばかりか、高出力低損失電子デバイスにも大きな可能性を持っているといえる。

2.4.2 デバイス技術

実際、III 族窒化物半導体の研究では、近年ヘテロエピタキシャル成長技術に大きな進展が見られ、電子デバイス品質のエピタキシャル膜が得られるようになったことが、それを用いた高出力電子デバイスの開発に大きく寄与している。従来、ウエハ作製では MOCVD 法によるエピタキシャル成長技術が主体であったが、選択成長を応用した横方向成長技術等の進展でヘテロエピタキシーに由来する高い転位密度も $10^6 \sim 10^7/\text{cm}^2$ にまで低減できるようになった。加えて、超高真空中での成長である MBE 法でも高効率の窒素源の開発と成長機構の理解が進み、MOCVD 法と MBE 法の併用で、 $2000\text{cm}^2/\text{Vs}$ を凌ぐ 2 次元電子ガス移動度が報告されている。高耐圧特性の点でも、結晶欠陥の低減の結果、 1000V を越える耐圧が実現されるようになってきている。

III 族窒化物半導体を用いた電子デバイス開発も、IT 社会における情報通信ネットワークの基本インフラである携帯電話等のワイアレス通信を目的とした高出力高周波デバイス分野で着実に進展している。携帯電話基地局や固定ワイアレスアクセス (FWA) 等で、ベースバン

ドの高周波化、広帯域化が要求され、それに伴って、数GHz - 数 10GHz帯の高効率の高出力高周波デバイスがキーデバイスとなる。この点で、2次元電子ガス的高速性とワイドギャップ半導体の高耐圧性を併せ持つIII族窒化物半導体への期待が大きい。図.2-8 に高出力高周波デバイスのバイアス電圧と出力密度に関して、現在までに報告された値を示すが、GaAsは言うに及ばず、SiCをも大きく超える値が実現されている。実際のデバイス特性としても、100GHzを越える電流遮断周波数や2GHzで200W以上、準ミリ波である30GHzで5W以上の出力値が既に実現されている。更に注目すべきは、今まで主としてSiCをもとに開発が進んでいた高耐圧の低損失スイッチングデバイスへの応用である。この分野でも、III族窒化物のHEMT構造を用いて耐圧1,300V、オン抵抗 $1.7\text{m}\ \Omega/\text{cm}^2$ というSiCデバイスをも凌駕するようなデータ（図.2-9 参照）が最近報告され¹⁾、にわかにスイッチングデバイスとしても、その可能性が大きくクローズアップされるようになってきている。

このように、窒化物半導体デバイスは、その優れた材料特性から、SiやGaAsデバイス、更にはSiCデバイスに勝る高出力動作が期待されており、実デバイスの特性向上のための要素技術や総合性能に関するここ数年の進歩はめざましいものがある。しかしながら、光デバイス開発などで培われた技術水準でもその材料特性を生かしきるところまでは達しておらず、ピンチオフ特性を保证する高絶縁バッファ層など電子デバイス特有の問題点も明らかになってきた。今後解決すべきと考えられる問題点として、次のようなポイントが挙げられる²⁾。

- a. 自己発熱による特性劣化と熱放散
- b. 高電圧動作を保证するゲート漏れ電流低減のためのゲート電極構造
- c. 高出力動作時の電流スランプと表面パッシベーション
- d. 高性能デバイス作製のための均一大口径エピタキシャルウエハ及び基板

窒化物半導体デバイスプロセスの最近の進展を考えると、今後これらの課題解決への取り組みが進み、低損失スイッチングデバイスとしての性能も急速に向上するものと思われる。

1) N.-Q. Zhang et al.: *IEDM 2001 Technical Digest, Washington DC, 2001*, 25.5, pp.589. (2001).

2) 奥村 元: 応用物理、Vol.73, No3, pp.315 (2004).

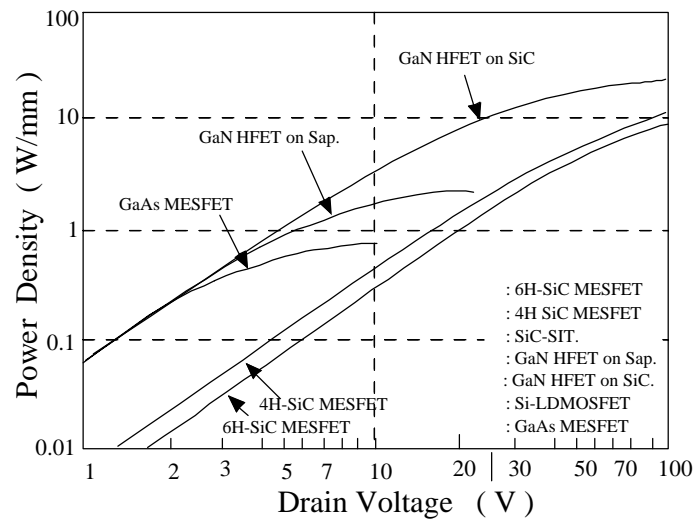


図.2-8 現在までに報告された高出力高周波デバイスの
バイアス電圧と出力密度。

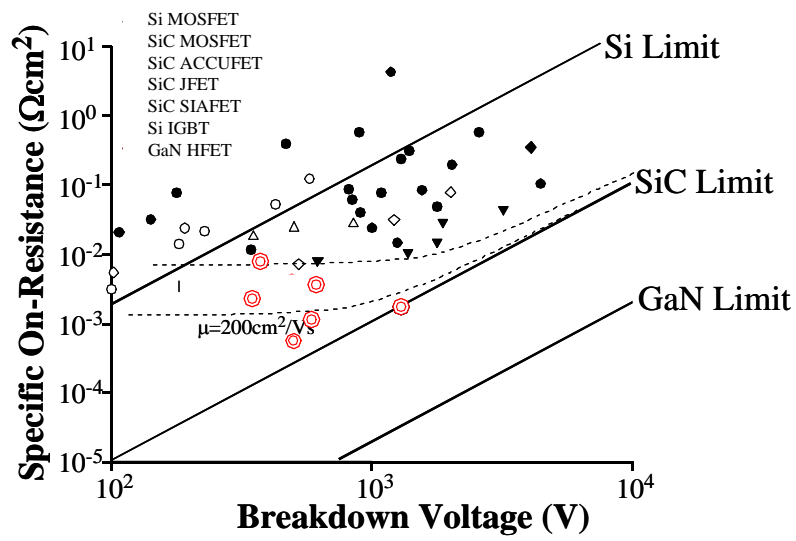


図.2-9 低損失スイッチングデバイスの耐圧とオン抵抗

2.5 ダイヤモンド半導体材料

ダイヤモンドは物性値の観点からすると最も優れたパワーデバイス用半導体であるが、半導体材料として認知されてきたのがここ数年であり、微細加工を含む材料技術、電子デバイス化プロセス技術、デバイス技術のどの点をも先行している他の半導体と較べると遅れをとっている。

しかしながら、ダイヤモンドはシリコンと同じ単元素半導体であることから、SiC や GaN など他の化合物のワイドギャップ半導体に特有な構造欠陥の問題が避けられる高品質な半導体が期待されること、また何と云ってもパワーデバイス用として抜群の性能指標を有することから、これからの研究・開発の活性化により期待される半導体材料であることは間違いない。実際、ここ数年のダイヤモンドの半導体材料としての研究動向をみると、半導体材料として致命的な問題と考えられていた課題が次々と解決されてきており、近い将来の実用化が有望視されつつある。以下本稿では、パワーデバイスへの応用の観点からダイヤモンドの材料プロセス技術とデバイス化技術の最近の動向を述べることにする。

2.5.1 材料プロセス技術

ダイヤモンドをパワーデバイス用材料としての基板材料の位置付けで見た場合、現時点で最大の問題は大きな面積を有するウェーハが供給されないということである。現在単結晶の基板としては天然のものや高温高压法により合成されたダイヤモンドが市販されているが、その大きさは比較的大きいものでも 4 mm x 4 mm 程度のものである。この大きさでも実験室レベルの電子デバイスを作製することは可能であるが、将来の実用化には 1 インチから 2 インチ以上のダイヤモンドウェーハをなるべく早い時期に開発する必要がある。現在、4 mm x 4 mm のダイヤモンド基板を 16 枚正方形に並べて、高速CVD法により 16 mm x 16 mm の単結晶を合成する技術が開発されつつあるが半導体基板としてどれだけの品質が得られるかまだ明確でない¹⁾。

面積が小さいが、これら市販されている基板を用いたホモエピタキシャル成長によるダイヤモンド単結晶薄膜の合成技術は、ここ数年で大きな前進があった。産総研のダイヤモンド研究センターでは、マイクロ波プラズマCVD法により原子レベルで平坦な表面を有するホモエピタキシャルダイヤモンド薄膜の合成に成功している²⁾。この薄膜はその電気的性質や光学的性質の評価によると膜中に混入している不純物濃度や空孔のような点欠陥が 10^{14} - $10^{15}/\text{cm}^3$ 以下に押さえられたものになっており高品質な半導体の性質を有していることが分かってきている。実際このようなダイヤモンド薄膜は、室温下で自由励起子の強い発光が観測されると同時に通常のダイヤモンドで観測される欠陥や不純物による可視領域の発光が観測されなく、化合物半導体よりは構造欠陥の少ない結晶になっていることが明らかになっている。

このような合成技術をベースに長年の課題であった p n 制御技術も大きな進展がある。

産総研グループはホウ素をドーピングして、移動度が $1000\text{-}2000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ でキャリア濃度が室温で $10^{15}/\text{cm}^3$ 以上の p 形のダイヤモンドを再現性よく合成する技術を確立している³⁾。一方、物質材料機構のグループは燐をドーピングして移動度が $500\text{ cm}^2/\text{Vs}$ でキャリア濃度が室温で $10^{12}/\text{cm}^3$ 程度の n 形ダイヤモンドの合成に成功している⁴⁾。この n 形については、最近になって産総研をはじめいろいろなグループから報告されるようになり合成技術として確立しつつある⁵⁾。ただ実用レベルの問題としては、ダイヤモンドの場合誘電率が他の半導体材料より大きく、これが主な理由でホウ素や燐のつくるアクセプタ準位やドナー準位がそれぞれ、 0.37 eV 、 0.60 eV と深くなり室温ではドーピングされたアクセプタ準位やドナー準位がほとんど活性されずキャリア濃度が少ないという事情がある。

デバイス化にとって重要な金属/ダイヤモンドの接合特性や p n 接合特性にも進展がある。ダイヤモンドの場合、その表面は水素終端の場合と酸素終端の場合があり、デバイスへの応用の場合熱的に安定な酸素終端を利用することが本命になる。しかし、今までは酸素終端表面には高密度の表面準位が存在し、このためオーミック電極を形成するのが困難となっていたが、最近になってこの酸素終端においても熱処理を行うことにより、オーミック電極を形成することが可能になった⁶⁾。

2.5.2 デバイス技術

パワーデバイス用として、ダイヤモンドが最初に適用されるものとしては高い耐圧特性を利用したショットキーダイオードがあげられる。現時点ではショットキーダイオードとしての研究は、室温下のキャリア濃度としては $10^{15}/\text{cm}^3$ の値が得られる p 形のダイヤモンドをベースに、ショットキー電極としては Al や Ni を用いたもので行われている。産総研グループの報告例だと酸素終端の p 形と Ni によるショットキーダイオードで、200 の動作で逆方向のリーク電流が検出限界 (10^{-13} A) 以下でブレイクダウン電圧が 500 V 以上、また順方向の特性から得られるダイオードの理想因子が 1.0 という理想に近い整流特性が報告されている⁷⁾。また、パワーデバイスとしての本格的な研究開発の報告例はないが、上述したように酸素終端に対する低接触なオーミック電極の製作が可能となってきたので、今後ダイヤモンドによる高効率な整流器としての応用が視野に入ってきたといえるだろう。

MISFET あるいは MOSFET を利用したダイヤモンドのパワーデバイスも高いブレイクダウン電圧の特性を考えると魅力的なデバイスである。しかし、現在研究対象になっているダイヤモンドの FET は、高周波用の水素終端表面に生じる p 形の伝導層を用いる表面チャンネル型ショットキー FET が主流であり、高耐圧を利用し損失を低減する大電流を目指すバルクチャンネル型の高 FET の報告例はない。表面チャンネル型の FET では、チャンネル移動度が $280\text{ cm}^2/\text{Vs}$ と高い移動度を示すものが報告されており⁸⁾、ダイヤモンドのトランジスタが他の半導体によるのと遜色ないことが明らかになっている。このなかで、Aleksov のグループはサブミクロンゲート FET の高周波特性の測定で 68 V という比較的高い V_d を報告している⁹⁾。また小林・川原田グループはゲート領域に ICP 酸素プラズマエッチングで酸素終端した

ダイヤモンドの溝を形成することにより、リーク電流を 1pA以下に抑えることが可能であることを報告しており¹⁰⁾、ダイヤモンドのパワーデバイスへの応用にとって良い方向のデータが蓄積されつつある。

2.5.3. まとめ

上述したように、ダイヤモンド半導体によるパワーデバイスの研究はその緒を開いたばかりであり、まだ本格的な報告例がないのが現状である。しかし、はじめの項で述べたように、ダイヤモンドはシリコンと同じように高品質な半導体が期待されること、また何と云ってもパワーデバイス用として抜群の性能指標を有することから、パワーデバイス用材料として期待される半導体材料であることは間違いない。実際、ダイヤモンドの材料プロセス技術とデバイス技術はここ数年大きな展開を示している。

参考文献

- 1) 目黒他 : NDF 第 16 回ダイヤモンドシンポジウム講演予稿集 (2002) p.8.
- 2) H. Okushi: Diamond and Related Materials, **10** (2001) 281.
- 3) 小倉他 : NDF 第 17 回ダイヤモンドシンポジウム講演予稿集 (2003) p.146.
- 4) S. Koizumi, et al.: Appl. Phys. Lett., **71** (1997) 25.
- 5) 加藤他 : NDF 第 17 回ダイヤモンドシンポジウム講演予稿集 (2003) p.204
- 6) Y. Chen et al.: to be published in Vacuum Science and Technology (2004).
- 7) S. Yamanaka, et al.: Extended Abstracts of UPD2000 (Nara, Japan 2000) p.231
- 8) Y. Yun et al.: J. Appl. Phys., **82** (1997) 3422.
- 9) A. Aleksov et al.: Diamond and Related Materials, **11**, (2002) 382.
- 10) 小林他 : NDF 第 16 回ダイヤモンドシンポジウム講演予稿集 (2002) p132.

2.6 SiC半導体材料事業化における課題

SiCパワーデバイスの事業化・普及の中心的課題は、エピタキシャル膜付き基板の高品質で安価なものが安定して供給される体制の構築である。デバイスメーカーとして、最大のボトルネックが結晶基板材料とエピ膜付与の問題である。具体的には、今後3~4年で4インチ以上の径で、マイクロパイプの数が1個/cm²以下のエピタキシャル膜付き基板が1万円/枚以下で安定して供給されることがSiCパワーデバイスビジネスの離陸に必要である。

現在この要求に答えることができる基板メーカーは、国内外を問わず無い。米国C社が圧倒的な質と量の供給力をもっているが、そのレベルには達しておらず、いまだ3インチの基板でマイクロパイプが量産試作レベルで0.2個/cm²のレベルである。しかしこのレベルでも他を圧倒的に引き離している。

すべての用途総計のSiCの基板の出荷数の状態を見てみると、今までの大多数である2インチ径レベルで日本のS社が世界で第二位であるが、それはトップの米国C社の1/350である。なお、このSiC基板はパワーデバイス用の本命である4Hではなく、バンドギャップ、電子移動度について物性値でやや下回る結晶形6Hであると考えられる。

また、現在のビジネス上の用途は電子デバイス(パワーデバイス)用はほとんど研究開発用であり、90%はLED基板用である。電子デバイス用SiC基板はLED用基板以上の高品質が求められている。米国C社の場合は、米国国防関係の多額の費用が投入されており、それが製造設備の充実に大きな寄与をしたと考えられる。LED基板量産技術が基板品質の向上ノウハウの蓄積に大きく寄与したと考えられる。品質向上のためのR&Dへの資金蓄積という意味ばかりでなく、量産技術ノウハウ蓄積の意味でも国費投入の効果があったと考えられる。

デバイスが実用化に向けて一步を踏み出した今、わが国全体として国産のエピ付き基板の技術を育成し、基板事業を立ち上げるため、技術・情報連携体制を早急に考える必要がある。

現在、我が国でエピ付き基板の事業を立ち上げる場合、結晶基板以上に課題が残っているのは知的財産権の問題で米国C社の権利内容のクリヤに不透明な部分を持つエピタキシャル膜技術である。わが国でもN社はエピ膜に独自の技術、知財を有している主張されているが、米国だけでもCree、Emcore、Georgia Tech、Sterling、欧州のEpigressなど競合メーカーは多く、国内の技術力を結集して初めて早期のキャッチアップができると考えられる。なお技術的な課題はまだまだあり、事業化の面ではこれからが勝負と考えられる。

図. 2-10に世界のSiCの開発、実用化とビジネスの状況を示す。

技術的な課題をまとめると下記のようなになる。

- ・ エピ層のウエハ内均一性、特にドーピング(キャリア濃度)の均一性制御精度の向上。
装置開発の加速が必要である
- ・ エピ成長プロセスのスループット向上。 低コスト化

- ・ 低オフ・アングル基板上への高品質エピ技術 切り出せる枚数を多く 低コスト化。
 - ・ エピ層中の転位欠陥の低減
 - ・ 転位などの結晶欠陥や不純物の素子特性、信頼性、素子歩留まりへの影響の解明。
- 等がありこれらの課題を効率的に早く解決したところが事業を有利に展開できる。

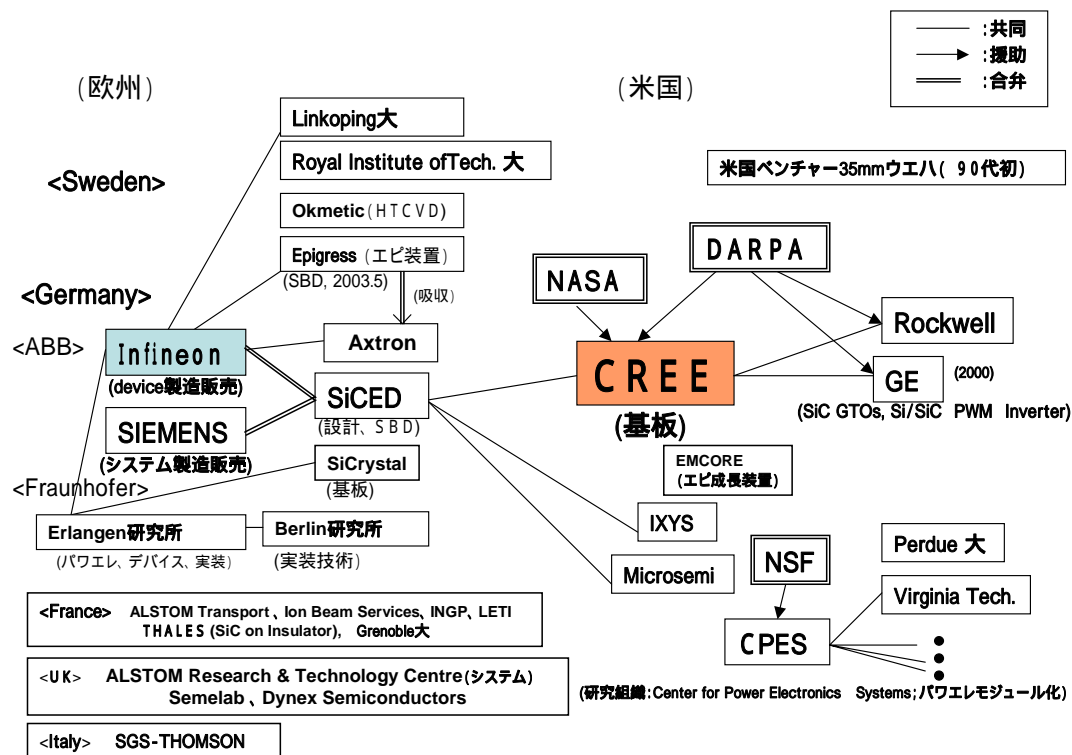


図.2-10 海外における SiC 研究開発状況

2.7 SiC基板材料事業化・普及の課題解決の方策

SiC基板材料／エピ付き基板の実用化、事業化、普及のための要件として次のことを上げることができる。

- ・品質向上の観点から、定常的（継続的に）に一定量以上の製造を行う。
- ・品質向上の観点から、基板材料改良のための製造条件を反映させる装置改良開発を精力的に行う。
- ・装置改良、増設のための資金確保の観点から、デバイスの実用化開発を行っているデバイスメーカーが定常的に基板を購入し、使用した結果について、材料メーカーに技術的要求・情報を与える。
- ・製造設備投資の観点から、結晶基板製造設備およびエピタキシャル膜形成装置とも一式数億円の高価なものであるため、何らかの資金注入のシステム。
- ・現在、米国C社との技術、ビジネス両面での格差が極めて大きいため、早期にビジネスレベルに達するためには、我が国がH14年度までの5年間の国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」で培った基盤技術の実用化、量産技術への移転による加速が必要である。

以上のことが、基板材料メーカーが米国C社に対抗して、ビジネスとして離陸できる必要条件である。

今後、5年以内に既にインフィニオン社から発売されているSBD（ショットキーバリアダイオード）からもう一步進んだスイッチングデバイス、更にSBDとスイッチング素子を組み合わせたインバータが実用化されると予想される現在、出来るところから早急に上記要件に対する対策を打っていくことが必要である。

国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」では、（独）産業技術総合研究所（略称：産総研又はAIST）との共同研究体制のもと産総研内に設け、企業各社から出向してきた研究員よりなる、（財）新機能素子研究開発協会先進パワーデバイス研究所ではデバイス製造の要素技術開発と共に、結晶材料、エピ膜の基盤技術が育成され、米国C社の基盤技術に基本的にほぼ同じレベルまで追いつくことができ、実用化に踏み出すことができた。その基盤技術を、量産技術に長けた企業に注入するような仕組み、体制が必要と考える。企業を舞台とする実用化・事業化促進への活動を行うと共に独立行政法人、財団法人などのニュートラル立場を持ちうる研究機関は更に将来の手を打っておくべきであり、米国C社を追い抜く技術の準備も同時に必要である。

はじめに記した、実用化・事業化の要件の促進、加速を行う具体的な方策として、図2-11に示す体制を考えた。SiC基板材料ビジネスを本格的に踏み出したS社と優れたエピタキシャル成長技術を持つ（独）S研究所、（財）D研究所が強い関係のもとに形成する「エピ基板」コンソーシアムが国の支援を受けて、デバイスメーカーに安価に基板を供給するシステムが一つの案として考えられる図2-11は、早期にこの体制を始動するため、既存のインフ

ラ、設備を利用しながら立ち上げるものである。次の段階で、供給能力向上を図るべく、実用化開発補助金等による支援を提案・申請するものである。また、上記に述べたように、一定量以上の繰り返し製造による品質の向上、ノウハウの蓄積ばかりでなく、国家プロジェクトで培った基盤技術を量産技術に移転応用し、質的、量的両面からの加速を狙うものである。

既存設備、技術ノウハウの速やかな活用を図る上で本コンソーシアムは既設設備のある、複数のサイトで立ち上げることが適切と考える。

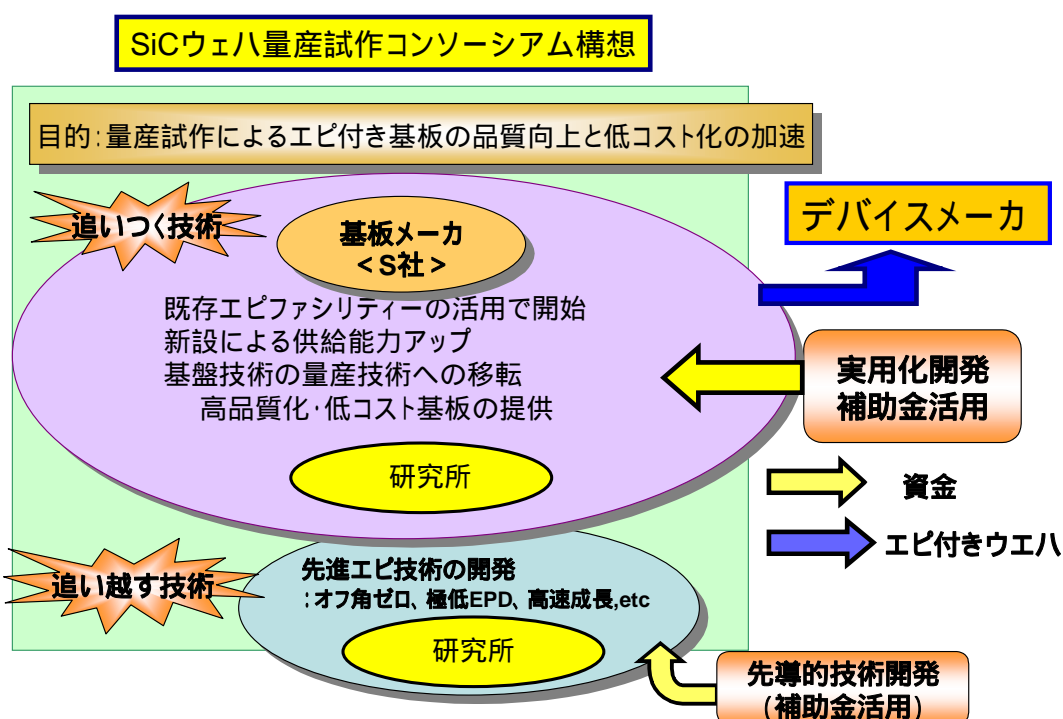


図.2-11 SiC ウェハ量産試作コンソ - シアム構想

3. SiC 半導体デバイス開発の最新動向

SiC デバイス (特にスイッチングデバイスあるいはインバータ素子) が何時、どのような量産機に導入されるかは最も期待と関心の持たれる所である。それには第一に Si に対して性能上、大きなメリットがなければ使われないことは言うまでも無いことである。現在すでにビジネスの領域に入っている SiC デバイスは、SBD (ショットキーバリアダイオード) である。SiC デバイスの導入に対するサクセスストーリーが描けるかは、例えばビッグビジネスとして期待される EV/HEV では、Si に比べて大きな性能メリットが無ければならないのと同時にコストが Si 応用機器の 2 倍以下であることが必要とされる。

また、高性能、安価、高信頼性の SiC デバイス量産品が完成し、更に普及するためには、例えば米国の施策のように SiC デバイスを使用せざるをえないような高周波対策として EMC 規制を掛けるなど、政策的に普及を助長するなどのことも考えられる。Si のパワーデバイスで SiC デバイスと競合するのは Si-IGBT であるが、Si-IGBT もこれ以上の性能向上 (スイッチングの低損失、高パワー化) には回路技術により一定の対応はされているが、単体では打つ手がなくなっているといわれる。

SiC デバイスが 5 年以内に量産されるためには、基板は径が 4 インチ以上で、1,000 枚 / 月の供給が必要。これができないと材料を米国 C 社に頼ることになる。国内にも少なくとも一箇所は基板メーカーが必要であり、米国 C 社に対抗できる会社を育てる必要がある。

また、現在実用化開発が行われている主たる SiC デバイスは使用電圧が 1000V 程度以下であるが、電力システム、電力ネットワーク (系統連系機器) など数 kV から 10kV 以上の用途では、国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」でも開発対象としていなかった少数キャリアデバイスの開発も急がねばならない。この点に関して米国 C 社は一歩先んじて開発を行っている。

デバイスの低コスト化のためには、キーテクノロジーは基板材料のみではなく、SiC デバイスの実現に必要な Si に比べて高温の処理が必要なデバイス製造プロセスやイオン注入プロセスを如何にハイスループットに出来るかという点がある。

事業化が必要とされるデバイスとして、< SiC-MOSFET+SiC-SBD > の採用により、インバータの大幅な素子損失低減と高周波動作が実現可能であり、その効果は周波数が高いほど低損失化の効果は大きい。図.3-1 に SiC パワーデバイスの長所 - インバータにおける損失の比較 (出展: 京大 COE - SiC シンポジウム: 京大 / 木本助教授) を示す。

デバイスのタイプについては、各社主たる開発対象は異なっており、JFET についても主に三つのタイプ、他に MOS 型、MES 型があるが、最も注目される EV/HEV 向けのデバイスには安全性の面から、ノーマリーオフが必須条件とする意見もあれば、回路上で解決できるとの意見もある。

SiC デバイスにおける今後の技術的課題は、MOSFET におけるチャネル移動度の向上が素子として最も重要なテーマと考えられる。

更に、SiC デバイスの優れた性能をモジュールとして発揮させるためにはその周辺部品の開発、実装技術の開発が必要である。図.3-3 に電力変換器の電力損失の内訳を示す。

具体的には耐高温実装（パッケージ）技術、耐高温及び高周波数用受動部品（ノイズ対策品）の開発が必要である。高周波特性と高温特性のよい SiC デバイスは部品の小型化技術で、冷却用部品の簡潔化、電力の高効率化（高性能化）に最も威力を発揮する。その周波数を高めることによる高効率化の面での効果も極めて大きく、小形化技術開発の中で SiC デバイスの種々の優れた特性が多面的に発揮されることが期待される。

また、この際に並行して回路設計面での研究開発も欠かせない。大学においてもこのような観点から、材料・デバイスの専門分野と電気回路の専門分野がこれまでにない強さで連携で検討が促進されている大学もある。また、応用面からの研究開発の積極的参画についてもネットワーク作りを行い、支援を行う必要がある。

SiCパワーデバイスの長所 - インバータにおける損失の比較

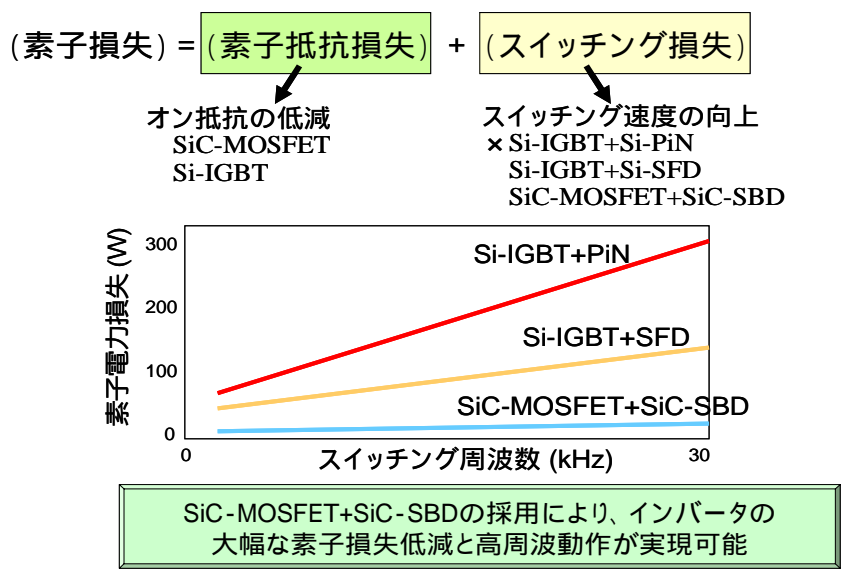


図.3-1 SiC パワーデバイスの長所・インバータにおける損失の比較
 出展：京大 COE サテライトワークショップ（木本先生講演）

SiCパワーデバイスの特徴

1. 高耐圧

多数キャリアデバイス: 600 ~ 3 kV (Si: < 200 V)

少数キャリアデバイス: 3 kV ~ 20 kV (Si: < 8 kV)

2. 高周波・低損失スイッチング

多数キャリアデバイス: ~ 10 MHz (Si: < 1MHz)

少数キャリアデバイス: ~ 500 kHz (Si: < 50 kHz)

3. 高温動作・高い破壊耐性

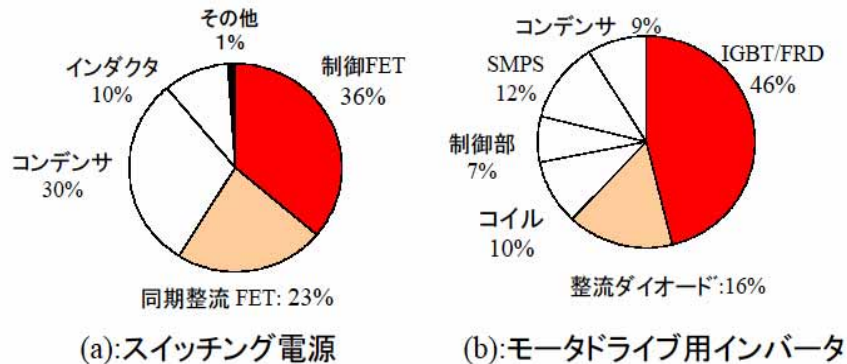
300 動作 (Si: < 150)

広い安全動作領域(SOA)

図.3-2 SiC パワーデバイスの特徴

代表的な電力変換器の電力損失の内訳

A. Lidow, et.al, Proc. of IEEE, 89, 803 (2001)



損失内訳

パワーデバイス: 受動部品他 = 60% : 40%

2004/1/20

AIST研究講演会

図.3-3 電力変換器の電力損失の内訳 (大橋東工大教授による)

3.1 技術的重要課題

デバイスを実用化する場合、多くの技術課題を克服して製品化に結び付けてゆく。その中でも最後に決め手となるのがデバイス特性を歩留り良く安定して実現できる技術が開発できたかどうかにある。この特性安定化技術が達成できないうちは決して実用化されることはない。表 3-1 に、それぞれ代表的なパワーデバイスについて特性安定化技術とその関連する材料・プロセス技術をまとめて示す。

MOSFET と IGBT の場合では、ゲート耐圧が素子製造歩留りを大きく左右する。さらにしきい電圧をある範囲内で制御できる構造とプロセス技術も必須項目である。このためにはゲート酸化工程でのプロセス技術と SiC 基板と酸化膜との界面の制御技術の開発が必要となる。接合 FET の場合、ゲート電圧がソースに対してきちんと印加できることがデバイス特性を得るうえで最低限の条件であり、ソース・ゲート接合耐圧の安定確保が重要な技術である。これにはゲート層を形成するイオン注入技術の確立が不可欠となる。バイポーラの本質は電流増幅効果であり、ベース層に制御電圧が印加できなければならない。従って、接合 FET と同じくベース層を形成するイオン注入技術が重要となる。GTO の場合、この素子に特有の課題として大きな電流遮断能力を得ることが挙げられる。GTO は一般にいくつかのユニットセルで構成されるため電流遮断能力は面内でのユニットセルの特性均一性と強く依存する。p 型および n 型のエミッタ層、ゲート層、しかもベース層でのライフタイム制御などがユニットセルの面内均一性を決める要因でありこれらを制御できる技術が必要である。サイリスタの場合では、pnp 接合があらわれるターミネーション構造の信頼性とオン電圧の低減がポイントとなる。SiC デバイスでは Si デバイスに比べてパッシベーションに電界強度の高いストレスがかかるため従来のベベル構造がそのまま適用できるかどうかなど検討する必要がある。しかも、サイリスタではオン電圧がその他のデバイスに比べて小さいことが特徴となるため、n ベース層のライフタイムを所定の値に制御して低オン電圧特性を確保する技術が重要となる。このライフタイム制御技術は基板の品質、プロセスの純度とも関連する相当難しい技術課題である。

以上、それぞれのパワーデバイスに要求される実用化技術について示したがさらに、夫々のデバイスに共通して考えるべき開発課題がある。表 3-2 に、実用上の共通の項目として検討し基準を設けておくべき項目を示す。最初の項目は、基板とエピタキシャル層に関するものである。現状の基板仕様は基板メーカーの提供可能な仕様であり決してデバイスメーカーで要求しているものではない。たとえば、基板の抵抗率は基板メーカーでは現状 $15\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ が限界であるとしているがデバイスサイドではオン抵抗の観点から 1 桁台を希望している。さらに、マイクロパイプの密度が高い点、エピタキシャル層の抵抗率のばらつきが大きい点、そり、TTV、LTV などの仕様が保証されない、などデバイスサイドからの要求仕様と離れた基板仕様となっているため現状ではデバイスの実用になかなか踏み込めない状況である。デバイスが実用化できる観点で合理的な仕様とそのロードマップを作成することは

急務である。つぎの項目は、製造設備に関する技術課題である。SiC 素子の生産に踏み込むには大規模な設備投資が必要となる。この投資を回収するためには相当量の生産規模を見込む必要があり、スループットの問題が重要課題である。具体的項目として示す 4 項目の製造装置技術についてスループットの観点から設備技術を見直す必要がある。第 3 番目の項目は、デバイス設計に関する項目である。デバイスの特性をある程度の精度でシミュレーション結果が得られなければ事業展開もありえない。具体的項目に列挙した多くに材料物性値の設定を今後積極的に図ってゆく必要がある。第 4 項は、評価技術に関するものである。デバイスの生産で大切なことは品質管理であり、生産体制に悪影響及ぼさない高効率かつ簡便な品質評価技術の開発は不十分な状況である。

表 3-1 デバイスの実用化を決める特性安定化技術

素子	実用化を決めるデバイス特性安定化技術	関連する材料・プロセス技術
MOSFET IGBT	ゲート耐圧高歩留り技術 しきい電圧制御技術	ゲート酸化プロセス SiC-ゲート酸化膜界面制御
接合 FET	ソース・ゲート接合耐圧 高信頼度技術	ゲート層のイオン注入形成
バイポーラ	エミッタ・ベース接合耐圧 高信頼度技術	ベース層のイオン注入形成 コレクタ基板のライフタイム制御
GTO	ユニットセル特性の均一性	各領域 (p,n エミッタ、ゲート) の面内均一形成 ベース層のライフタイム制御
サイリスタ	高耐圧ターミネーション 接合の高信頼度技術 低オン電圧技術	高信頼パッシベーション n ベース層のライフタイム制御

表 3-2 デバイスの実用化に必要な共通項目

NO	SiC 素子の実用化に必要な共通項目	備考
1	SiC 基板/エピタキシャル層の標準仕様とそのロードマップ	基板の抵抗率、厚さ、マイクロパイプ密度、欠陥密度、そり エピタキシャル層の抵抗率とそのばらつき 厚さとそのばらつき、TTV、LTV
2	製造設備に対する量産技術	低価格、高品質な大口径 ウエハ/エピタキシャル成長装置 大口径、高スループットイオン注入装置 大口径、高スループット高温熱処理装置 QC装置
3	SiC 材料物性値 特にデバイス設計項目関連定数	実効状態密度、キャリア濃度分布、誘電率、少数キャリア寿命、キャリア拡散係数、移動度、電離係数、酸化膜成長則、不純物準位、不純物拡散係数、酸化膜界面物性(稼動イオン、界面準位、固定電荷、捕獲準位)
4	評価技術	キャリア濃度分布、ライフタイム評価 結晶欠陥 等

3.2 SiC 半導体デバイス製造上の課題

SiC 半導体デバイスの特性を引き出すためには、まだ多くの製造プロセス上の課題が残っている。量産技術については次節に譲って、本節では SiC 半導体デバイスの本来の特性を実現するために必要な製造プロセス技術について述べる。これらは、SiC という新材料を扱うための材料技術（基板技術、エピ技術）、SiC に適したプロセス技術（イオン注入技術、電極形成技術、ゲート形成技術、パシベーション技術、ダイシング技術）、高電流密度・高速駆動・高温駆動に適した実装技術に大別できる（表.3-3）。

3.2.1 材料技術

事業化の観点から基盤技術に最優先で求められているのは、量産効果を向上させるための大口径化と歩留り向上のための低欠陥化の二つである。大口径化については市販レベルで 3 インチが実現しているが、既存の製造設備を活用する観点からは最低でも 4 インチ基板が必要である。また、電気自動車・鉄道・電力などへの適用には、100A/chip を実現するために 1 個/cm² 以下のマイクロパイブ密度が求められる。これ以外の欠陥についても、バイポーラデバイスのオン電圧ドリフトを発生させる Basal Plane Dislocation を初めとする転位の解消とデバイス特性・信頼性との相関の解明が待たれる。さらに、デバイス特性を向上させるためには、電気特性・微細化プロセスに影響を与えるウェハ仕様の改良が不可欠である。耐圧 600V 以下のショットキーダイオードでは、基板抵抗が全体のオン抵抗の半分以上を占めており、その低抵抗化は必須である。添加不純物濃度を上げると基板の結晶品質劣化を招くために低抵抗化が阻害されており、さらに改良が望まれている。薄層化による低抵抗化には製造プロセス中での破損を防止するようなハンドリング方法の工夫が不可欠である。微細化プロセスでは、1 ミクロン以下のパターン形成を行うためにステッパーを露光装置として用いる必要があるが、現状の SiC 基板では反りが数十ミクロンと大きく問題となっている。Si ウェハの標準規格である SEMI 規格に合致した仕様のウェハを市販レベルで供給できるメーカーはなく、微細化に問題を残している。また、6 インチ基板を安価に供給できる 3C-SiC 基板技術、MOSFET のチャネル移動度改善が見込まれる(11-20)面、(03-38)面基板、バイポーラデバイス用の p 型基板については、まだ研究レベルに留まっており一層の改良が望まれる。さらに、将来の耐圧数十 kV 級デバイスの実現には、エピなみの高品質バルク基板の開発が必要となってくる。

エピ技術は、高耐圧を保持するドリフト層を形成するためのエピ技術と、SiC デバイスに特有なエピチャネル層などを形成するためのエピ技術とに大別される。前者に関しては、オン抵抗と耐圧のトレードオフを改良するために、ウェハ間、ウェハ面内の濃度分布の均一化、エピ厚さの均一化が強く望まれる。現状のエピ技術では、濃度は ±20% 程度、厚さは ±5% 程度の面内ばらつきを持っており、デバイス特性を犠牲にして余裕をもった設計にせざるを得ない状況である。バイポーラデバイスの特性に強い影響を与える少数キャリアライフタイム については、まだその起源もきちんと把握されているとはいえず、高化・

均一化はこれからの課題である。後者のエピチャネルなどプロセス途中で行われるエピ技術についても、濃度・厚さの精密制御が不可欠である。特にスイッチング素子のチャネル部分はオン抵抗低減のキーとなる部分なので、この部分の電気的特性がばらつくとデバイス全体のオン抵抗・耐圧の大きなばらつきの原因となる。また、大口径基板で重要となる低オフ角面への高品質エピ成長、基板技術のところで述べた 3C 基板や他の結晶面へのエピ成長技術の改良はまだ研究段階に留まっている。

3.2.2 プロセス技術

化合物としては比較的 Si に近いプロセスを使うとされる SiC ではあるが、高温を必要とするイオン注入技術、メタルが異なる電極形成技術、MOS チャネル移動度を改善するためのゲート形成技術、1桁高い電界強度に対応するためのパシベーション技術、硬い材料を切断するためのダイシング技術など、それぞれに特徴的な技術課題を有している。

イオン注入技術では、イオン種として取り扱いにくいアルミを使うこと、高ドーズ注入でのアモルファス化を防ぐために数百度の高温注入が必要であること、残留欠陥解消のために 1600 以上の高温アニールが不可欠であることなどが Si と異なる点である。イオン注入層を主接合として用いたデバイスでも高耐圧が出るようになったが、MOS チャネルを形成するとまだ残留欠陥や表面荒れによるチャネル移動度低下、ゲート絶縁膜の信頼性低下が見られるので、さらに改良が必要である。量産技術の面で特に装置開発が必要とされているプロセスである。

電極形成技術では、オーミック抵抗は格段に低下してデバイス特性上は問題ないレベルまで到達している。しかし、微細化に必須な p/n 同時コンタクト用の電極材料はまだ開発途上である。ショットキー電極は、プロセスに起因するピニングによりショットキーバリアハイト b が高めにれていること、リーク電流がウェハ面内で不均一であることなどが指摘されている。配線金属に関しては、素子のデッドスペースとなっているパッド部分を多層配線により素子上に配置して高価な SiC 基板のチップ面積を縮小する工夫や、特に横方向素子ではオン抵抗の主要な成分となる配線抵抗を低減するためにメッキなどによる厚膜配線の形成技術などが必要となってくる。

MOSFETのゲート形成技術では、チャネル移動度とゲート絶縁膜の信頼性向上のために、酸化膜形成条件・積層膜構造の検討、蓄積層移動度の利用、電界強度低減のための P 型埋め込み層の形成、トレンチゲート構造の検討などが行われている。MOSチャネル移動度は要素試作により $70 \sim 200 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度が得られるようになったが、この値を高耐圧デバイスのスループロセスを経た状態で安定して出すことが課題となっている。ゲート絶縁膜の信頼性も小面積では問題ないレベルまで改善したとの報告があるが、数ミリ角の実用的な電流容量を有するチップでの検証が不可欠である。

パシベーション技術では、Si より 1桁高い電界強度に対応するために高絶縁性パシベーション膜の検討が必要である。現在のプレーナ型接合終端構造の設計においては、この問

問題を回避するために終端面積に大幅な余裕を持った設計をしており、高価な SiC 基板を無駄に使用している。さらに、主接合がエッチング端面に露出するようなベベル構造を持ったデバイスを作ろうとする場合には、余裕をもった設計ができないので 10 倍の絶縁性能を持ったパシベーション材料が不可欠となる。ダイシング技術でも、硬い SiC 材料を切断することに加えて、高価な SiC 基板の有効利用を図る目的で、切断幅をできるだけ縮小し、かつ損傷の少ない切断方法の検討が必要である。

3.2.3 実装技術

SiC 半導体デバイスの実装では、熱抵抗低減、耐熱性、低寄生インダクタンス L・低寄生キャパシタンス C 化が求められる。高価な SiC 基板を有効利用するためには、高電流密度で使ってチップを縮小することが効果的であるが、結果として発熱密度が増加して実装部分の熱抵抗が問題となってくる。SiC 材料自身の熱抵抗は銅なみと非常に優れているので、熱抵抗としては実装部分が制約するようになり、この部分の抜本的な見直しが不可欠である。高温動作という点からは、さしあたっては Si 半導体デバイスで開発が進められている 200 程度までの耐熱性が望まれる。耐圧 4kV 以下の SiC 半導体デバイスはユニポーラ型であり、高温になるとオン抵抗が増加して損失が増えるので、むやみに高温動作させても冷却能力との関連でかえって不利になる。高温環境で使うのでなければ、素子特性と熱抵抗、冷却との関係により最適な動作温度を設定するのが良い。スイッチング速度の高速化による電圧・電流のオーバーシュートによる振動現象を抑制するためには、実装配線の低インダクタンス化、低キャパシタンス化が不可欠である。将来は稠密実装による電気配線と放熱の一体化が必要となり、その開発をサポートするための 3 次元の構造・熱解析ツール・電磁界解析ツールの統合的活用が不可欠になってくると思われる。

以上、SiC 半導体デバイス製造上の課題を述べてきたが、これらの技術課題は相互の連携をもって解決すべきものであり、単独で突出した要素プロセス技術だけでは実用化へ結びつかない。現時点で市販されているショットキーダイオードやサンプル出荷されているスイッチング素子などは、現状レベルのプロセス技術の使える部分だけを妥協して使いながら実現されている。さらに特性を改善し、均一な特性を持ったデバイスを実用化していくためには、材料・プロセス・デバイス・実装技術の相互のフィードバックにより全体レベルを上げていく不断の努力が必要不可欠である。

表.3-3 SiC 半導体デバイス製造プロセス技術の課題

製造プロセス技術		技術課題
大分類	小分類	
基板技術	結晶欠陥	マイクロパイプ低減、転位低減、特性との相関
	抵抗	低抵抗化（高濃度化、薄層化）
	形状	大口径化、反り低減、凹凸低減
	多形、結晶面	3C-SiC 基板、C 面、(11-20)面、(03-38)面、 p 型基板、半絶縁性基板
エピ技術	n 型	濃度・厚さの精度・均一化、高 ー均一化
	p 型	濃度・厚さの精度・均一化
	オフ角度	低オフ角面へのエピ成長
	多形、結晶面	3C 基板、他の結晶面でのエピ精度・均一化
イオン注入技術	注入	高温注入
	アニール	残留欠陥解消、表面荒れ低減
電極形成技術	オーミック	p / n 同時コンタクト、金属のパターン形成
	ショットキー	低 b 化、安定化、漏れ電流均一化
	配線	パッド取り出し、厚膜配線（特に横方向素子）
ゲート形成技術	酸化膜	界面準位密度低減、信頼性向上
	トレンチ	深さ・幅の精密制御、形状制御、側壁平滑化
	ゲート構造	電界強度低減（P 型埋め込み）蓄積層の利用
パシベーション技術		高電界強度対応（特にメサ部）
ダイシング技術		切断幅縮小、低損傷化
実装技術		熱抵抗低減、耐熱性、低 L , C 化

3.3 SiC 半導体デバイス事業化上の課題

3.3.1 SiC 量産化技術の課題

最初に、量産化プロセス技術において注目すべき観点を検討する。実用化、製造に向けては、コスト等も含め各プロセスを見直す必要がある。SiC で注目すべき観点を以下にまとめる。

a. プロセスの再現性、均一性

量産化技術では、プロセスの再現性、均一性に加え、許容される条件や寸法のマージンも管理する必要がある。寸法の観点では SiC においては、拡散速度差によりゲート長を制御する DDMOS ゲート形成技術が流用できない。セルフアライン工程、もしくはステッパーが必要である。また実用化の際の再現性や均一性の問題に迅速に対応するためには、基礎となるプロセス反応機構の解明も重要である。

b. 製造プロセスのスループット、装置価格

量産化技術では、基板価格のみならず、加工工程の経費の削減が重要となる。SiC 基板の価格の影響を考慮すると、加工工程の原価上昇は最小に留める必要がある。このために製造装置には、Si 素子製造と同様なスループット、価格が望まれる。

c. SiC 基板の欠陥密度とチップ面積の関係

基板品質は着実に向上しているが、依然Si基板と比較し多くの結晶欠陥が存在する。マイクロパイブ (MP) 密度をパラメータとして、素子面積中に含まれない確率を見積もった結果を図.3-1 に示す。例えば産業用インバータ等に用いられる 100A定格用としては、 0.3cm^2 から 1cm^2 程度のチップ面積が求められる。このような応用に対し 90%程度以上の歩留まりを得るには、MP密度 1 個/ cm^2 以下が必要になる。

次に、量産化のためのプロセス技術の現状と課題を検討する。SiC プロセス技術の項目ごとに、生産技術の段階へ向けて進展状況と課題を図.3-2 にまとめた。Si プロセス技術との差違、流用の可能性も検討した。

a. 基板成長、加工技術

SiC 基板には MP 以外の基板欠陥も多く存在する。これらは絶縁耐圧、リーク特性、通電劣化等に影響を与える可能性があり、その低減が求められる。ウエハーサイズに関しては、チップ当りの製造工程の原価低減と Si 素子製造ラインの流用を考慮すると、すくなくとも 4 インチ化が望まれる。研究段階では 4 インチ基板が報告されている [1]、また写真製版の観点より Si と同様なウエハーそり、厚さ均一性が求められる。

b. エピタキシ成長技術

高耐圧素子の実現、成長装置のスループット向上を目差し、高速成長の研究開発が進んでいる [2]。市販装置では、回転式の 4 インチ多数枚の装置も予定されている。装置価格の低減が課題である。

c. 前処理、エッチング技術

現状は、Si の RCA 技術が流用されているが、エッチング効果は少ない。このため素子作製において損傷層等の除去には、熱酸化とその後のエッチングによる犠牲酸化法が用いられている。損傷層等をソフトに取り除く簡略で安価な前処理工程が求められる。また、現状では、基板径が大型化した場合のドライエッチングの面内均一性に関する報告例も少ない。

d. イオン注入、活性化技術

注入した不純物をアクセプタ及びドナーとして活性化するためには、例えば、Al では 1500 °C 以上のアニールが必要である。注入損傷の低減を目的として高温注入も用いられる。高濃度注入では、損傷が激しく完全に活性化を行うことが難しい場合もある。逆に、(11-20)面やオーミック層用の高濃度注入層では、注入損傷により完全にアモルファス化し、その後再結晶化する方法も用いられている [3]。また、素子実用化を目指す場合、自己整合型の注入工程が重要となる。

活性化アニール工程は、方法、温度、時間等いずれも実用化に対応した十分な条件は得られていない。ラピッドアニールにより表面荒れを低減する手法が報告されている [4]。SiC では、Si に比べ処理温度も高温であり、従来の Si 用装置の流用は難しい。面内均一性、高スループット、高温に対応した SiC 用装置の開発が望まれる。

e. 酸化技術

酸化工程は、MOSFET のチャネルとしてはもちろん、保護膜、他の工程でのマスクとしての利用等、製造プロセスの中でも最も重要な技術である。しかしながら、形成反応機構はもちろん、酸化膜の構造、欠陥等でも不明な点が多く、最も大きな課題を残している。

MOS 界面の問題点としては、酸化時に残った SiC 中の炭素が界面付近に残留することが報告されている [5]。これに対し、酸化後に酸化時より低温で再酸化を行なうことが、界面準位の低減に有効であるとされている。

酸化に関しては、研究レベルでの糸口が見えた段階であり、今後実用化へ向けて酸化膜の信頼性を含めて多くの議論が必要である。酸化装置自体は、Si 技術と共通するものが多く、技術、装置の流用が期待でき、生産性、コストの観点からの課題は少ないと予想される。

f. 電極技術

SiC 素子では、コンタクト電極には、ドリフト層に見合った低い接触抵抗が求められる。特にソース用 n 電極は単位セルに占める面積割合が小さいため、最も問題になる。例えば、耐圧 1kV の MOSFET を想定した場合、その理論的なドリフト層の抵抗からは、ソース電極用の接触抵抗は、 $2 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$ 程度が必要と見積られる。また、他のプロセスとの整合の点では、アニール温度の低減及び p と n の同時アニールや同一金属による形成が望まれる [6]。

熱処理を伴うオーミック電極形成では、ほぼ製造に向けた条件を満たしているが、処理温度等付随する問題も多い。実用化を目指す場合、プロセスマージン、アセンブリ、高温

特性、耐久性等への考慮が必要であり、接触抵抗のさらなる低減と、電極の安定性の向上が求められる。

参考文献

- [1] D. Hobgood, Materials Science Forum, vol.338-342, p.3 (2000)
- [2] K. Fujihira et al., “Fast Epitaxial Growth of High-Quality 4H-SiC by Vertical Hot-Wall CVD“, Materials Science Forum, vol.433-436, p.161 (2003)
- [3] M. Satoh et al., “Annealing of Implanted Layers in (1-100) and (11-20) Oriented SiC“, Materials Science Forum, vol.389-393, p.773 (2002)
- [4] Senzaki et al., “Improvements in Electrical Properties of n-Type-Implanted 4H-SiC Substrates using High-Temperature Rapid Thermal Annealing“, Materials Science Forum, vol. 389-393, p.795 (2002)
- [5] 恩田他、信学技報、 vol.J81-C-II, p.134 (1998)
- [6] Crofton et al., phys. stat. sol.(b) 202, p.581 (1997)

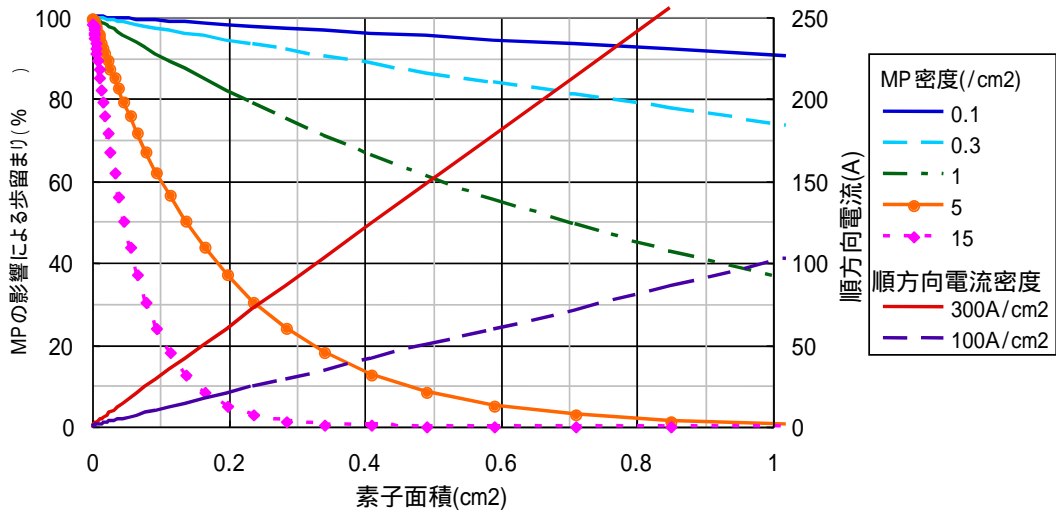


図.3-1 マイクロパイプ(MP)密度が影響する歩留まりと素子面積の関係

大工程	中工程	技術進展と課題			Si技術との差異	Si技術の流用	Si装置の流用
		Research/Develop	Engineer	Product			
基板	成長	結晶欠陥, 大口径			-	-	-
	加工	スループット, 価格			-	-	-
エピ	成長	成長速度, 均一性, 装置価格			高温	×	×
写真製版	チャンネル長	ステッパ, チャンネル自己整合			拡散×	?コスト	-
洗浄, 前処理	洗浄, RCA	最適洗浄技術 信頼性, 歩留まり			酸化しない	?	
	ライトエッチ?	犠牲酸化に変わるライトエッチ			酸化しない	?	
エッチング	プラズマエッチ	反応機構, 制御性向上, 大口径化			Si-C		
イオン注入	注入	Si装置との兼用, パス			少ない		
	アニール	表面荒れ, 変質層, スループット			高温	×	×
酸化	界面実効移動度	素子適用条件での向上			Si-C, ?	×	
	絶縁, 信頼性	評価, 試験			バンドギャップ	×	
電極	nオーミック	前工程への影響? 低温, RTA			Si-C, 高温		
	pオーミック	低抵抗or再現性, 低温化			Si-C, 高温		

図.3-2 各プロセス技術の進展状況と課題

3.3.2 イオン注入工程における課題

SiC 半導体デバイス事業化のためのデバイス量産技術におけるプロセス技術課題は、高温注入/アニールの高スループット化の実現である。その他の転写、成膜、表面処理などの多くの要素技術は、Si プロセス技術の転用が可能である。SiC 結晶のドライエッチング技術は、SiC デバイス・プロセス固有のテーマであるが、必須技術ではない。1000 ~ 2000 の高温プロセスを量産対応可能なスループットで実現する半導体プロセス技術は存在せず、SiC デバイス・プロセスの必須技術課題である。

現在活用されている実験開発用プロセス装置では、500 以上での注入や、1700 前後のアニール処理に、おおよそ 2 ~ 3 時間程度のサイクル・タイムを要している。これは、1000 ~ 2000 の高温に加熱されたウエハ・ステージを含む加熱チャンバー内構造物を、効果的に冷却する機構や、高温のウエハをハンドリングする機構が開発されておらず、ウエハハンドリング可能な温度までの冷却に長大な時間を費やす結果となっている。

(1)イオン注入工程に関するデバイス各社の実情

現在、SiC デバイスの開発を行なっている各企業、研究機関、及びプロセス装置メーカーにおける、1 項記載の課題に対する対策の実状を調べた結果、以下の結論を得た。

- a. 本質的課題ではあるが、一工程に特化した技術開発に注力する余裕はない。
- b. 各社毎に、高温注入装置/高温アニール装置を投資しても回収は困難。

1000 ~ 2000 の高温プロセス対応の量産機の作成にあたっては、素材、機構などの基礎要素技術からの開発となる。また、リピート生産の予測も立たないため、一からの設計費を要する為、量産対応機の実現には、膨大な時間と費用を要する。更に、Si や GaAs と異なって多数のポリタイプが存在する SiC 結晶に対する、プロセス技術を開発するには、物性的観点に立った技術開発を要するため、デバイス製造各企業が、それぞれに独自で量産機の導入を遂行することは極めて困難な状況にあるようである。

(2) 一極集中型プロセス技術開発のための提案

SiC デバイスの開発から量産に亘るプロセス技術を開発・導入して、ビジネスの立上げに実効的に貢献するためには、デバイス開発各企業が共同で利用できる一極集中型の開発・量産拠点を創設することが最も効率的である。そこで、以下に上げる主要な 3 つの技術開発・設備導入を行い、関連デバイス企業の開発・量産化の実現に貢献するとともに、SiC 基板・エピウエハ、高温耐熱素材、プロセス装置などの関連企業との接点として、ビジネス推進の中心の構築を提言する。

i) 高スループット・低損傷 高温注入技術の開発

大型バッチ処理化による処理能力拡大

自動ロード・システム化による本格量産化技術の開発

ii) 高スループット高温アニール技術の開発

高速処理実験機導入による要素技術開発

高制御性/大口径・高均一性/高スループット機の開発

iii) 非破壊検査技術 基礎評価技術の開発 (V-Raman, SIMS, ESCA, AFM, TEM, PL, CV, Hall, 他)

高速・高確度評価技術の開発(DUV-Raman、分光エリプソなど)

iii) 項の非破壊検査技術は、注入 / アニール工程を経た結晶が所望の導電性品質を実現しているかどうかを確認するための検査技術で、量産時の最も重要な品質保証を確立するための必須技術である。各項の は、既にイオン工学センターで自主的に実施して、利用者に提供しているが、将来の本格量産対応には、 の新規開発の専用機の導入が必要であるので、公的資金による全面的なご支援をお願いしたい。その見返りとして、国内指定関連企業・団体には、必要経費レベルで、デバイスの開発・生産の利用に対応し、ビジネスの立上げに貢献する。

(3) 研究項目

- i) 高スループット高温注入装置：低エネルギー領域 & 高エネルギー領域
- ii) 高スループット高温アニール装置
- iii) 高速 DUV-Raman マッピング評価装置
- iv) プロセス技術開発
- v) その他（開発環境整備、開発管理、調査 等）

(4) 研究内容

i)高スループット高温注入装置

高エネルギーイオン注入装置

a. 高エネルギー加速装置部分（イオン源：ダブル）

加速装置制作、新規設計、ソフト制作，など。

主要構成要素：E C R イオン源、加速電源、マグネット類、HVターミナル、エックロージャ、スキャナー電源、排気ポンプ類。

b.注入室

加熱系ユニット×4ユニット以上、真空ロボット1台、排気ポンプ（ターボ排気系）

c.開発要点

高温状態環境で、自動搬送システムを構築、短時間で昇温、冷却を行う機構 / 仕組み
低エネルギーイオン注入装置

ビーム系最終部で、エネルギーコンタミ除去のためのコリメータマグネットを取り付けるため、HVターミナルが大きくなり、装置全体の作りが複雑になる。

ii) 高スループット高温アニール装置

目標性能： 4 “ SiC の 2000 アニール処理において、1 2 枚 / 時間の処理能力を達成する。

加熱機構：電子線衝撃型高速局所過熱機構

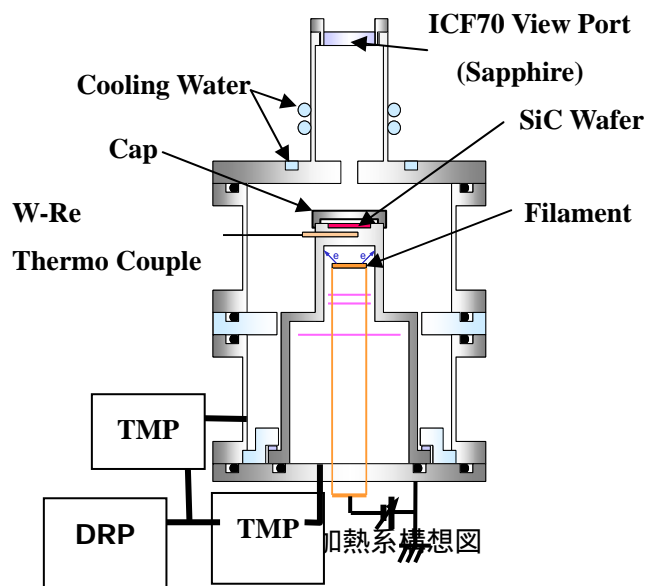
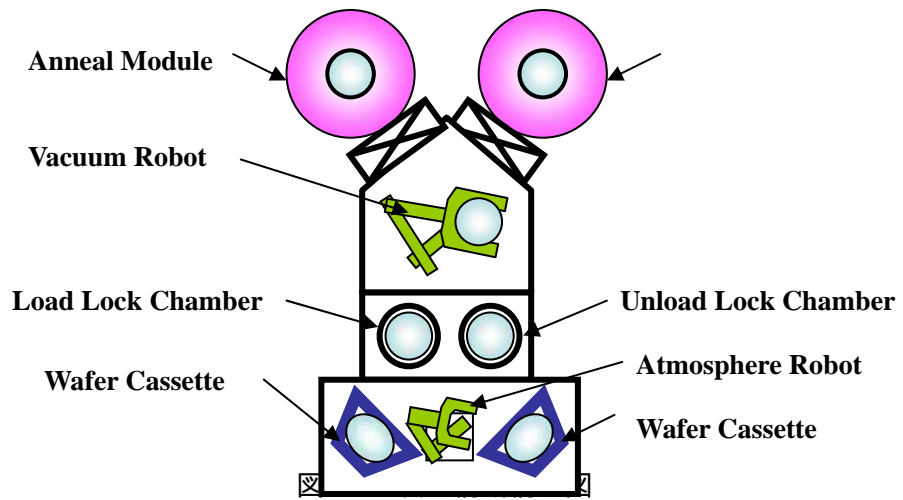
装置構成：ロードロック / マルチチャンバー型 / 予備加熱チャンバー / 冷却チャンバー付き

図.3-3 に装置構成構想図を示す。

開発ポイント：高速での過熱 / 冷却を可能とするため、最小限の熱容量の加熱媒体を局所的に加熱する電子衝撃法を、ロードロック式ウエハ搬送系をベースに実現する。

図.3-4 に加熱系の構想図を示す。

素材開発：2300 までの高速加熱を実現するには、加熱媒体である炭素素材の高純度化処理を実現するため、素材メーカーに対し開発を要請する。



3.4 SiC デバイス事業化のための課題解決の方策

SiC デバイス事業化のためには、高品質、安価なエピ付き基板の安定供給が必須であるが、デバイス製造プロセスにおいても各デバイスメーカーに共通して解決すべき、高スループットの熱処理プロセスと高温イオン注入プロセスなど従来の Si デバイス製造プロセス装置の転用ができず、新規設備整備への投資が必要であることを述べた。

新しい技術、高額な設備投資、また Si デバイスと比べた場合の設備稼働率を考えた場合、上記課題のデバイス製造プロセスは少なくともこの新規事業立ち上げにおいて、単独で賄うのは極めて大きな負担である。そこで、現在までこの SiC デバイス技術の開発に着手してポテンシャルが高い企業や研究所を利用した、イニシャルコストがミニマムにできる方策が、コストとスピードの両面から得策である。そこでこの SiC デバイス作製プロセスに特化されたインフラをセンター化して各社のデバイス中間品を集中的に処理するのが、技術開発・活用の効率化、リソースの効率的投入の面でも優れた方策と考えられる。現在この技術に実績もあり、更に設備の改良開発、インフラ整備を行っている。ここに装置メーカー A 社の SiC デバイスのために開発した高スループット熱処理技術を同時にこの拠点に持ち込みコンソーシアムを構築することが一つの案として考えられる。

一方、SiC デバイスが真価を発揮すると言われる 10kV 以上の主に電力システムで使われる少量、高耐圧、高機能デバイスの試作、供給、実証を進める必要がある。これについては、やはり現時点では企業がこの分野に踏み出すのは難しいので、デバイスコンソーシアムを形成し、将来の電力システムのパワーエレクトロニクスに有効と考えられる少数キャリアデバイスの開発を進める必要がある。

少数キャリアデバイスは国プロ「超低損失電力素子技術開発」では直接検討されていない。図.3-5 はデバイス製造プロセスの要素を示す。

今後、実用化に供するデバイス化技術を確立するためには、その性能、信頼性を判定する評価技術の確立と整備、すなわちその評価方法を確立することが必要であり、基板・エピコンソーシアム、デバイスの高スループットコンソーシアムとデバイスメーカーの間に情報の交流を活発にし、その上で標準化へのベクトルを揃える事が必要である。

これらコンソーシアムとユーザー側など総合的なイメージを図.3-6 にコンソーシアム構想図を示す。

4. パワーエレクトロニクスからの要請

都市環境汚染や地球温暖化防止に猶予の無いCO₂抑制には運用による対策ばかりでなく、革新的な技術開発が必須であり、これは産業の再活性の鍵ともいえる。すなわちエネルギー利用効率の向上（省エネ）の行方を決定づける技術の一つにパワーエレクトロニクスがある。実証研究が開始された分散電源を中心とする新電力ネットワークシステム、普及促進が施策として決まっている電気自動車、鉄道、家電という国民生活、社会基盤に最も重要な技術として位置づけることのできるパワーエレクトロニクスの革新が21世紀社会に求められている。本章ではこのような背景にあって、SiCデバイス技術の位置づけを改めて振り返ることとする。

エネルギー問題は社会システムとしての調和を考慮した方策が必要とされる。例えば分散型電源が普及した場合、連係された既設電力システムの電圧や周波数等に異常が発生する頻度が高まることも予想され（いわゆる電力としての品質の低下及び供給信頼度の低下が懸念され）、またこれらの解消を図ることに伴い、コストの上昇も懸念される。パワーデバイス、周辺部品、及び回路・配線、パッケージなどの実装技術開発によるコンポーネント化と信頼性評価・解析をおこなうことによりループコントローラ、半導体遮断器などの高性能化、低コスト化が達成できて普及促進が加速されると期待される。パワーエレクトロニクスの性能を飛躍的に向上させることが電力エネルギーシステム革新の成否を制する要点である。

産業技術分野においても電動機を制御するシステム全てが適用対象であり、産業のあらゆる分野で使用されている電力変換器及びその周辺技術の具体的課題の抽出とその研究開発の効率の且つ迅速な方策を提言し、今後の国家的資金投入への具体的な手段の計画立案の指針を得ることが必要である。

本調査研究では、環境への調和性と高効率利用を可能とするエネルギー社会システムに必要な要件を抽出する。具体的には、電気エネルギーの利用効率、制御性に高い性能を示すパワーエレクトロニクスの技術と高性能装置/システムを実現するための必要条件とそれが実現されたときの広汎な影響と効果について、調査を行う。特に適用分野として、今後、分散電源の普及促進が見込まれ、系統との柔軟な連系が必要な電力システム（主として分散型電源と系統電源の相互アクセスの潤滑性促進等の問題） 2006年度以降急激な普及が予測されている HEV/EV のシステム制御に係わる技術 家電用パワーエレクトロニクス 輸送効率の優れている鉄道システムの電力変換器技術について調査を行なう。また、一方高度 IT 社会実現には今後の消費エネルギーの電化率向上に伴い、小型化、コンポーネント化によるコスト低減、電圧変動抑制など電力の高品質化に必須なパワーエレクトロニクス技術開発の加速を図るの必要があり、社会、国家基盤技術として急がれるパワーエレクトロニクス技術開発における問題の抽出を行なう。また、小形化のキーテクノロジーであるパワーデバイスのモジュール化に必要な耐熱性対応実装技術及び周辺部品の調査

を行なう。ここで調査研究をされたパワー技術により産業基盤、社会基盤を強化し国際競争力を付ける方策についても提言を行なう。

4.1 電力システム応用

4.1.1 電力システムをとりまく状況

日本の電力システムはいま、大きな変革の時を迎えている。地球温暖化を引き起こす二酸化炭素の排出量低減と、IT 社会を支える基盤としての電力エネルギーの高品質で安定した供給、そして電力自由化が示すように低コスト化とともに需要家の多様なニーズに応えることが求められている。これを実現するためには、従来からの大規模電源を主体として一方向に電力が流れる大規模基幹系統に加えて、太陽光発電やコジェネレーションなどの分散型電源を大量に導入した新たな分散型エネルギーシステムが、相互に調和のとれた形で導入されて行くことになる。

そこでの主な課題は、発送配電と利用のトータルでの高効率化と二酸化炭素排出量の低減、大規模基幹系と分散電源との協調による高効率で安定な運用制御であり、エネルギー総合工学研究所が「電力分野産業技術戦略」としてまとめている。

4.1.2 電力システムでのパワーデバイス

前項で述べた新しい電力システムにおいては、パワーエレクトロニクス技術が大きな役割を果たす。

例えば基幹電力系統では、周波数変換設備、直流送電設備、あるいは SVC や STATCOM などの無効電力補償装置などが、系統の安定な運用のために使われてきた。また太陽光発電や燃料電池などの分散電源を系統連系するためにはインバータを用いる。これら分散電源が大量に導入された分散型エネルギーシステムにおいては、変動性電源の出力や負荷変動を安定化するため、あるいは系統安定化のために蓄電池や SMES などの電力貯蔵が必要となるとともに、電力を柔軟に制御するためのループコントローラや半導体化系統切換スイッチなども使われることになるだろう。また電力エネルギーの消費の段階でも、モータはインバータ制御され、情報機器内部では安定化直流電力に変換され、高品質電力のニーズには UPS が使われる。

これら全ての機器はパワーエレクトロニクスデバイスを用いて制御される装置であり、将来の電力システムにおいては、電力はその発生から輸送、消費に至るまでの各段階で何度もパワーエレクトロニクスによる変換・制御を受けることとなる。従って、パワーエレクトロニクス装置の低損失化と高機能化、低コスト化に対するニーズは大変大きいものがある。(図.4-1)

4.1.3 SiC デバイスの適用効果と課題

SiC パワーデバイスで尤も実用化に近いものは、ユニポーラ型デバイスである、これは Si デバイスに比べて、オン損失が小さい、耐電圧が高い、動作温度を高くできる、などの特徴を持つ。これらの特徴から、変換器を構成した場合に、高効率でコンパクトな装置に

なり、また高調波の低減が可能でフィルターを小型化あるいは省略可能となるなどの効果を持つ。(図.4-2)

平成 12 年に運転を開始した、本州と四国を海底ケーブルで結ぶ紀伊水道の直流送電(±250kV, 1400MW)の変換器のサイリスタ(8kV/3.5kA)を、SiC-MOSFETで置き換えた場合の試算に依れば、素子の電流密度を高く取ってコンパクトにする設計や、電流密度を上げずに低損失にする設計など、いくつかの選択肢があるが、低損失化を図った場合には、定格通電時の損失が、現在の Si デバイスによる場合の約 35%になる可能性が示されている。(平成 13 年度次世代パワー半導体デバイス実用化調査報告書)

また、分散電源の系統連系用インバータの例として例えば太陽光発電用のような 3kW の 3 相インバータで試算した場合で、Si-IGBT を用いた場合に比べて損失が約 1/3 になるとともに最適搬送周波数が約 2 倍になることから、小型コンパクト化が可能となることが示されている。(平成 15 年度次世代パワー半導体デバイス実用化調査報告書)

4.1.4 展望

SiC デバイスを用いた電力変換器は、効率の向上による電力損失の低減効果により、ある程度のコスト高は許容されるような応用があり得る。またデバイスコストがある程度 Si デバイスよりも高くても、システム全体の小型コンパクト化、冷却系など周辺部分の簡略化、等の効果により、機器全体としては低コスト化が可能となることが期待される。

これが実現できれば、現在は損失やコストの面から Si デバイスの導入が妨げられているケースでも、SiC 化によりパワエレ変換器の導入による高機能化が図られ、低環境負荷で高品質な電力供給・利用システムの構築に寄与することになる。

将来の電力システムでは、パワエレを用いた高度な運用・制御が不可欠になると考えられるので、SiC デバイスによる低損失で高機能な変換器の実現に対する期待は大きい。

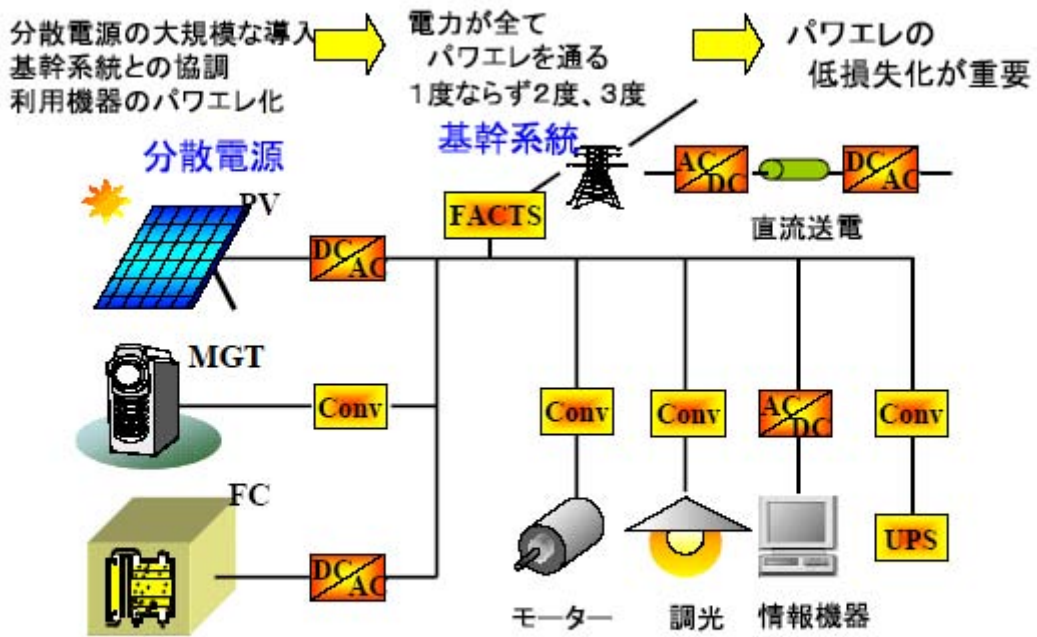


図.4-1 将来の電力系統

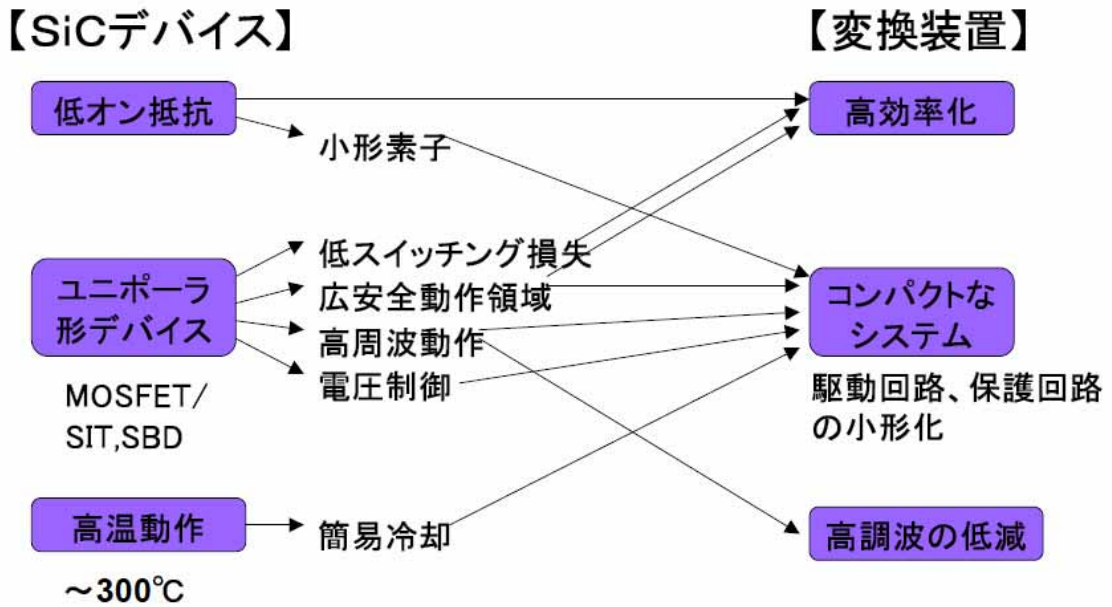


図.4-2 SiC パワーデバイスの特徴と効果

4.2 EV/HEV 応用

自動車において、環境問題、快適性の追及、エネルギー効率の改善、安全性の向上、ITSを中心とした情報化が急速に進んでいる。このため、車載電気・電子制御技術と機器の革新が不可欠で、日々、新技術が公開されている状況である。まさに、自動車、道路、人間の最適システムを目指した次世代車社会の構想に係わっていく、ニーズに対応した技術開発が進められている。現在、より実用性が高いハイブリッド電気自動車(HEV)、近未来車としての燃料電池車(FCEV)が注目されているが、文頭のニーズを最も満たす車の様式としてEV(電気自動車)がある。EVの普及は、環境問題をはじめ、都市問題その他のQOL(Quality of Life)の観点からも強く望まれながら、微速前進状態である。一方で、HEVは海外でも市場を拡大し、将来の燃料電池自動車(FCEV)へのつなぎの域を越えて普及し始めた。

HEV、FCEVを含めて、電気自動車(EV)がガソリンやディーゼルの内燃機関自動車(ICV)と大きく異なる点は、もちろんEVが電気モーターで動くということである。モーターを制御するためにはインバータが用いられ、その小型、高効率化が課題となっている。インバータ用のデバイスとして、現在はSiデバイスが使われているが、これらの課題を解決するにはSiCデバイスのようなパワーデバイスの新技術開発が待たれている。

4.2.1 省エネ及び環境への対応

2001年7月の政府「長期エネルギー需要見通し」では、2000年の最終エネルギー消費量4億500万kl(原油換算)に対して、2010年に4億900万klとし、CO₂予想排出量を炭素換算で3億700万tとした(総合資源エネルギー調査会需給部会報告(2001年)による)。しかし、この基準ケースのままでは、COP3での目標達成は不可能で、900万klの更なる省エネが必要である。エネルギー消費のうち、最も比率が高いのは産業部門で、省エネが進められているため、更なる省エネは容易ではない。産業部門に次いでエネルギー消費の大きい運輸部門(25%超)では、さらなる省エネが可能である。2001年度の運輸部門におけるエネルギー消費量は1990年と比して22.4%増加の 3932×10^{15} Jであった(資源エネルギー庁『2001年度におけるエネルギー需給実績』による)。また、運輸部門のエネルギー消費として、自家用車とトラックで約85%を占める。この自家用車・トラックの省エネがポイントとなり、CO₂排出低減にもつながる。

地球規模の環境問題のひとつに温暖化がある。これは大気中の温暖化ガスが増加することにより、地球の平均気温が上昇する現象である。CO₂はこの温室効果ガスのひとつであり、地球温暖化への寄与は60%ほどとみられる(IPCC気候変動に関する政府間パネル2001より)。さらに、CO₂排出において、運輸部門はその21%以上を占め、1990年と1999年の比率では23%の増加を示し、産業部門の0.8%、民生部門の17.5%をしのごく。ここで、運輸部門における自家用自動車と自家用貨物車(トラック)のCO₂排出比率は、全体の68%にのぼる。

CO₂削減に向けた自動車業界の取り組みとしては、自動車の燃費改善とクリーンエネルギー

ー自動車の普及が中心である。また、交通流を制御する条例を含む交通対策、輸送量機関分担を振り分ける物流の効率化対策（モーダルシフト対策）も進められている。燃費改善については、2010年燃費基準の早期達成に取り組んだことから、CO₂換算で1650万tの削減目標を達成できる見通しである。

低公害車としては、電気自動車（EV）、ハイブリッド自動車（HEV）、天然ガス自動車、ディーゼル代替LPG車がある。各種車両について、2002年における国内普及は暫減していたが、2003年にはハイブリッド車の急速な普及がみられた。2003年3月における低公害車（低燃費・低排出ガス車を含む）の普及台数は、458万台で、HEVは52,000台となった。いずれにしても、今後、HEV、EVの普及を加速する手立てが必要な状況である。

4.2.2 HEV・FCEV・EV

2002年度の出荷台数の実績はEVについて83台（前年比45%、100台減）、HEVについて15,514台（前年比69%、6,963台減）であったが、前述のようにHEV普及台数は急速に伸びている。燃料電池自動車は現在開発中であり、実験的な使用の段階である。しかし、今後のエネルギーの安定供給と地球環境保全の両立を目指して、経済産業省では2012年に5万台、2020年に500万台、2030年には本格普及を進め1,500万台（国内自動車の約2割に相当）とする計画を示した。

図.4-3は（東大生産研堀教授による自動車燃料の将来予測の図である。ICEは内燃機関エンジンを示す。2040年ではFCEVであるFuel Cell Hybridが過半数近くを占めると予想されるが、2010年、2020年ではHEV（ICE Hybrid）とEV（Pure EV）がより普及する状況が予想される。EVに関しては、2006年に5万台保有、2万台販売、2010年に20万台保有、5万台販売を見込む。また、HEVについては、2006年に50万台保有、20万台販売、2010年に180万台保有、50万台販売を見込む。これは、コスト低廉化が進み、十分な技術開発がなされた場合である。COP3達成に向けてもこの将来予測に沿うようなHEVとEVの進化が不可欠である。

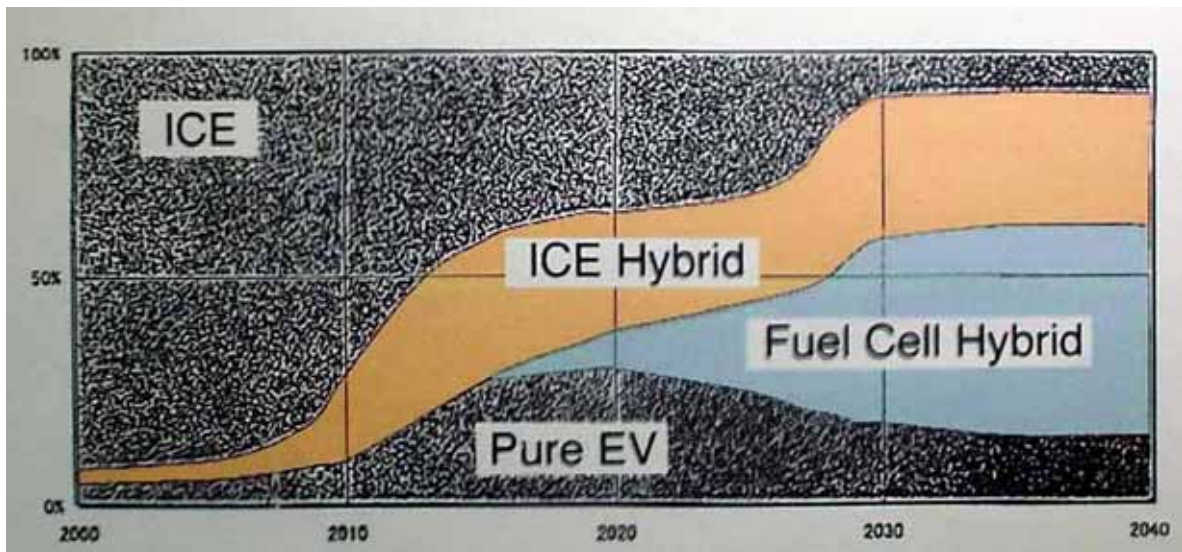


図.4-3 自動車燃料の将来予測 (東大堀教授資料による)

4.2.3 電源・モータ・制御システム

開発中の FCEV では当然ながら燃料電池の高性能低コスト化が求められる。HEV、EV における進化の要点は低コストと、性能を支える電源、モータ、制御システムにおける斬新な技術の導入である。電源については、リチウムイオン電池の開発が国家プロジェクトとして推進中である。また、鉛電池の高性能化、NiH 電池の高電力密度化・低コスト化が電池メーカー中心で進められている。電気二重層キャパシタ (スーパーキャパシタ) のような新技術も研究機関が注目し、EV への応用を検討し始めた。

しかし、制御システムについては、各自動車メーカーが設計する自動車ここへの対応が主で車全体の中で、モータや電池との精緻なすり合わせが必要な分野であり、効率的な研究が実施されている状況ではない。特に、制御システムの中核であるモータ駆動のためのインバータは HEV、EV で仕様が異なるが、小型高性能化のための新しいデバイスの導入が求められている。

4.2.4 インバータ

インバータは電源側からの直流あるいは交流を、交流に変換するモジュールである。現行のモジュールは Si デバイスにより構成され、耐熱 135 度で水冷が必要である。また、高電力に対応させるため Si 製 IGBT を用いており、モジュール体積は HEV 用で 1 万 cc を越え、電源電圧は 500V、50kW を使用している。このパワーエレクトロニクス部品の小型化 (現行 0.3cc/W) と耐熱化、さらに高効率化 (現行 95%) を実現するには、Si ではなく SiC を用いたデバイスが必要である。

以下に EV、HEV のインバータ用デバイスとして、必要とされる技術項目と目標値を示す (カッコ内は年代を示す)。

- (1) 動作周波数：10-100 k Hz
- (2) ピーク時消費電力：50 k W(HEV)、100 k W(EV)
- (3) パワー密度：15W/cc(2010)、20W/cc (2015)
- (4) 使用温度：175 (2010)
- (5) チップサイズ：1cm 四方以下 (2010)
- (6) 耐圧、最大電流：600V,100A(2005)、1.2 k V,100A (2010)、2 k V, 600A(2015)
- (7) オン抵抗：数m c m²以下 (2005)
- (8) インバータ体積：1/2 (2005)

以上のような高性能化が図れ、量産が可能となり市場拡大につながると、EV と HEV の普及は 2.2.2 節で述べた保有台数と販売台数に加えて、SiC デバイスにより国内で HEV1,000 万台 (2010)、全世界で 5,000 万台が見込まれる。これは、SiC デバイスとしての国内市場 100 億円 (2010)、インバータ国内市場で 4,500 億円、全世界で 2 兆円超に相当する。

このような EV と HEV の普及拡大には、実装、プロセス、回路技術といった周辺技術を包含した研究開発が必要となる。

4.2.5 おわりに

モータで動く自動車を普及させることにより、環境対策、省エネ対策が図れる。また、車両自体の情報化、安全性と快適性の向上も進むと考えられる。モータ、電池等の電源については、国家プロジェクトが進められている。制御システム開発については、車メーカーに依存しているが、高温対応、高効率、小型のインバータを実現するためには、技術力を結集した研究開発のプロジェクトが必要である。現在、NEDO 提案公募型プロジェクトとして、HEV 用インバータ開発を目的に、SiC デバイスの開発が進められている。この技術の確立と実用化が強く期待される。

4.3 IT 電源系応用

4.3.1 IT 網の構成

近年の情報通信の発展は目覚しく、インターネットの普及率は2002年末現在世帯普及率で81.4%、従業員300人以上の企業では98.4%に達している(図.4-4)[1]。このような状況に対応して様々な情報通信サービスを提供するため、多数のIT(Information Technology)施設が設置されている。IT施設の構成を模式的に書くと図.4-5のとおりとなる。情報の処理や記憶を実行する多数のサーバー、大容量の情報を記憶するストレージ装置、これらを監視・制御する負荷分散装置、IP(Internet Protocol)網に接続するためのルータ、ファイアウォールなどのIT機器が設置され、IP網に接続されている[2]。これらのIT機器で消費される電力は2001年で日本国内全発電量の約1.1%、12,000GWhと推定されており、さらに2010年には7倍以上に増加するという予想もされている[3]。

4.3.2 IT 電源系の構成

IT機器へ交流電力、または、直流電力を供給するIT電源系の基本的な構成を図.4-6に示す。IT電源系はUPSや直流無停電電源などの無停電電源とIT機器内で電圧変換を行なうためのIT機器内電源で構成される。交流供給の場合、UPSをとおして安定な交流電力が供給され、IT機器では整流器、DC-DCコンバータなどにより電圧変換を行い、CPU等の負荷を動作させる。直流供給は信頼性の向上や電力の変換効率の向上を目的に通信事業者から推奨されている[4]システムで、供給された直流電力はやはりDC-DCコンバータで電圧変換されて利用される。IT機器内電源のDC-DCコンバータは、CPUへの給電用などとしてさらに電圧調整用のコンバータが使用される場合が多いが、ここでは簡単化のため省略している。これらの電源系で使用される各電源の効率の現状は図.4-7、図.4-8のとおりとなる。図.4-7におけるUPSとしては、最近常時商用電力を供給する方式も使われ始めているが、ここでは供給電圧の品質が高い常時インバータ給電方式のUPSの効率を示している。これらの図から交流供給系では、UPSの入力から負荷に至るまでの電力変換効率は、約59%(UPS効率90%、IT機器内電源効率65%)である。一方、直流供給系では同じく直流無停電電源入力から負荷までの変換効率は、約66%(整流装置効率92%、IT機器内電源効率72%)である。効率からは直流供給が有利といえるが、直流入力のIT機器が少ないことなどから、まだ導入数は少ない。従って以下のシミュレーションは、交流供給の場合について行なう。

4.3.3 SiCによるIT電源系の高効率化の効果の試算

このIT電源系にSiCを適用し、低損失化したときの効果を試算する。図.4-9に図.4-6で示した交流供給によるIT電源系を簡略化して示す。IT機器内の負荷による消費電力を W_{IT} とし、IT機器内電源の電力変換効率を η_P 、UPSの電力変換効率を η_{UPS} とすると、UPSの入力電力 W_{UPS_IN} は次式で表される。

$$W_{UPS_IN} = \frac{W_{IT}}{\eta_P \eta_{UPS}} \quad \dots (1)$$

従って、IT電源系の損失 W_{POWER} は、次式となる。

$$W_{POWER} = \left(\frac{1}{\eta_P \eta_{UPS}} - 1 \right) W_{IT} \quad \dots (2)$$

$$= \left(\frac{1}{\eta_{UPS}} - \eta_P \right) W_{IT_IN} \quad \dots (3)$$

ただし、 W_{IT_IN} は IT 機器の入力電力である。

ここで SiC を適用することにより、表 1 のように UPS と IT 機器内電源の効率が向上すると仮定すると、(2)式より IT 電源系の損失は約 38% に減少することになる。(1)項で述べたように、IT 機器で消費される電力は年間 12,000GWh と推定されているので、年間 2856GWh の省エネルギー効果が期待できる。

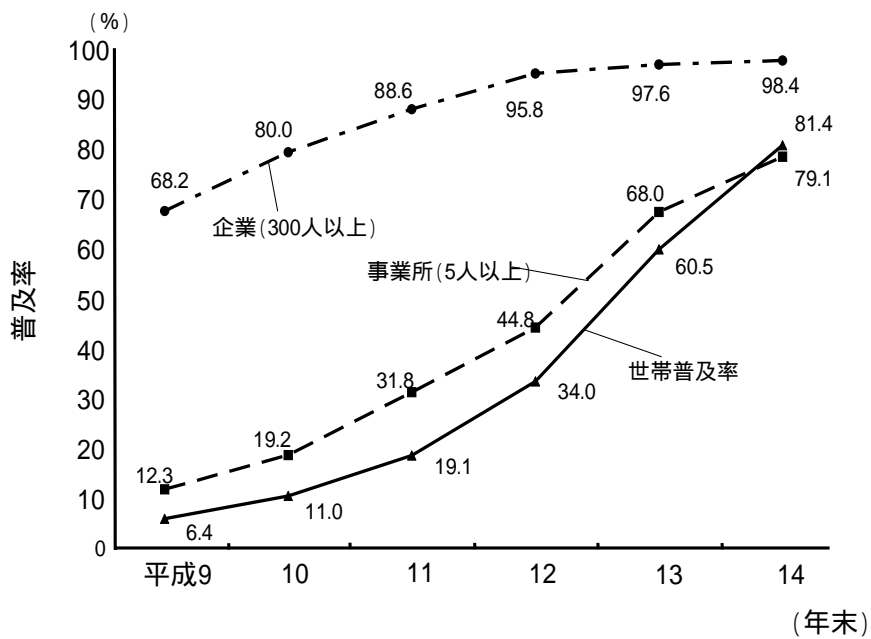
更に、機器設置室内の消費電力低減は空調機負荷の低減となるので、空調エネルギーの低減効果も期待できる。

4.3.4 SiC への期待

以上、試算したように IT 電源系に SiC を導入した場合、非常に大きな省エネルギー効果が期待でき、SiC 素子の早期の実用化が期待される。今後、IT 機器内電源で供給される CPU の動作電圧は一層低減される動向にあり、1.0V 以下の電圧になる。その場合、DC-DC コンバータではスイッチング素子だけでなく整流素子の低損失化も重要となる。また、簡易な駆動方法や複数モジュールの実装など使いやすさの検討も必要になるとと思われる。

【参考文献】

- [1] 総務省 編, “情報通信白書平成 15 年版”
- [2] 村上直樹, “IT 時代に対応した電源システムの提案”, NTT 技術ジャーナル, pp.70-73, 2001.11
- [3] 省エネルギー技術戦略検討会: “省エネルギー技術戦略”, 省エネルギーセンタ報告書, 2002.6.12
- [4] J. Akerlund et al., “-48V DC computer equipment topology - an emerging technology,” Proceedings of IEEE Inter National Telecommunications Energy Conference, San Francisco, USA, pp.15-21, 1998



出典：平成15年版情報通信白書

図.4-4 インターネット普及率の動向

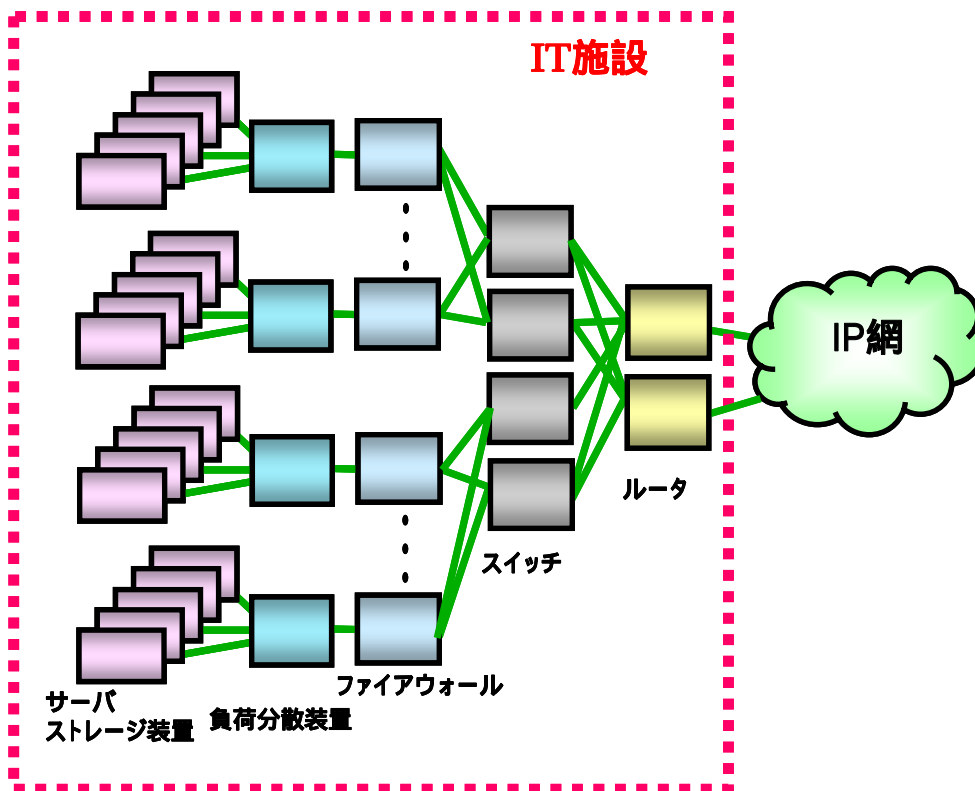
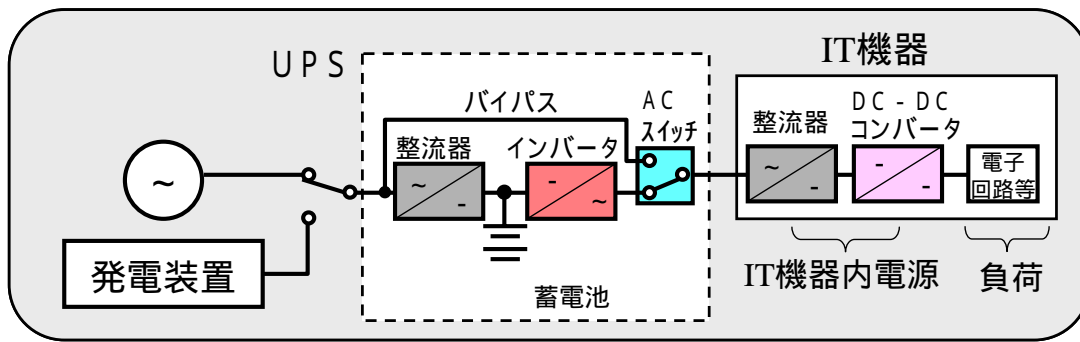
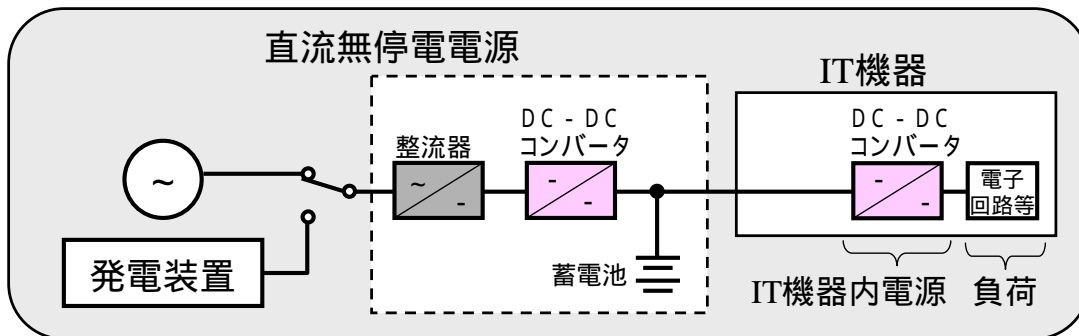


図.4-5 IT施設のネットワーク構成例



交流電源システム



直流電源システム

図.4-6 IT 電源系の構成

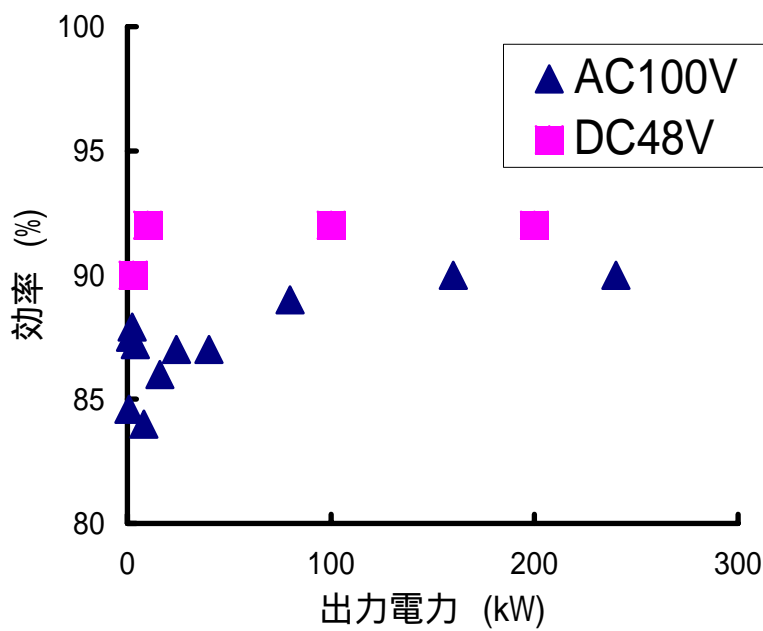


図.4-7 UPS と整流装置の効率例

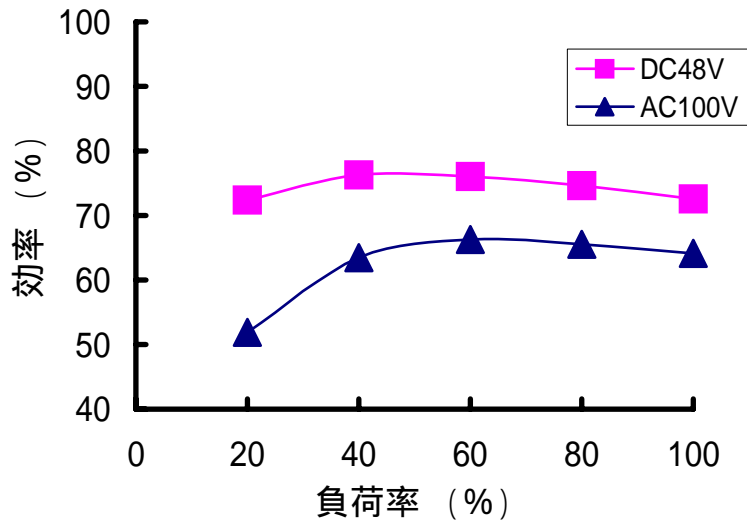


図.4-8 IT 機器内電源の効率例

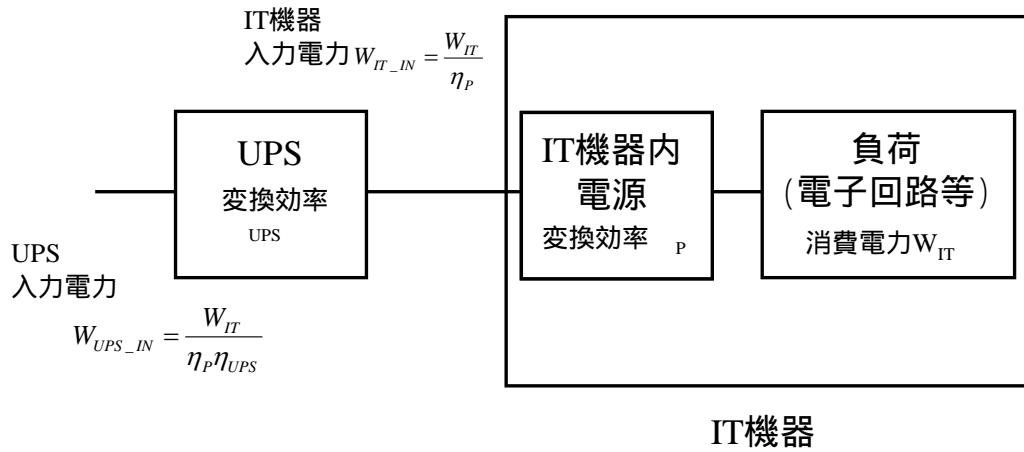


図.4-9 IT 電源系の模式図

表.4-1 SiC による IT 電源系の高効率化の推定

	現 状	SiC適用時の推定*
UPS効率 UPS	90%	95%
IT機器内電源の効率 P	65%	83%

* :電源の損失が半減すると仮定

4.4 鉄道システム応用

鉄道の分野では、パワーエレクトロニクスを電気鉄道並びに駅等への一般の電力供給設備に採用している。そのうち、鉄道特有の環境下での使用は、電気鉄道車両、及び電気鉄道電力供給設備である。ここでは、パワーエレクトロニクスの導入現状と今後の展望について述べる。

4.4.1 電気鉄道車両

電気鉄道には、交流電化と直流電化があり、電化方法に応じた電気車が導入されている。電気車のうち、その大部分を占める電車について示す。

a. 直流電車

直流鉄道車両の駆動用電動機として、長年直流電動機が使われてきた。しかし、高速・大容量のスイッチング素子が実用化により、電圧、周波数を自由に制御できる VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータで制御が可能となり、小型・軽量化が可能でメンテナンスの面でも有利な誘導電動機を採用を標準としている。この VVVF インバータ装置のスイッチング素子としてパワーエレクトロニクスが使用されている。

E231 系 (JR 東日本の保有) 車両のインバータ装置を例として示す。

主電源装置に使用されるインバータ装置は、M 車 (電動車) に搭載され、M 車の主電動機 4 台を制御している。この主回路素子に高耐圧・大容量 IGBT 素子を用いており、主回路素子を従来の 3 レベル方式から 2 レベル方式とすることにより、シンプルかつ小型・軽量を図っている。

主スイッチング素子は、

インバータ : 3,300V 1,200A IGBT 6 素子

過電圧制御トランジスタ : 3,300V 400A IGBT 1 素子

としている。

また、車両内の冷暖房装置、照明機器、各種送風機などに安定した電力を供給する補助電源装置にも IGBT を使用している。

インバータ : 3,300V 400A 6 素子 (IGBT 2 素子内蔵した IPM)

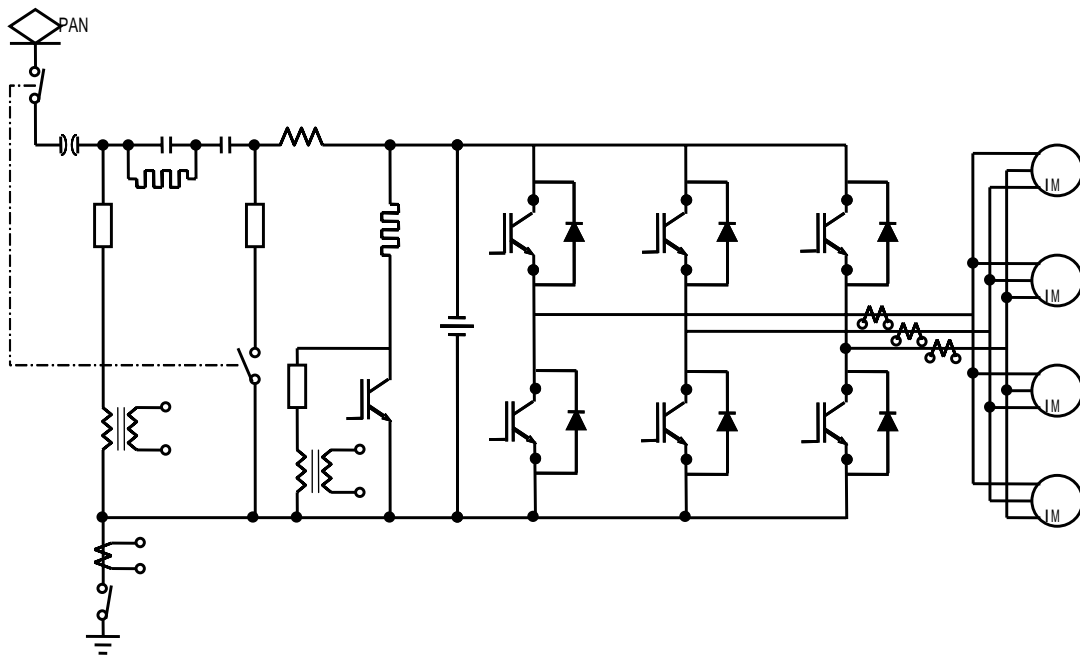


図.4-10 VVVF インバータ制御回路

b. 交流電車

交流電車も、最近は誘導電動機が使える VVVF 制御が主流となっている。M車に搭載されている主電源装置では、主変圧器の 2 次巻線から得られる単相交流を、一度コンバータで直流に変換する。さらに、この直流をインバータで 3 相交流に再度変換し、VVVF 制御で主電動機を制御している。この主回路素子は、IGBT 素子を使用した 3 レベル方式であるが、将来的には、2 レベル方式が採用されると思われる。また、そのコンバータ部はブリッジ回路で、素子数としては 4 個となる。

c. 需要展望

今後、車両を老朽に伴い新製する場合は、現在の主流を占めている VVVF 制御車が導入されると考えられる。JR 東日本で保有している車両を例とすると、表.4-2 のように大別される。その更新時期が、概ね新幹線車両で 20 年、在来線車両で 30 年であることから、車両更新に伴い素子需要があると想定できる。更新車両数は、車両製造時期、車種が多岐に渡るため年によって異なるが、更新年数から単純に平均すると、年間 400 両程度であり、このうち M 車に搭載される素子が今後の需要となる。

車両全体のコストと比較して SiC デバイスの占める割合は著しく小さく、技術が確立した後は、上記は SiC デバイスの潜在的市場と考えることができる。

表.4-2 JR東日本が保有している電車

車両タイプ	編成構成	編成数 / 車両数	年平均新製編成数	記 事
新幹線電車	10 両(8M2T)	100 / 1000	5	交流
交直流電車	10 両(4M6T)	40 / 400	1 . 5	交流車両含む
交直流電車	2 両(1M1T)	400 / 800	1 5	交流車両含む
直流電車	10 両(4M6T)	950 / 9500	3 0	

M車：電動車 T車：制御車

因みに、全国的には、年間、約 1,500 両が生産されている。(社団法人 日本鉄道車両工業会ホームページより)

さらに、新幹線の延伸に伴う車両増産、車両の海外輸出による需要も期待できる。また、将来的には、ハイブリッド車のエンジンが燃料電池に置換されることによる需要も考えられる。

4.4.2 電気鉄道用電力設備

a. 直流電気鉄道

直流電気鉄道では、交流から直流に変換する装置として、回転変流器、水銀整流器、さらに半導体整流器へと発展してきている。さらに、電力の開閉、回生車対策、および電圧降下対策などに積極的な導入が図られるようになった。表.4-3 は、現在鉄道会社で保有している直流パワーエレクトロニクス装置の概数である。

表.4-3 直流電気鉄道におけるパワーエレクトロニクス導入状況

装 置 名	目 的	台 数	総容量
き電電圧補償装置	電圧降下対策	1 5	1 0 MW
サイリスタ整流器	定電圧対策	3 5	1 4 0 MW
GTO 遮断器	高速度遮断	1 9 0	4 2 0 MA
高速度真空遮断器			

この他に、シリコン整流器、1 7 1 3 台 4 4 5 4 MWがある。

b. 交流電気鉄道

交流電気鉄道では、き電回路の電圧降下対策用として、変圧器のタップをサイリスタスイッチで切り換えるき電電圧補償装置が実用化された。その後、パワーエレクトロニクスの技術進展に伴い、3相電源の電圧変動対策やき電回路の電圧降下対策として無効電力補償装置が開発、導入されている。表.4-4 は、交流パワーエレクトロニクス装置の概数である。

表.4-4 交流電気鉄道におけるパワーエレクトロニクス導入状況

装置名	目的	台数	総容量
単相SVC	3相不平衡補償・電圧変動対策 (他励式無効電力補償)	25	700MVA
変位相スコットSVC			
3相V結線SUC			
3相SVG	3相不平衡補償・電圧変動対策 (自励式電力変換)	10	260MVA
不平衡補償単相き電装置			
き電側電力融通装置			
き電電圧補償装置	電圧降下対策	35	70MVA
末端設置SVC			

SVC：Static Var Compensator

SUC：Static Unbalanced Power Compensator

SVG：Static Var Generator

c. 需要展望

電力設備は、20～30年程度で更新すると想定される。設置年にばらつきが大きいいため、年を平均した需要想定には無理があるが、少なくとも取替需要は発生する。

さらに、電気鉄道では、通勤輸送改善や、新幹線による高速輸送体系の整備、環境との調和のとれた輸送システムの構築、保全の省力化などの課題があり、パワーエレクトロニクス技術への期待は大きく、コンパクト化やコストの低減が望まれている。具体的には、電源への影響を少なくするために電力貯蔵技術による負荷電力の平準化や交流電気鉄道の3相平衡化、高密度負荷へ安定した電力を供給するため、遮断器の遮断容量の増大、交流き電方式の異相切替開閉器の静止化による信頼性の向上、列車運行情報に基づく電圧制御など、パワーエレクトロニクスの技術の進歩にともなう適用技術分野は拡大されると想定される。

参考文献

社団法人 日本鉄道電気技術協会編 「電気鉄道におけるパワーエレクトロニクス」

4.5 家電応用

家電における省エネ期待は、その裾野が広い故非常に大きい。SiC デバイスの導入は単なる Si デバイスに対する置き換えではなく、家電システムそのものの革新をもたらす省エネのトータルソリューションが考えられる。小型素子の大量生産技術が開発されれば、並列使用が可能で大電流化も展開できる。家電分野でのパワーデバイス仕様は 600V、数 A である。パワー素子で制御されている機器により、民生全消費電力の約 80%を消費しているという調査結果がある。モータを用いるエアコン、洗濯機、掃除機、冷蔵庫などはもとより、熱源として用いる炊飯器、電磁調理器（マグヒーター）などの IH 調理器やこたつ、ホットカーペット、などにもパワー素子は不可欠である。更に、TV、オーディオなどの AV 機器なども含めて極めて極めて応用機種が多い。

家電機器にインバータの導入が進む中、これに適したモータの開発、インバータの改良なども進み、一層の高効率化をもたらしつつある。例を挙げると下記の通りとなる。

(次世代パワー半導体デバイス実用化調査 平成 12 年度報告書)

- ・ SPMSM (Surface Permanent Magnet Synchronous Motors) から IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motors) へ (インバータエアコン)
- ・ アウターロータ方式 / インナーロータ方式ダイレクト駆動モータの導入(洗濯機)
- ・ 電源高調波低減(力率改善)インバータの開発 (単相 / 汎用インバータ)
- ・ 4 素子 3 相インバータ(単相電源 / 3 相同期電動機駆動用)

パワー素子の損失は消費電力の約 10%であるが、SiC 電力変換モジュールを用いることにより、家庭、オフィス等(民生)での消費電力の 4%の省エネが達成され、国内の年間電力として約 150 万 kl / 年(原油換算)の省エネ効果が得られることを予測するものもある。

家電製品の平均使用年数は 7 ~ 8 年であるので、2004 年から SiC パワーデバイスを搭載した省エネ家電製品を市場に投入しても、市場にある家電製品をすべて置き換えるのに最短でも 2010 ~ 2012 年までかかり、COP3 への貢献がぎりぎりの期限でしか発揮できない。一方、SiC パワーデバイスの商品化にはあと 3 年は必要と考えられる。早期開発加速が必要と考えられる

5. SiC 半導体材料 / デバイスの事業化・普及ロードマップ

本調査研究においては、目的を SiC 半導体材料 / デバイスの事業化・普及促進におき、これを可能にする技術課題に焦点を絞って作業を進めてきた。調査研究の前提となる、将来へ向けたロードマップについては、本文の中でたびたび引用してきた「次世代パワー半導体デバイス実用化調査」(エンジニアリング振興協会)を主に参照した。特に平成14年度報告書には、5年間の調査研究のまとめとしての「結論」が記述されている。そこに示されたものはあくまで調査当時のものであり、今後も継続的な見直しが必要であることは述べるまでもない。特に京都プロトコル(COP3)を意識すると、ここに描かれた年度展開では必要な時期までに十分な効果が期待できず、事業化・普及対策を一層加速する必要がある。しかし、ターゲットの選択などに際しては、参考とするに十分な意味があるのでここにその一部を要約して引用しておく。

5.1. 応用モチーフの抽出

まず委員会メンバに対して実施した、SiC デバイスに代表されるパワー半導体デバイスへの期待と実用化へのステップについてのアンケート調査結果が示されている。結果としてパワーエレクトロニクスのパラダイムシフトや Si 半導体デバイスの置き換えなど、革新的な変化が市場に起きることを期待する一方、実用化はニッチな市場からすすむものと見ていることが示された。

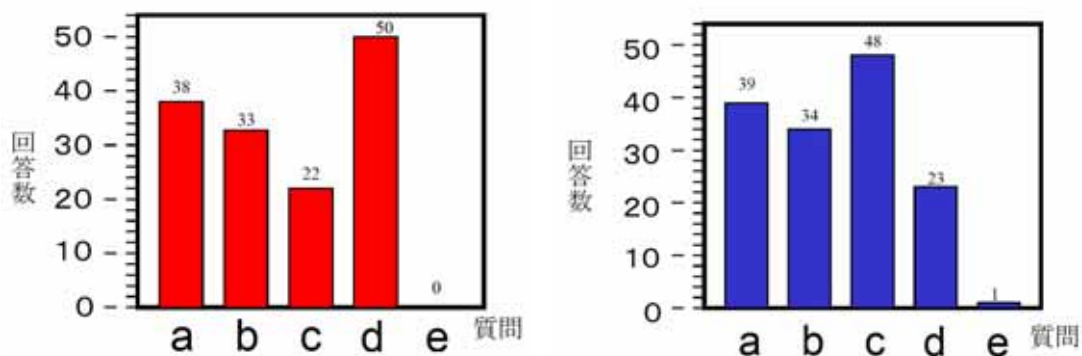


図.5-1(a) SiC デバイスへの期待

図.5-1(b) SiC デバイス実用化ステップ

a : Si デバイスとの置き換え

b : 新市場の形成(EV など)

c : SiC を必要とするニッチ市場

d : パワーエレクトロニクスのパラダイムシフト

e : その他

この結果をベースに、SiC デバイスが実用化しないと実現が難しい応用分野の抽出を行い、その結果が図示されている。(図.5-2)

何故 SiC	出力	大電力	中電力	小電力
低導通損失 高速スイッチング 高温動作.		ITER HVDC 電気鉄道	家電 EV/HEV	IT電源 システム
低導通損失 (高温動作)		パルス パワー	ビル内配電	家電(空調) HV リレイ
超高速動作. (高温動作)		大型国プロ 宇宙太陽光発電	工業用HF応用 (製造装置)	蛍光灯 高周波点灯 携帯電話基地局

ITER:International Thermonuclear Experimental Reactor

図.5-2 SiC を必要とする新しいニーズ

5.2. パワーエレクトロニクスロードマップ

過去 30 年の電力変換器の進歩を振り返り、効率と並行して進展の進む出力パワー密度に注目した。過去のトレンドを整理して図示（図.5-3）するとともに、2020 年頃までに電力変換器のパワー密度の大幅向上を必要とする新規のニーズの探索を実施した。（図.5-4）

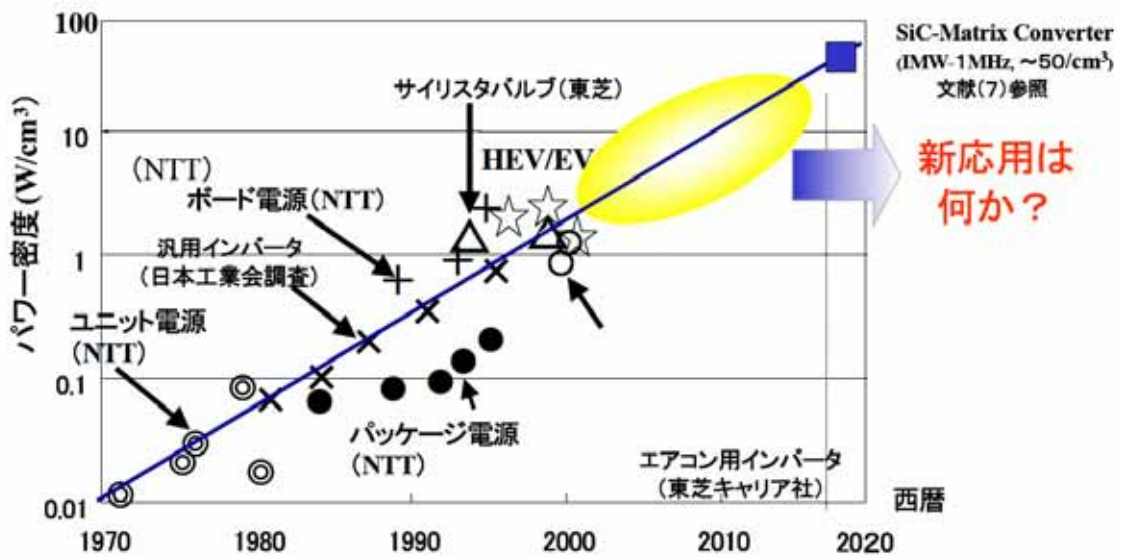


図.5-3 パワー密度向上の視点で見たパワーエレクトロニクスの進歩

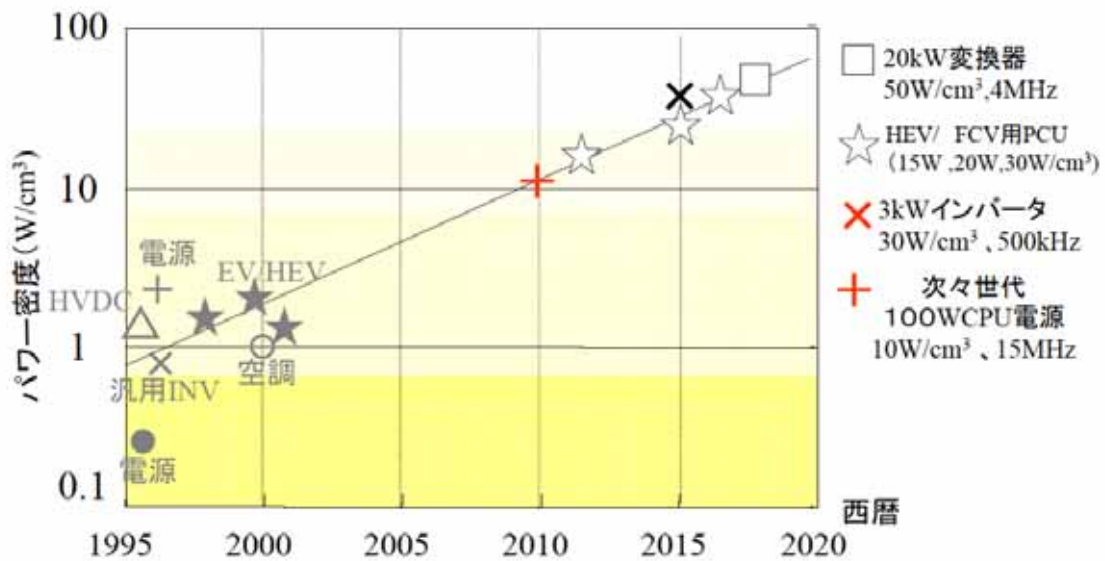


図.5-4 パワー密度ロードマップから見た 2010 年以降の新しいニーズ

結果として、次々世代 CPU 電源、EV/HEV/FCV、ユニット化インバータをチーフターゲットとして選択し、ロードマップを作成して次世代パワー半導体デバイスおよび周辺技術の課題を明確にした。

a. 次々世代 CPU 電源

2016 年における次々世代 CPU の仕様として電源電圧 0.4V、動作周波数 20GHz、消

費電力 290W (700A : 高性能) および 160W (400A : 汎用) を想定し、電源に要求される仕様を満たすために必要な要素技術課題を明確にした。

b. ユニット化インバータ

汎用インバータの普及による省エネ効果への期待から、汎用性の高い小型部品として標準化・量産化することによる低コスト化の実現を図って、必要な課題を抽出した。想定された仕様は、出力 3kW、駆動周波数 400kHz、エネルギー密度 30W/cm³であった。

c. EV/HEV/FCV

電気駆動自動車に適用されるインバータに対しては、特に高いエネルギー密度が要求される。2015 年頃に HEV の本格的普及や FCEV の実用化の開始を想定して、これに必要な 20W/cm³、100kW の PCU (Power control unit) に関する課題を明確にした。

5.3. まとめ

報告書の最後にまとめとして、チーフターゲットとして選択した応用モチーフの実現には、高速、超低損失で高温動作が可能な次世代パワーデバイスが不可欠であることが強調されている。その実現のための具体策として、低コストで高品質な大口径ウェーハ、超低損失デバイスの実用化に加えて、周辺材料、受動部品、回路技術、実装技術、これらを統合する統合設計法の必要性が指摘されている。

本章の冒頭にも述べたが、ここに描かれたロードマップは正しい方向性を捉えているものと考えられるが、喫緊の課題としてあげられている CO₂ 削減に寄与するには不足である。早期の導入促進を図って見直しを進め、それに従って直ちに実行に移す必要がある。

6. SiC 半導体材料 / デバイスの導入効果

本調査研究においては、SiC 半導体材料 / デバイス事業に関連した技術の開発動向とそれらが適用されるべき応用を調べることを中心に進めた。SiC デバイスがパワーエレクトロニクス用の有望なデバイスとして Si デバイスに取って変わって活躍の場が与えられる裏づけとして、SiC デバイスの導入効果を明確にしておくことが重要である。SiC デバイスの導入効果については「次世代パワー半導体デバイス実用化調査」(財)エンジニアリング振興協会)で詳細な検討が加えられている。本調査の締め括りとして、それらの調査報告書を参考として、その主要となるところを以下に整理した。

6.1 SiC 半導体の導入が考えられる半導体デバイスの検討及びその市場予測

信頼できる公表データ(日本電子機械工業会編:世界の電子機器と半導体市場の中長期展望 2000)に基づいて、半導体製品のなかで SiC への変換が可能と考えられる製品の検討と、予想される変換割合について表 6-1 にまとめた。ディスクリートに分類される各素子とその構成は「2001 年日本半導体年鑑」(株)プレスジャーナル社)に示された分類に従っている。SiC への変換割合については専門家の意見を踏まえて委員間での十分な議論のうえに算出した数値を記載した。表 6-1 から明らかなように、整流素子、

表 6-1 SiC の導入が考えられる半導体デバイスとその変換割合

半導体製品の種類		SiC への変換可能性	変換割合(専門家意見による)			
			'06	'11	'16	
バイポーラ		N	-	-	-	
MOS メモリ		N	-	-	-	
MOS マイクロコンポ		N	-	-	-	
MOS 論理回路		N	-	-	-	
アナログ		N	-	-	-	
ディスクリート	Si ダイオード	Y	0.001	0.1	0.5	
	整流素子	Y	0.05	0.8	0.9	
	トランジスタ	Si トランジスタ	Y	0.001	0.01	0.5
		電界効果型	Y	0.001	0.01	0.5
		IGBT	Y	0.01	0.3	0.75
	サーミスタ	N	-	-	-	
	バリスタ	N	-	-	-	
	サイリスタ	Y	0.001	0.01	0.1	
	その他	N	-	-	-	
オプトエレクトロニクス		N	-	-	-	

IGBT などのデバイスの変換率が高い。それらの素子はそれが適用されるであろう製品の性能向上への要求が著しく高く、特に、ハイパワーの環境下で使用される高性能デバイスの出現が必須であるという背景から期待される結果である。

SiC デバイスが適用されるべき電子機器の市場はさまざまなものが考えられる。前章ではデバイスの出力パワー密度に着目したニーズについて議論した。その結果、導入が特に有効である分野として、自動車、コンピュータ（CPU 電源）、産業機器（インバータ）がターゲットになることを指摘した。そこでそれらについての市場予測を表 6-2 にまとめた。

自動車に関しては、ハイブリッド車（HEV）、電池車（EV）、燃料電池車（FCEV）向けの用途が考えられる。EV/FCEV については 2010 年頃から本格化して行くものと予想され、SiC デバイスもそのころから順次置き換わるものと見込まれる。HEV については環境問題の視点から既に実用化されつつあり、今後その市場も着実に増加するものと見込める。2010 年の製品市場規模は約 40 万台/年、2020 年では 90～270 万台と予測され、製品あたり 7 個のデバイスを利用すると仮定して、表 6-2 に挙げたデバイス市場が見込まれる。

電子情報技術産業協会の調査によると、2001 年における我が国のコンピュータ市場はサーバが 40 万台、デスクトップ PC が 660 万台、ノート型 PC が 670 万台とされる。そして今後も市場は堅調に拡大すると見込まれており、2010 年では総量 2046 万台に達するとされている。その後は、少子化の影響を受けて大幅な伸びは期待できないものの、2020 年頃には 2150 万台の市場が見込める。コンピュータに対しては年々高性能化が求められ、その要求に追随するかのごとく CPU もますます高性能化が進み、その処理能力を支えるための電源に対する技術の位置づけがますます重要になる。その過程で SiC デバイスの導入は必須と考えられる。

現在の電力使用量の 60% が電動機、ポンプ、ファンなどの産業機器の駆動に消費されていると言われる。そこで、省エネ的な視点から、産業機器の高効率化は様々に実施されており、その主なる手段の一つがインバータ制御の導入である。「機械統計年報」（経済産業省経済産業政策局調査統計部編、H13年）によると、1999年での産業機器におけるインバータ化率は 10% 弱であるとされている。但し、今後、インバータ化率は比較的高いレベルで増加するものと考えられ、SiC デバイスが全面的に適用されると考えられる 2020 年時点において、市場は 750 万台規模に達する（市場規模を現在の市場の 3 倍、インバータ化率にして 30% を見込む）。したがって、SiC デバイスが製品当たり平均 6 個使用されると想定して、表 6-2 に挙げたデバイス市場が見込まれる。

表 6-2 主要分野における SiC デバイスの市場規模予測

分野	2010	2020	備考
自動車	300 万個	600 ~ 2,000 万個	「燃料電池自動車に関する調査報告」 (財)日本電動車両協会、H14-3
コンピュータ (CPU 電源)	100 万個	10,000 万個	「世界の電子機器と半導体市場の中長期展望」 (社)電子情報技術産業協会、H14-6
産業機器 (インバータ)	-	4,300 万個	「機械統計年報」 経済産業省経済産業政策局調査統計部、H13
合計		14,900 ~ 16,300 万個	-

6.2 導入の効果

現在実用化されている Si デバイスを SiC デバイスに置き換えることにより、その損失を低減できる。上記の主要分野に SiC デバイスを適用した際の効果を評価した。なお、換算係数として次の値を使用した。

- ・ 電力 1kWh 当たりの CO₂ 発生量 : 0.367kg・CO₂
- ・ 電力 1kWh 当たりの発熱量 : 9 MJ
- ・ 発熱量 1 MJ を発生する石油量 : 0.0239 × 10⁻³kl
- ・ 発熱量 1 MJ を発生する原油量 : 0.0258 × 10⁻³kl

6.2.1 自動車関連

評価に当たっては平均出力 50kW、年間走行時間 500 時間と仮定。また、SiC デバイスを用いることにより 5% の節約効果が生じるとした。さらに 2020 年の SiC デバイス適用車のストック量を 500 万台とした。省エネ量としては、6.25 × 10⁹kWh/年 (50 kW × 500 h/Y/台 × 0.05 × 5,000,000 台)、CO₂ 削減量 ; 2.29 × 10⁹kg・CO₂、石油換算削減量 ; 1.34 × 10⁶kl、原油換算量 ; 1.45 × 10⁶kl となる。

6.2.2 コンピュータ関連 (CPU 電源)

スイッチング周波数が 10MHz の場合、Si デバイスの損失は 16% 程度であり、SiC デバイスのそれは 10% 程度であり、その差の 6% 程度の効率向上が見込める。スイッチング周波数が 30MHz の場合ではその差はさらに広がり、14% 程度の効率向上が見込める。そこで、2020 年では平均 14% 程度の効率向上が達成できると仮定した。2020 年のコンピュータの予想生産量は 2,150 万台なので、ライフサイクルが 3 年とすればストック量は概略 6,500 万台と見積もることができる。消費電力を 150W、年間使用時間を 2,000 時間として、省エネ量を算出すると以下ようになる。省エネ量 : 2.73 × 10⁹kWh / 年 (0.15kW × 2,000h / 年 / 台 × 0.14 × 6.5 × 10⁷ 台)、CO₂ 削減量 : 10.0 × 10⁸kg-CO₂ / 年、石油換算削減量 : 5.8 × 10⁵kl、原油換算削減量 : 6.3 × 10⁵kl。

6.2.3 産業機器関連（インバータ）

代表的な汎用インバータ3.7kWの全負荷時の損失がSiCデバイス化により、約150W低減される（約4%の効率向上）。インバータの予想生産量は2020年で750万台であるとして、その時点におけるストック量は4,100万台程度と見込める（SiCデバイスの導入は2010年から始まり2020年でほぼ飽和すると考え、等差級数的に増加するとして）。JEMAで検討している典型的な例にもとづき、全負荷時の61%の電力で年間2000h作動、20%の電力で年間2,000h作動するとし、さらに、損失は電力に比例する考えると、1台当りの年間損失低減量は243kWh/年である（ $0.15\text{kW} \times 0.61 \times 2,000\text{h} + 0.15\text{kW} \times 0.2 \times 2,000\text{h}$ ）。したがって、ストック量4,100万台の省エネ量は $1 \times 10^{10}\text{kWh/年}$ 、CO₂削減量： $3.7 \times 10^9\text{kg-CO}_2/\text{年}$ 、石油換算削減量： $2.15 \times 10^6\text{kl}$ 、原油換算削減量： $2.31 \times 10^6\text{kl}$ となる。

6.2.4 導入まとめ

上記の省エネ効果を表6-3にまとめた。主要分野の合計寄与率は、総合エネルギー調査会の2020年における省エネ目標値5600万kl（石油換算）の7.3%に相当する。

表 6-3 主要分野における省エネ効果

適用分野	2020年の省エネ効果	
	石油削減量（万kl）	省エネ目標への寄与（%）
自動車	134	2.4
コンピュータ（CPU電源）	58	1.1
産業機器（インバータ）	215	3.8
計	407	7.3

7. 結論

本年度の調査活動により、自動車(HEV/EV)、鉄道、電力、IT 電源応用などの分野における SiC デバイスに対するニーズを再確認し、COP3 において規定された CO2 削減の実を挙げようとする立場からも、SiC デバイスの広範な実用化の重要性が確認された。現時点でもこれまでに得られた成果を元に、更なる開発努力が継続されている。しかし、これらの SiC デバイス技術の導入によってもこのまま実用化の拡大を期待することは難しく、解決すべき課題が存在するため事業化・普及促進には何らかの手だてが必要であることを明確にした。

それらを順に挙げると、まず SiC デバイスを製作するために必要な基板に関するもので、デバイス製造の障害となるマイクロパイブ(MP)や転位の密度が十分に低い高品質の基板を、適切なコストで、安定して供給するシステムの構築である。それも単結晶ウェハではなく、デバイスを構成するに必要なエピタキシャル成長膜を貼ったものとして供給することが求められている。

次いで、高スループット製造プロセス技術 / 製造装置の開発が挙げられる。これまでに開発された技術を活用してデバイスを製造するに際して、高いスループットを実現することの必要性が強調されている。SiC は Si と比較してプロセス温度が非常に高くなる(~ 2000) ため、単純に加工品の昇温、冷却に必要な時間を考慮してもスループットは低くなる傾向にある。それ以上に SiC の製造プロセスは複雑化する傾向にあり、製品のコスト低減には製造時間の短縮が欠かせないことから、高スループット化の必要性は自明である。

3 番目に挙げられたのは、多様な使用者側の要求に対応可能なデバイス製造システムの整備である。想定される各種のニーズに応じて、試作品を供給できる体制を確保することは広範な普及を期待するためには必須の過程といえる。

最後はパワエレコンソーシアムとも呼称すべきもので、ユーザと製造者との接点に立つて回路・システム設計から最終的な製品化までを担う。ユーザとの情報交換の窓口となり、得られた情報を前記 3 者にフィードバックしながら、協調して最終製品の生産に当たることが導入効果を最大限に発揮する観点から重要なポイントである。

上記の課題の解決策を探るべく、関係者を網羅して調査と討議を進めた結果、下記の結論を得た。時間的制約から、未だ大枠の議論にとどまっているが、至急内容を詰めて実行に移すことが肝要である。

◆ SiC コンソーシアム構想

下記に示す 4 つのコンソーシアムを形成し、有機的な連係を図ってユーザからの要求に応える一方、技術・ビジネス情報の発信源とするネットワークの形成を図る。図.7-1 (図.3-6 再掲)にそのイメージを示す。特に製品評価・標準化に関わる技術情報の交換シ

システムの構築は極めて重要な課題である。基板から、半製品、デバイス、システムに至るまでの各段階における評価ならびに標準化は、効率的な開発には欠くことのできない早急に推進すべき課題である。しかしこれは当然ながら個々の企業体で単独になしうるものではなく、材料段階から最終使用者まですべての関係者の連携による推進が何より重要である。

また、材料から最終製品までの流れの中で確立すべき「重要技術」を的確に見極め、効率的な資源の投入を図ることは、国際的な競争力獲得のために重要である。この観点からも関係者のネットワーク構築の重要性は明らかである。

従来ならば徐々に形成されていったネットワークであろうが、COP3を鑑み、早期の成果の拡大が期待される SiC パワーエレクトロニクス技術については、明確な意識と戦略をもって策を実行に移すことが求められる。

- エピ付き基板コンソーシアム
 - ◇ 基板メーカ、およびエピファシリティーを保有する 2 , 3 の機関で構成
 - ◇ 補助金を導入し、既存エピファシリティーの活用によりエピ付き基板生産量の確保・増加を通じて基板品質の向上と低コスト化を図る
 - ◇ 同時に先進エピ技術（オフ角ゼロ、高速成長など）の開発を進める。
- 高スループットデバイス製造プロセスコンソーシアム
 - ◇ SiC デバイス加工の最初の段階であるイオン打ち込み、およびその後の高温アニール処理に関わる機関で構成する。
 - ◇ SiC 基板のイオン打ち込み過程では広い範囲でエネルギーの調整を必要とするため、装置の集中設置が適当だが、高スループット化に課題がある。
 - ◇ 高エネルギーイオン打ち込み装置と高温アニール装置を組み合わせ、高スループット化を実現する。
 - ◇ 処理後の製品を中間品として各地のデバイスメーカに供給する。
- デバイス製造コンソーシアム
 - ◇ 多様なニーズに応えて多種のデバイスを広範なユーザに供給する。
- PE コンソーシアム
 - ◇ 回路・システム設計を担当する。（HEV,UPS,電力機器、IT 電源機器などのメーカ）
 - ◇ デバイスメーカからのコマースサンプル(CS)を受け、製品化する。
 - ◇ 最初の 3 者との間に技術・ビジネス情報を交換・共有する。

以上の通り、4 種のコンソーシアム構想とこれらとユーザによるネットワーク構築の重要性について述べたが、現時点における SiC ビジネスの状況は大きな組織を立ち上げるに十分な基盤を持たない。使える基板の供給に見通しの開けないこともさることながら、将来の可能性は広く示されているものの、具体的に参入すべきターゲット・市場がまだ絞りきれていないためである。技術的基盤の確立と並んで、市場への参入プランの立案が緊

急の課題として解決を迫られている。

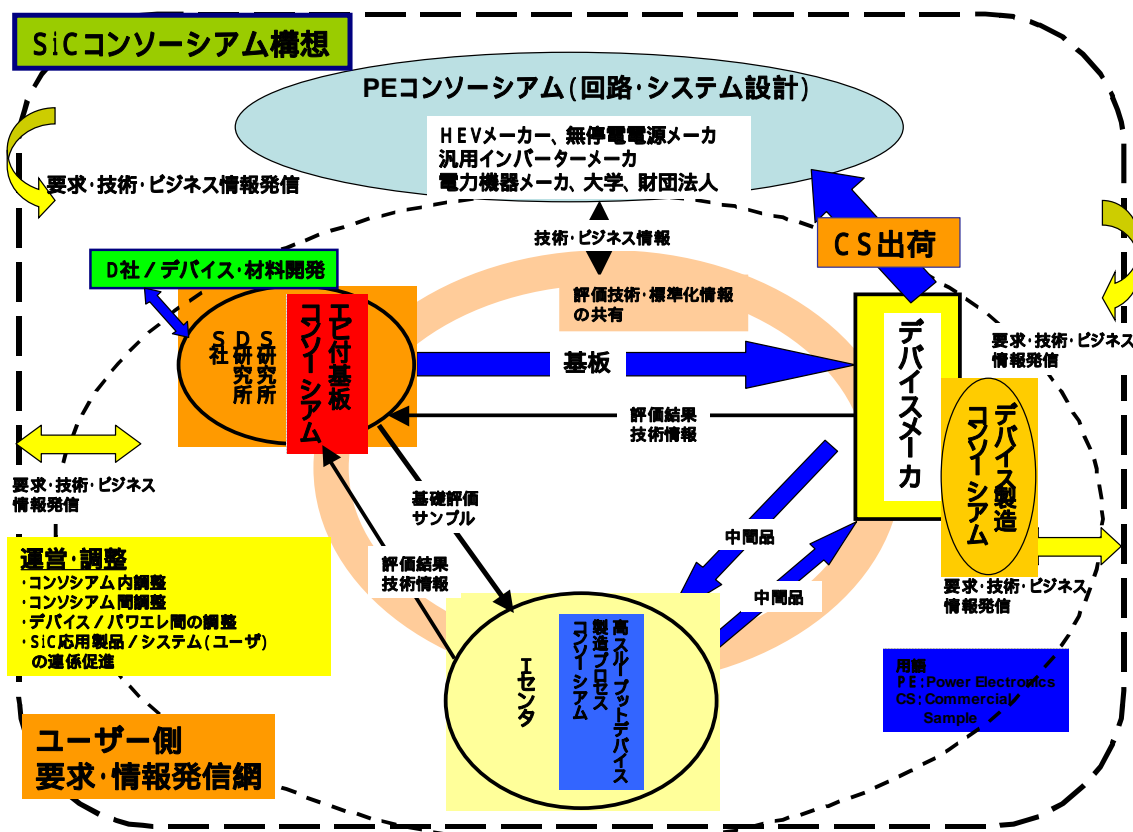


図.7-1 SiC コンソーシアム構想

あとがき

本調査研究においては、短期間ながらも集中した討議により SiC デバイスの事業化・普及促進への一応の道筋を示すことができた。しかしながら、裏づけとなる資料の収集については不十分な点のあることを認めざるを得ない。今後も継続的な調査活動により、更なるデータの蓄積と情勢の分析、方向性の断えざる見直しを図っていくことが重要と考える。

最後にご協力いただいた関係者に深い謝意を表したい。

戦略委員会 幹事

次世代パワーデバイス研究開発戦略委員会（敬称略）

- 委員長 正田英介 東京理科大教授
アドバイザー 松波弘之 京都大学名誉教授
委員 赤木泰文 東京工業大学教授
荒井和雄 産業技術総合研究所パワーエレクトロニクス研究センター
渋谷俊昭 イノベーション戦略研究所
瀬間 徹 電力中央研究所CS推進本部
星川政雄 イオン工学センター
幹事 樋口 登 産業技術総合研究所電力エネルギー研究部門
オブザーバ 神本正行 産業技術総合研究所
高橋 毅 電力中央研究所CS推進本部
三上己紀 電力中央研究所Cページ番号S推進本部
石井 格 産業技術総合研究所電力エネルギー研究部門
小田宏行 経済産業省省エネルギー対策課
上鑑英樹 経済産業省省エネルギー対策課
大坪勝治 NEDO 省エネルギー技術開発部
野尻雅人 NEDO 省エネルギー技術開発部

SiC デバイス技術調査委員会

- 委員長 赤木泰文 東京工業大学教授
委員 渋谷俊昭 イノベーション戦略研究所、
石井 格 産業技術総合研究所
林 敏之 電力中央研究所
菅原良孝 関西電力株式会社
只野 博 株式会社豊田中央研究所
野中賢一 株式会社本田技術研究所
尋田伸幸 JR東日本研究開発センター
渡辺篤雄 (株)日立製作所 日立研究所
田中裕章 株式会社デンソー 基礎研究所
四戸 孝 (株)東芝 研究開発センター
尾関龍夫、三菱電機(株) 先端技術総合研究所
林 秀樹 住友電気工業(株) デバイス技術センター
太田 稔 株式会社エコトロン
村上路一 株式会社シクスオン
荻野隆夫 株式会社ブリヂストン

鬼頭孝之 ローム株式会社
柴垣真果 アネルバ株式会社
服部 亮 株式会社イオン工学センター
山下登志彦 新日本無線株式会社
柴田一喜 富士電機アドバンステクノロジー株式会社
幹事 樋口 登 産業技術総合研究所電力エネルギー研究部門
アドバイザー 梅沢茂之 経済産業省・情報通信機器課
小田宏行 経済産業省 省エネルギー対策課
大坪勝治 新エネルギー産業技術総合開発機構 省エネルギー技術開発部

ワーキンググループ参加者

新井 学 新日本無線株式会社
今泉昌之 三菱電機株式会社
遠藤茂樹 株式会社ブリジストン
小野瀬秀勝 株式会社日立製作所
恩田正一 株式会社デンソー
鹿田真一 住友電工株式会社
高崎昌洋 電力中央研究所
高橋徹夫 産業技術総合研究所
高見哲也 三菱電機株式会社
土田秀一 電力中央研究所
日比政昭 新日本製鐵株式会社
古田 啓 アルバック株式会社
室山誠一 株式会社 NTT ファシリティズ

報告書執筆協力者

奥村 元 産業技術総合研究所
大串秀世 産業技術総合研究所

事務局

(財)新機能素子研究開発協会

池田徳三 専務理事
池田 明 審議役
海保勝之 研究統括部長
渡井久男 研究開発部第1部長
大橋健也 研究開発部第1課長

付録：SiC 関連論文リスト

- ・ IEEE Member Digital Library より SiC 関連論文をリストアップした。
- ・ 検索には下記の key word を用い、2002-2004 の範囲を対象とした。

分類コード一覧表

大分類 小分類 レビューの記号
例： 5 - TR - R

大分類	小分類	
1 Material	G	General
	B	Bulk
	S	Substrate
	W	Wafer
	F	Film
2 Power Electronics		
3 (欠番)		
4 Process	G	General
	E	Epitaxy
	C	Crystal growth
	F	Film
5 Device	B	General
	D	Diode
	TR	Transistor
	JF	Junction FET
	MO	MOSFET
	ME	MESFET
	TH	Thyristor
	G	GTO
	IG	IGBT
	PM	Power Module
	HE	HEMT
	M	その他デバイス

	A	周辺技術
6 Converter	B	General
	R	Rectifier
	D	d.c./d.c. converter
	I	inverter
	C	a.c./a.c. converter
	A	amplifier
	M	その他
7 Application	D	motor drive
	A	automobile
	P	power systems
	S	sensor
	M	medical
8		その他

SiC関連論文リスト

財団法人新機能素子研究開発協会

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
1 1	A 0.5W, 850nm Al/sub x/Ga/sub 1-x/As VECSEL with intra-cavity silicon carbide heat spreader		
	Hastie, J.E.; Jeon, C.W.; Burns, D.; Hopkins, J.-M.; Calvez, S.; Abramb, R.; Dawson, M.D.;		
	Lasers and Electro-Optics Society, 2002. LEOS 2002. The 15th Annual Meeting of the IEEE		
	Volume: 1, 10-14 Nov. 2002, Pages:329 - 330 vol.1 IEEE CNF		
	Material		
2 1	Antisites as Possible origin of Irradiation Induced Photoluminescence Centers in SiC: A Theoretical study on clusters of antisites and carbon interstitials in 4H-SiC		
	A. Gali, P. Deak, E. Rauls, P. Ordejon, F. H.C. Carlsson, I. Ivanov, N. T. Son, E. Janzen and W. J. Choyke		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
3 1	Atomic computer simulations of defect migration in SiC		
	F. Gao, M. Posselt, W. J. Weber and V. Belko		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
4 1	Defects in high-purity semi-insulating SiC		
	N. T. Son, B. Magnusson, Z. Zolnai, A. Ellison and E. Janzen		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		

5 Development of ohmic contact materials for wide gap p-type 4H-SiC
1

Tsukimoto, S.; Nakatsuka, O.; Moriyama, M.; Murakami, M.;

Semiconductor Device Research Symposium, 2003 International

Dec. 10-12, 2003, Pages:334 - 335, IEEE CNF

Material

6 Effect of process variations and ambient temperature on electron mobility at the
1 SiO₂/4H-SiC interface

Chao-Yang Lu; Cooper, J.A., Jr.; Tsuji, T.; Gilyong Chung; Williams, J.R.; McDonald, K.; Feldman, L.C.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 50, Issue: 7, July 2003, Pages:1582 - 1588, IEEE JNL

Material

7 Evaluation of aluminum nitride based RF lossy dielectrics for use in high power
1 microwave devices

Kirshner, M.F

Vacuum Electronics Conference, 2002. IVEC 2002Third IEEE International

23-25 April 2002, Pages:36 - 37, IEEE CNF

Material

8 First Principles Derivation of Carrier Transport across Metal-SiC Barriers
1

C. B-Dimitriu, A. B. Horsfall, C. M. Johnson, K. V. Vassilevski, N. G. Wright, A. G. O'Neill

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

9 Formation of ceramic thin films using electrospray in cone-jet mode
1

Peng Miao; Balachandran, W.; Ping Xiao;

Industry Applications, IEEE Transactions

Volume: 38, Issue: 1, Jan.-Feb. 2002, Pages:50 - 56, IEEE JNL

Material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
10 1	Integration of Cu/SiOC in dual damascene interconnect for 0.1 μm technology using a new SiC material as dielectric barrier Fayolle, M.; Torres, J.; Passemard, G.; Fusalba, F.; Fanget, G.; Louis, D.; Arnaud, L.; Girault, V.; Cluzel, J.; Feldis, H.; Rivoire, M.; Louveau, O.; Mourier, T.; Broussous, L.; Interconnect Technology Conference, 2002. Proceedings of the IEEE 2002 International		
	2-5 June 2003, Pages:39 - 41, IEEE CNF Material		
11 1	Investigation on different passivation technologies for thin film sensors on ceramic substrates Schmid, U.; Krotz, G.;		
	Sensors, 2002. Proceedings of IEEE Volume: 1, 12-14 June 2002, Pages:617 - 622, vol.1, IEEE CNF Material		
12 1	Investigations of possible nitrogen participation in the Z_1/Z_2 defect in 4H-SiC <u>L. Storasta</u> , A. Henry, J. P. Bergman, E. Janzen		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France		
13 1	Isotope Effects on Hydrogen-Related Bound Exciton Spectra in SiC S. Bai, W. J. Choyke and <u>R. P. Devaty</u>		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France		
14 1	Laser direct write for wide-band gap semiconductor device fabrication: doping Salama, I.A.; Quick, N.R.; Kar, A.;		
	Compound Semiconductors, 2003. International Symposium 25-27 Aug. 2003, Pages:102 - 103, IEEE CNF Material		

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue	発行年月日	頁	キーワード
15 1	Microscopic Structure and Electrical Activity of 4H-SiC/SiO ₂ Interface Defects: an EPR study of oxidized porous SiC				
	H. J. von Bardeleben, J. L. Cantin, Y. Shishkin, R. P. Devaty, W. J. Choyke				
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)				
	October 5-10, Lyon, France				
16 1	Nanotechnologies and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials & new production processes and devices				
	EUROPA-Research: Industrial technologies				
	http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/08-03-04_pro_jesica				
17 1	Origin of the SiC/SiO ₂ interface states				
	P. Deak, J. Knaup, A. Gali, Z. Hajnal, Th. Frauenheim, P. Ordejon and W. Choyke				
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)				
	October 5-10, Lyon, France				
18 1	Packaging considerations for very high temperature microsystems				
	Savrun, E.;				
	Sensors, 2002. Proceedings of IEEE				
	Volume: 2, 12-14 June 2002, Pages:1139 - 1143, vol.2, IEEE CNF				
	Material				
19 1	Properties of the bound excitons associated to the 3838 Å line in 4H-SiC and the 4182 Å line in 6H-SiC				
	A. Henry, M. S. Janson and E. Janzen				
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)				
	October 5-10, Lyon, France				

20 Selective MOCVD growth of ZnO nanotips

1

Muthukumar, S.; Haifeng Sheng; Jian Zhong; Zheng Zhang; Emanetoglu, N.W.; Yicheng Lu;

Nanotechnology, IEEE Transactions

Volume: 2, Issue: 1, March 2003, Pages:50 - 54, IEEE JNL

Material

21 SiC Studied Via LEEN and Cathodoluminescence Spectroscopy

1

Leonard J. Brillson

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

22 Silicon carbide for RF MEMS

1

Melzak, J.M.;

Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International

Volume: 3, 8-13 June 2003, Pages:1629 - 1632, vol.3, IEEE CNF

Material

23 Solid State Transformations of Hexagonal Polytype SiC

1

S. Ha, H. J. Chung and M. Skowronski

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

24 Synthesis and investigation of nanocrystalline SiC properties in sensor applications

1

Agueev, O.A.; Moskovchenko, N.N.; Svetlichnaya, L.A.;

Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, 2002. The Fourth International Conference

14-16 Oct. 2002, Pages:59 - 62, IEEE CNF

Material

25 Thermomechanical analysis of gold-based SiC die-attach assembly
1

Meyyappan, K.; McCluskey, P.; LiangYu Chen;

Device and Materials Reliability, IEEE Transactions

Volume: 3, Issue: 4, Dec. 2003, Pages:152 - 158, IEEE JNL

Material

26 Transport critical current density in Fe-sheathed nano-SiC doped MgB/sub 2/ wires
1

Dou, S.X.; Horvat, J.; Soltanian, S.; Wang, X.L.; Qin, M.J.; Zhou, S.H.; Liu, H.K.; Munroe, P.G.;

Applied Superconductivity, IEEE Transactions

Volume: 13, Issue: 2, June 2003, Pages:3199 - 3202, IEEE JNL

Material

27 X-ray diffraction imaging of wide bandgap materials
1

Poust, B.; Feichtinger, P.; Wojtowicz, M.; Sandhu, R.; Heying, B.; Block, T.; Khan, A.; Goorsky, M.;

Compound Semiconductors, 2003. International Symposium

25-27 Aug. 2003, Pages:12 - 13, IEEE CNF

Material

28 3-Dimensional TEM stereo observation technology for characterization of pores in
[1] low-k film

Ogawa, S.; Shimanuki, J.; Shimada, M.; Nasuno, T.; Inoue, Y.; Mori, H.;

Interconnect Technology Conference, 2003. Proceedings of the IEEE 2003 International

2-4 June 2003, Pages:100 - 102, IEEE CNF

material

29 A GMR head for helical-scan recording with a 5000 hour head life
[1]

Hallamasek, K.; Boots, M.; Souchon, F.; Panabiere, M.; Viala, B.;

Magnetics Conference, 2003. INTERMAG 2003. IEEE International

28 March-3 April 2003, Pages:DQ - 01, IEEE CNF

material

30 Advanced high thermal conductivity ceramics for power microwave tubes
[1]

Xu, G.; Carmel, Y.; Lloyd, I.K.; Wilson, O.C., Jr.; Olorunyolemi, T.;

Vacuum Electronics Conference, 2002. IVEC 2002. Third IEEE International

23-25 April 2002, Pages:38 - 39, IEEE CNF

Material

31 Advanced materials for fusion energy
[1]

Zinkle, S.J.; Kohyama, A.;

Fusion Engineering, 2002. 19th Symposium

21-25 Jan. 2002, Pages:477 - 483, IEEE CNF

Material

32 AlN-based lossy ceramics for high power applications
[1]

Mikijelj, B.; Abe, D.K.;

Vacuum Electronics Conference, 2002. IVEC 2002. Third IEEE International

23-25 April 2002, Pages:32 - 33, IEEE CNF

Material

33 Application of nonlinear resistance and capacitance configuration in ameliorating the
[1] electrical field distribution

Ying Liu; Juanjuan Yang; Xiaolong Cao;

Properties and Applications of Dielectric Materials, 2003. Proceedings of the 7th International
Conference

Volume: 2 , 1-5 June 2003, Pages:745 - 748 vol.2, IEEE CNF

material

34 Application of probabilistic robustness technique to the fault detection system design
[1]

Ding, S.X.; Zhang, P.; Frank, P.M.;

Decision and Control, 2003. Proceedings. 42nd IEEE Conference

Volume: 1 , Dec. 9-12, 2003, Pages:972 - 977, IEEE CNF

material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
35 [1]	Effects of silicon carbide composition on dielectric barrier Voltage Ramp and TDDB reliability performance Tsui, T.Y.; Willecke, R.; McKerrow, A.J.;	Interconnect Technology Conference, 2003. Proceedings of the IEEE 2003 International 2-4 June 2003, Pages:45 - 47, IEEE CNF	material
36 [1]	Fabrication of C-SiC composite mirrors Kowbel, W.K.; Woida, R.; Withers, J.C.;	Aerospace Conference Proceedings, 2002 IEEE Volume: 3, 9-16 March 2002, Pages:3-1389 - 3-1394, vol.3, IEEE CNF	Material
37 [1]	Future of ceramics Ono, M.;	Micromechatronics and Human Science, 2002. MHS 2002. Proceedings of 2002 International Symposium 20-23 Oct. 2002, Pages:25, IEEE CNF	Material
38 [1]	GMR head for helical-scan recording with a 5000-h head life Hallamasek, K.; Boots, M.; Souchon, F.; Hida, R.; Panabiere, M.; Albertini, J.-B.; Viala, B.;	Magnetics, IEEE Transactions Volume: 39, Issue: 5, Sept. 2003, Pages:2387 - 2389, IEEE JNL	Material
39 [1]	High thermal conductivity aluminum nitride ceramics for high power microwave tubes Savrun, E.; Nguyen, V.; Abe, D.K.;	Vacuum Electronics Conference, 2002. IVEC 2002. Third IEEE International 23-25 April 2002, Pages:34 - 35, IEEE CNF	Material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
40 [1]	Investigations regarding the maskless pendeo-epitaxial growth of GaN films prior to coalescence Roskowski, A.M.; Preble, E.A.; Einfeldt, S.; Miraglia, P.M.; Davis, R.F.;	Quantum Electronics, IEEE Journal Volume: 38, Issue: 8, Aug. 2002, Pages:1006 - 1016, IEEE JNL	
41 [1]	MHD simulations of MTF implosions with tabular EOS and conductivities Faehl, R.J.; Atchison, W.L.; Lindemuth, I.R.;	Pulsed Power Conference, 2003. Digest of Technical Papers. PPC-2003. 14th IEEE International Volume: 1, June 15-18, 2003, Pages:685 - 688, IEEE CNF	material
42 [1]	Modelling and simulation of optoelectronic devices with ASPIN Vukadinovic, M.; Krc, J.; Brecl, K.; Smole, F.; Topic, M.;	EUROCON 2003. Computer as a Tool. The IEEE Region 8 Volume: 1, 22-24 Sept. 2003, Pages:474 - 477, vol.1, IEEE CNF	Material
43 [1]	Novel backend singulation techniques to enable commercialization of optical MEMS Aberson, J.; Cusin, P.; Wylde, J.; Hickey, R.; Fettig, H.;	MEMS, NANO and Smart Systems, 2003. Proceedings. International Conference 20-23 July 2003, Pages:131 - 131, IEEE CNF	material
44 [1]	Reliability improvement of 9 nm-node Cu/low-k interconnects Matsumoto, S.; Ishii, A.; Tomita, K.; Hashimoto, K.; Nishioka, Y.; Sekiguchi, M.; Iwasaki, A.; Isono, S.; Satake, T.; Okazaki, G.; Fujisawa, M.; Matsumoto, M.; Yamamoto, S.; Matsuura, M.;	Interconnect Technology Conference, 2003. Proceedings of the IEEE 2003 International 2-4 June 2003, Pages:262 - 264, IEEE CNF	material

45 The influence of the optical band gap of buffer layers at the p/i- and i/n-side on the
[1] performance of amorphous silicon germanium solar cells

Lundszien, D.; Yong Feng; Finger, F.;

Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE

19-24 May 2002, Pages:1218 - 1221, IEEE CNF

Material

46 Thermal management coatings via combustion chemical vapor deposition (CCVD)
[1]

Yong Dong Jiang; Moore, E.P.; Jones, M.B.; Deshpande, G.N.; Polley, T.A.; Hunt, A.T.;

Advanced Packaging Materials, 2002. Proceedings. 2002 8th International Symposium

3-6 March 2002, Pages:172 - 177, IEEE CNF

Material

47 Polymer-derived SiC/sub f//SiC/sub m/ composite fabrication and microwave joining
1-G for fusion energy applications

Bruce, R.L.; Guharay, S.K.; Mako, F.; Sherwood, W.; Lara-Curzio, E.;

Fusion Engineering, 2002. 19th Symposium

21-25 Jan. 2002, Pages:426 - 429, IEEE CNF

Material

48 Advanced materials and structures for high power wide bandgap devices
1-G-R

Shaddock, D.; Meyer, L.; Tucker, J.; Dasgupta, S.; Fillion, R.; Bronecke, P.; Yorinks, L.; Kraft, P.;

Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, 2003. Nineteenth Annual IEEE

11-13 March 2003, Pages:42 - 47, IEEE CNF

Material

49 Evaluation of the 2002-2007, Sic market and analysis of the major technology and
1-G-R industrial trends

Yole Developpement

www.yole.fr

50 SiC and GaN markets 2003-2008

1-G-R

Ollivier Nowak

WTC

Oberfohringerstr. 2, D-81679 Munchen, Germany

51 SiC material, devices & applications: evaluation of the 2002 market and discussion of
1-G-R major future trends

Philippe Roussel, Jean-Christophe Eloy

Yole Developpement

www.yole.fr

52 SiC materials-progress, status, and potential roadblocks

1-G-R

Powell, A.R.; Rowland, L.B.;

Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:942 - 955, IEEE JNL

Switching Device

53 Silicon carbide for MEMS and NEMS - an overview

1-G-R

Zorman, C.A.; Mehregany, M.;

Sensors, 2002. Proceedings of IEEE, Volume: 2, 12-14 June 2002

Volume: 2, 12-14 June 2002, Pages:1109 - 1114, vol.2, IEEE CNF

Material

54 Bulk 4-H SiC for high radiation environments

1-B

W. Cunningham, M. Cooke, J. Melone, M. Horn, V. Kazukauskas, P. Roy, F. Doherty, M. Glaser, J. Vaitkus, M. Rahman

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

55 Electrical transport properties of n-type 4H and 6H silicon carbide
1-B

S. Contreras and J. Pernot

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

56 Influence of polytypism on properties of intrinsic defects in SiC
1-B

M. Posselt

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

57 Structural Transformation of Dislocated Micropipes in Silicon Carbide
1-B

M. Yu. Gutkin, A. G. Sheinerman, T. S. Argunova, E. N. Mokhov, J. H. Je, Y. Hwu and W. -L. Tsai

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

58 AlGa_N/Ga_N HFET devices on SiC grown by ammonia-MBE with high f_{sub} T/ and
1-S f_{sub} MAX/

Bardwell, J.A.; Liu, Y.; Tang, H.; Webb, J.B.; Rolfe, S.J.; Lapointe, J.;

Electronics Letters

Volume: 39, Issue: 6, 20 March 2003, Pages:564 - 566, IEEE JNL

Material

59 Characterization of Non-Equilibrium Charge of MOS Capacitors on P-Type 4H SiC
1-S

Kuan Yew Cheong, Sima Dimitrijevic and Jisheng Han

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

60 COMPARISON OF AlGa_N/Ga_N HEMTs GROWN ON SAPPHIRE AND SILICON
1-S CARBIDE

Umesh K. Mishra, S. P. DenBaars, J. Speck, S. Keller, L. Shen, A. Chini, D. Buttari, T. Palacios, B. Moran and S. Heikman

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

61 Effect of temperature on field emission properties from nanoclusters of tungsten oxide
1-S on silicon carbide

Deng, S.Z.; Xu, H.T.; Zhen, X.G.; Jun Zhou; Jun Chen; Xu, N.S.;

Vacuum Microelectronics Conference, 2003. Technical Digest of the 16th International

7-11 July 2003, Pages:189 - 190, IEEE CNL

Material

62 Electrical Characterization of Semi-insulating 6H-SiC Substrates
1-S

Edward Sanchez, Jianwei Wan, Shaoping Wang

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

63 Electrical properties of pn diodes on 4H-SiC(000-1) C-face and (11-20) face
1-S

Yasunori Tanaka, Kazutoshi Kojima, Takaya Suzuki, Kenji Fukuda, Tsutomu Yatsuo and Kazuo Arai

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

64 Fabrication of mesa-type pn diodes without forward degradation on ultra-high-quality
1-S 6H-SiC substrate

Yasunori Tanaka, Toshiyuki Ohno, Naoki Oyanagi, Shin-ichi Nishizawa, Takaya Suzuki, Kenji Fukuda, Tsutomu Yatsuo and Kazuo Arai

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
65 1-S	Heteroepitaxial growth and Characterization of AlGaIn/GaN HEMTs on SiC substrates		
	F. Semond, Y. Cordier, P. Lorenzini, J. Massies		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
66 1-S	Investigation of <11-20> epitaxial layers grown on <11-20> 4H-SiC substrates		
	C. Blanc, C. Sartel, V. Souliere, J. Pernot, S. Juillaguet, Y. Monteil and J. Camassel		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
67 1-S	Large Diameter 4H-SiC Substrates for Commercial Power Applications		
	A. R. Powell, R. T. Leonard, M. F. Brady, St. G. Müller, V. F. Tsvetkov, H. McD. Hobgood, A. A. Burk, R. C. Glass and C. H. Carter, Jr.		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
68 1-S	Multifunction integration of junction-MOSFETs and nonvolatile FETs on a single 4H-SiC substrate for 300/spl deg/C operation		
	Sang-Mo Koo; Zetterling, C.-M.; Ostling, M.; Khartsev, S.; Grishin, A.;		
	Electron Devices Meeting, 2003. IEDM '03 Technical Digest. IEEE International		
	8-10 Dec. 2003, Pages:23.4.1 - 23.4.4, IEEE CNF		
	material		
69 1-S	Nondestructive defect characterization of SiC substrates and epilayers		
	Xianyun Ma and Tangali Sudarshan		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
70 1-S	Schottky-Ohmic transition in nickel silicide/SiC-4H system: electrical and structural characterization		
	F. La Via, F. Roccaforte, V. Raineri, M. Mauceri, A. Ruggiero, P. Musumeci, L. Calcagno, A. Castaldini, A. Cavallini		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
71 1-S	Silicon Carbide Crystal and Substrate Technology: A Survey of Recent Advances		
	H. McD. Hobgood		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
72 1-S	SiO ₂ -isolated visible amorphous thin-film LED fabricated on crystalline silicon substrate		
	Rong-Hwei Yeh; Cha-Shin Lin; Wen-Hsiung Liu; Jyh-Wong Hong;		
	Electronics Letters		
	Volume: 38, Issue: 24, 21 Nov.2002, Pages:1580 - 1581, IEEE JNL		
	Wafer		
73 1-S	Tritium behavior on SiC		
	Katayama, K.; Nishikawa, M.; Takeishi, T.;		
	Fusion Engineering, 2002. 19th Symposium		
	21-25 Jan. 2002, Pages:164 - 167, IEEE CNF		
	Material		
74 1-W	A novel wafer reclaim method for silicon carbide film		
	Bing-Yue Tsui; Kuo-Lung Fang; Chih-Hung Wu; Yuan-Nsin Li;		
	Semiconductor Manufacturing, 2003 IEEE International Symposium		
	Sept. 30-Oct 2, 2003, Pages:191 - 194, IEEE CNF		
	Wafer		

75 An automated defect detection system for silicon carbide wafers
1-W

Kubota, T.; Talekar, P.; Sudarshan, T.S.; Xianyun Ma; Parker, M.; Yuefei Ma;

SoutheastCon, 2002. Proceedings IEEE

5-7 April 2002, Pages:42 - 47, IEEE CNF

Wafer

76 Development of Large Diameter High-Purity Semi-Insulating 4H-SiC Wafers for
1-W Microwave Devices

J. R. Jenny, D. P. Malta, M. R. Calus, St. G. Müller, A. R. Powell, V. F. Tsvetkov, H. McD.
Hobgood, R. C. Glass and C. H. Carter, Jr.
International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

77 SiC Wafers and Components: Evaluation of the 2002 Market and Discussion of Major
1-W Future Trends

YOLE DEVELOPPEMENT

78 Surface orientation dependence on micropipe dissociation phenomenon
1-W

I. Kamata, H. Tsuchida, S. Izumi, T. Tawara and K. Izumi

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

79 Feasibility tests of SiC thin films by sputtering
1-F

Axelevitch, A.; Vainshtok, E.; Sigalov, B.; Gorenstein, B.; Golan, G.;

Electrical and Electronics Engineers in Israel, 2002. The 22nd Convention

1 Dec. 2002, Pages:55, IEEE CNF

Material

80 Formation of 3C-SiC films embedded in SiO₂ by sacrificial oxidation
1-F

D. Panknin, P. Godignon, N. Mestres, E. Polychroniadis, J. Stoemenos, G. Ferro, J. Pezoldt, W. Skorupa

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

81 Growth of SiC films using tetraethylsilane
1-F

Naoki Kubo, Shuichi Asahina, Takeshi Kawase, Nobuyuki Kanayama, Hiroshi Tsuda, Akihiro Moritani, Kuninori Kitahara

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

82 Low Temperature (320°C) Deposition of Hydrogenated Microcrystalline Cubic Silicon
1-F Carbide Thin Films

Shinsuke Miyajima, Akira Yamada and Makoto Konagai

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

83 PECVD nitrogen doped a-SiC:H films: properties
1-F

Huran, J.; Hotovy, I.; Kobzev, A.P.; Balalykin, N.I.;

Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, 2002. The Fourth International Conference

14-16 Oct. 2002, Pages:67 - 70, IEEE CNF

diode

84 Film Characterization of Cu diffusion barrier dielectrics for 90 nm and 65 nm
[1]-F technology node Cu interconnects

Goto, K.; Yuasa, H.; Andatsu, A.; Matsuura, M.;

Interconnect Technology Conference, 2003. Proceedings of the IEEE 2003 International

2-4 June 2003, Pages:6 - 8, IEEE CNF

material

85 Neues Halbleitermaterial für die Leistungselektronik: Verkohltes Silizium
2-R

Dr. Lothar Frey, Dr. Martin Marz vom Fraunhofer IIS

2002 WEKA Fachzeitschriften-Verlag GmbH

86 Prospects and expectations of power electronics in the 21st century
2-R

Akagi, H

Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002. Proceedings

Volume: 2, 2-5 April 2002, Pages:921 - 926, vol.3, IEEE CNF

Motor Drive

87 SiC microwave power technologies
2-R

Clarke, R.C.; Palmour, J.W.;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:987 - 992, IEEE JNL

material

88 Silicon carbide benefits and advantages for power electronics circuits and systems
2-R

Elasser, A. Chow, T.P.

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:969 - 986, IEEE JNL

Power Electronics

89 最新のパワーデバイスの動向－シリコンパワーデバイスの限界と突破技術－
2-R

大橋弘通

J. IEE Japan

Vol.122, No. 3, 168-171頁

90 Prospects of new technologies for power electronics in the 21st century
[2]-R

Akagi, H.;

Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Asia Pacific. IEEE/PES

Volume: 2, 6-10 Oct. 2002, Pages:1399 - 1404, IEEE CNF

Power Electronics

91 Advanced Processing Techniques for Silicon Carbide MEMS and NEMS
4-G

Christian A. Zorman and Mehran Mehregany

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

92 Development of 3C-SiC SOI structures using Si on polycrystalline SiC wafer bonded
4-G substrates

R. L. Myers, S. E. Saddow, S. Rao, K. D. Hobart, M. Fatemi and F. J. Kub

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

93 Diffusion of silicon and carbon in isotopically enriched silicon carbide
4-G

K. Ru[¨]schenschmidt, H. Bracht, M. Laube, N. A. Stolwijk, G. Pensl and G. R[>] Brandes

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

94 Dynamics of Laser ablation in SiC
4-G

A. Medvid and P. Lytvyn

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
95 4-G	Effect of In-Situ Chemical Surface Treatments on AlN/SiC Interfacial Contamination		
	D. O. Stodilka, B. P. Gila, C. R. Abernathy, E. Lambers, F. Ren, S. J. Pearton		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
96 4-G	Electrical study of 4H-SiC irradiated with swift heavy ions		
	Kalinina, E.; Onushkin, G.; Davidov, D.; Hallen, A.; Konstantinov, A.; Skuratov, V.A.; Stano, J.;		
	Semiconducting and Insulating Materials, 2002. SIMC-XII-2002. 12th International Conference		
	30 June-5 July 2002, Pages:106 - 109, IEEE CNF		
	Material		
97 4-G	Flash Lamp Supported Deposition of 3C-SiC (FLASiC) - a promising technique to produce high quality cubic SiC layers		
	<u>W. Skorupa</u> , W. Anwand, D. Panknin, M. Voelskow, G Ferro, Y. Monteil, A. Leycuras, J. Pensoldt, R. McMahon, M. Smith, J. Camassel, J. Stoemenos, E. Polychroniadis, P. Godignon, N. Mestres, D. Turover, S. Rushworth, A. Friedbberger		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
98 4-G	Hydrogen etching of natural and artificial voids in 6H-SiC(1000)		
	<u>M. Hanbuecken</u> , W. Wulfhekel, D. Sander, S. Nitsche, J. P. Palmari, T. Maroutian, F. Dulot, F. Arnaud d'Avitaya and A. Leycuras		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
99 4-G	Initial stages of thermal oxidation of 4H-SiC(1120) studied by photoelectron spectroscopy		
	<u>Th. Seyller</u> , R. Graupner, and L. Ley		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		

100 Modification of the Silicon Carbide by proton irradiation
4-G

E. V. Bogdanova, V. V. Kozlovski, D. S. Rumyantsev, A. A. Volkova, A. A. Lebedev

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

101 N-Type Implantation Doping of GaN
4-G

Yoshitaka Nakano, Tetsu Kachi and Takashi Jimbo

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

102 Nitrogen donor deactivation in ion-implanted 4H-SiC
4-G

T. A. G. Eberlein, R. Jones and P. R. Briddon

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

103 Optimization of JTE Edge Terminations for 10kV Power Devices in 4H-SiC
4-G

Xiaokun Wang and James A. Cooper, Jr.

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

104 P-Type Implantation Doping of GaN
4-G

Yoshitaka Nakano, Tetsu Kachi and Takashi Jimbo

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

105 Relationships between etch rate and roughness of plasma etched surface
4-G

Byungwhan Kim; Byung-Teak Lee

Plasma Science, IEEE Transactions

Volume: 30, Issue: 5, Oct. 2002, Pages:2074 - 2077, IEEE JNL

Material

106 "The Advanced Analytical Capabilities of HR-GDMS for Process Development, Quality
4-G and Process Control in SiC Production Environment"

Y. Andre, K. Putyera, C. Michellon, S. Andre, N. Cuq, M. Kasik

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

107 Ultimate solution for low thermal budget gate spacer and etch stopper to retard short
4-G channel effect in sub-90 nm devices

Jong-Ho Yang; Jae-Eun Park; Joo-Won Lee; Kang-Soo Chu; Ja-Hum Ku; Moon-Han Park; Nae-In Lee; Hee-Sung Kang; Myung-Hwan Oh; Jun-Ha Lee; Ho-Kyu Kang; Kwang-Pyuk Suh; VLSI Technology, 2003. Digest of Technical Papers. 2003 Symposium

10-12 June 2003, Pages:55 - 56, IEEE CNF

inverter

108 Ultraviolet exposure activated oxidation of silicon carbide
4-G

Svetlichnyi, A.M.; Polyakov, V.V.; Kocherov, A.N.;

Electron Devices and Materials, 2003. Proceedings. 4th Annual 2003 Siberian Russian Workshop

1-4 July 2003, Pages:46 - 48, IEEE CNF

Material

109 XPS STUDY OF CHEMICAL CONVERSIONS ON SILICON CARBIDE SURFACE
4-G TREATED IN CLORINE-CONTAINING GAS MIXTURES

A. V. Zinovev, J. F. Moore, M. J. Pellin

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
110 [4]-G	A novel graded antireflective coating with built-in hardmask properties enabling 65nm and below CMOS device patterning		
	Babich, K.; Fukiage, N.; Mahorowala, A.; Halle, S.; Bunner, T.; Pfeiffer, D.; Mochiki, H.; Ashigaki, S.; Xia, A.; Angelopoulos, M.; Electron Devices Meeting, 2003. IEDM '03 Technical Digest. IEEE International		
	8-10 Dec. 2003, Pages:28.5.1 - 28.5.4, IEEE CNF material		
111 [4]-G	Porous dielectric dual damascene patterning issues for 65 nm node: can architecture bring a solution?		
	Assous, M.; Simon, J.; Broussous, L.; Bourlot, C.; Fayolle, M.; Louveau, O.; Roman, A.; Tabouret, E.; Feldis, H.; Louis, D.; Torres, J.; Interconnect Technology Conference, 2003. Proceedings of the IEEE 2003 International		
	2-4 June 2003, Pages:97 - 99, IEEE CNF material		
112 4-G-R	Process Technology for Silicon Carbide Devices		
	C-M Zetterling (Ed.) IEE Jan. 07, 2003		
113 4-E	Characterization of SiC epitaxial structures using high-resolution x-ray diffraction techniques		
	<u>XianRong Huang</u> , Michael Dudley, Wondong Cho and Robert S. Okojie International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France		
114 4-E	Emissions from defects in thin gan epilayers grown on vicinal 4h-sic substrates		
	Xu, S.J.; Wang, H.J.; Cheung, S.H.; Li, Q.; Dai, X.Q.; Xie, M.H.; Tong, S.Y.; Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices, 2002 Conference 11-13 Dec. 2002, Pages:95 - 98, IEEE CNF Material		

115 Etching of SiC with fluorine ECR plasma
4-E

Ch. Foerster, O. Ambacher and J. Pezoldt

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

116 Magnetic enhanced inductively coupled plasma etching of 6H-SiC
4-E

Kim, D.W.; Lee, H.Y.; Kim, H.S.; Sung, Y.J.; Chae, S.H.; Yeom, G.Y.;

Plasma Science, 2003. ICOPS 2003. IEEE Conference Record – Abstracts. The 30th International Conference

2-5 June 2003, Pages:132, IEEE CNF

Material

117 Simple model for calculation of SiC epitaxial layers growth rate in vacuum
4-E

S. Yu. Davydov, N. S. Savkina, A. A. Lebedev, R. Yakimova, M. Syvaejaervi

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

118 Step Free Surface Heteroepitaxy of 3C-SiC Layers on Patterned 4H/6H-SiC Mesas
4-E and Cantilevers

Philip G. Neudeck, J. Anthony Powell, Andrew J. Trunek and David J. Spry

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

119 Substrate and epitaxial issues for SiC power devices
4-E

Spencer, M.G.; Palmour, J.; Carter, C.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 5, May 2002, Pages:940 – 945, IEEE JNL

Wafer

120 Uniformity Improvement in SiC Epitaxial Growth by using Si-Condensation
4-E

Shin Harada, Kouji Nakayama, Makoto Sasaki and Hiromu Shiomi

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

121 Gallium nitride materials – progress, status, and potential roadblocks
[4]-E

Davis, R.F.; Roskowski, A.M.; Preble, E.A.; Speck, J.S.; Heying, B.; Freitas, J.A., Jr.; Glaser, E.R.; Carlos, W.E.;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:993 – 1005, IEEE JNL

epitaxy

122 MBE growth of high quality AlGa_N/Ga_N HEMTs on resistive Si[111] substrate with RF
[4]-E small signal and power performances

Cordier, Y.; Semond, F.; Lorenzini, P.; Grandjean, N.; Natali, F.; Damilano, B.; Massies, J.; Hoel, V.; Minko, A.; Vellas, N.; Gaquiere, C.; DeJaeger, J.C.; Dessertene, B.; Cassette, S.; Surrugue, M.;
Molecular Beam Epitaxy, 2002 International Conference

15-20 Sept. 2002, Pages:99 – 100, IEEE CNF

epitaxy

123 Nucleation and growth of GaN observed by in situ line-of-sight mass spectrometry
[4]-E

Averbeck, R.; Koblmüller, G.; Riechert, H.; Pongratz, P.;

Molecular Beam Epitaxy, 2002 International Conference

15-20 Sept. 2002, Pages:203 – 204, IEEE CNF

epitaxy

124 A Long-Term Reliability of Thermal OXides Grown on N-type 4H-SiC Wafer
4-C

Junji Senzaki, Masakazu Goto, Kazutoshi Kojima, Kikuo Yamabe and Kenji Fukuda

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
125 4-C	Effect of crucible design on the shape and the quality in 6H-SiC crystals grown by physical vapor transport		
	<u>Myung Yoon Um</u> , Hoon Joo Na, Ho Keun Song, Dae Hwan Kim, In Bok Song, Sang Yong Jung and Hyeong Joon Kim International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
126 4-C	Growth of N-face polarity III-nitride heterostructures on C-face 4H-SiC by plasma-assisted MBE		
	E. Monroy, F. Enjalbert, E. Sarigiannidou, N. Gogneau, F. Fossard, E. Bellet-Amalric, J. Brault, J.-L. Rouviere, Le Si Dang, S. Monnoye, H. Mank and B. Daudin International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
127 4-C	High-Quality SiC Bulk Single Crystal Growth based on Simulation and Experiment		
	<u>Shin-ichi NISHIZAWA</u> , Tomohisa KATO, Yasuo KITOU, Naoki OYANAGI, Fusao HIROSE, Hirotaka YAMAGUCHI, Wook BAHNG and Kazuo ARAI International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
128 4-C	Influence of the Ge coverage prior to carbonization on the structure of SiC grown on Si(111)		
	<u>F. M. Morales</u> , Ch. Zgheib, S. I. Molina, D. Araujo, R. Garcia, C. Fernandez, A. Sanz-Hervas, P. Masri, P. Weih, Th. Stauden, O. Ambacher and J. Pezoldt International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
129 4-C	Natural crystal habit and preferential growth directions in PVT of silicon carbide		
	Z. G. Herro, B. M. Epelbaum, M. Bickermann, P. Masri, C. Seitz, A. Magerl and A. Winnacker International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		

130 Reduction of SiC Defects Via Micropipe Blocking for Bulk Crystal Growth
4-C

Yuri Khlebnikov, Igor Khlebnikov, Andrei Maltsev, Georgiy Stratiy, Jack Bonnette, Mathew Parker
Bandgap Technologies, Inc.

1428 Taylor Street, Columbia, SC 29210, USA

131 SiC crystal growth by HTCVD: status and prospects
4-C

A. Ellison, B. Magnusson, P. Bergman, U. Forsberg, N. Henelius, E. Janzen, and A. Vehanen
International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

132 Substrate and epitaxial issues for SiC power devices
4-C-R

Spencer, M.G.; Palmour, J.; Carter, C.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 5, May 2002, Pages:940 - 945, IEEE JNL
crystal growth

133 Plasma deposited N-doped a-SiC:H films: characterization
4-F

Huran, J.; Hotovy, I.; Kobzev, A.P.; Balalykin, N.I.;

Semiconducting and Insulating Materials, 2002. SIMC-XII-2002. 12th International Conference

30 June-5 July 2002, Pages:114 - 117, IEEE CNF

Material

134 RF plasma assisted process for the deposition of silicon carbide thin films
4-F

Cho, N.I.; Vlaskina, S.; Noh, S.J.;

Plasma Science, 2003. ICOPS 2003, IEEE Conference Record -Abstracts, The 30th International
Conference

2-5 June 2003, Pages:263, IEEE CNF

Power Electronics

135 A parametric device study for SiC power electronics
5-B

Ozpineci, B.; Tolbert, L.M.; Islam, S.K.; Hasanuzzaman, M.;

Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record

Volume: 1, 13-18 Oct. 2002, Pages:570 - 575, vol.1, IEEE CNF

Material

136 Leistungshalbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) eine nachhaltige Innovation in der
5-B Leistungselektronik

Dipl.-Ing. Theodor Salzmann, Siemens AG, Leiter des Fachbereichs Q1, Leistungselektronik und Systemintegration

Bauelemente der Leistungselektronik (Leistungshalbleiter)

137 Low frequency and 1/f noise in wide-gap semiconductors: silicon carbide and gallium
5-B nitride

Levinshtein, M.E.; Romyantsev, S.L.; Shur, M.S.; Gaska, R.; Khan, M.A.;

Circuits, Devices and Systems, IEE Proceedings [see also IEE Proceedings G- Circuits, Devices and Systems]

Volume: 149, Issue: 1, Feb. 2002, Pages:32 - 39, IEEE JNL

Material

138 On the high temperature operation of high voltage power devices
5-B

Obreja, V.V.N.; Nuttall, K.I.;

Semiconductor Conference, 2002. CAS 2002 Proceedings. International

Volume: 2, 8-12 Oct. 2002, Pages:253 - 256 vol.2, IEEE CNF

diode

139 4. SiC パワーデバイス
5-B-R

電気学会技術報告 第947号 44-49頁

140 A review of SiC power switch: achievements, difficulties and perspectives
5-B-R

I. Sankin, J. R. Bonds, W. A. Draper, J. N. Merrett and J. B. Casady

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

141 An assessment of wide bandgap semiconductors for power devices
5-B-R

Hudgins, J.L.; Simin, G.S.; Santi, E.; Khan, M.A.;

Power Electronics, IEEE Transactions

Volume: 18, Issue: 3, May 2003, Pages:907 – 914, IEEE JNL

Material

142 High-temperature electronics – a role for wide bandgap semiconductors?
5-B-R

Neudeck, P.G.; Okojie, R.S.; Liang-Yu Chen;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:1065 – 1076, IEEE JNL

Material

143 Key power semiconductor device concepts for the next decade
5-B-R

Lorenz, L.; Mitlehner, H.;

Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record

Volume: 1, 13-18 Oct. 2002, Pages:564 – 569, vol.1, IEEE CNF

Material

144 Key power semiconductor device concepts for the next decade
5-B-R

Lorenz, L.; Mitlehner, H.;

Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference

Volume: 3, 1-4 June 2003, Pages:1903 – 1908, vol.3, IEEE CNF

Switching Device

145 Recent Progress in the Development of SiC Power Switches
5-B-R

Dietrich Stephani

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

146 SiC device technology for high voltage and RF power applications
5-B-R

Ostling, M.; Koo, S.-M.; Lee, S.-K.; Danielsson, E.; Domeij, M.; Zetterling, C.-M.;

Microelectronics, 2002. MIEL 2002. 23rd International Conference

Volume: 1, 12-15 May 2002, Pages:31 - 39, vol.1, IEEE CNF

Material

147 SiC Leistungsbaulemente—die Schwelle einer neuen Ara in der Leistungselektronik
5-B-R

Dr. H. Mitlehner, Dr. D. Stephanie, SiCED Electronics Development, Erlangen

Baulemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen (ETG-FB 88), ETG-Fachbericht Band 88の1. 1に収録

VDE VERLAG (Hrsg.)

148 SiC power-switching devices—the second electronics revolution?
5-B-R

Cooper, J.A., Jr.; Agarwal, A.;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:956 - 968, IEEE JNL

Switching Device Transistor

149 SYSTEM IMPACT OF SILICON CARBIDE POWER DEVICES
5-B-R

Burak Ozpineci, Leon M. Tolbert, Syed K. Islam and MD. Hasanuzzaman

International Journal of High Speed Electronics and Systems

Vol. 12, No. 2(2002) 439-448, Worl Scientific Publishing Company

150 3 kV 600 A 4H-SiC high temperature diode module
5-D

Sugawara, Y.; Takayama, D.; Asano, K.; Singh, R.; Kodama, H.; Ogata, S.; Hayashi, T.;

Power Semiconductor Devices and ICs, 2002. Proceedings of the 14th International Symposium

4-7 June 2002, Pages:245 - 248, IEEE CNF

diode

151 4H-SiC high power SIJFET module
5-D

Sugawara, Y.; Takayama, D.; Asano, K.; Ryu, S.; Miyauchi, A.; Ogata, S.; Hayashi, T.;

Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium

14-17 April 2003, Pages:127 - 130, IEEE CNF

diode

152 4H-SiC pn Diode using Internal Ring (IR) Termination Technique
5-D

G. H. Song, H. W. Kim, W. Bahng, S. C. Kim and N. K. Kim

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

153 4H-SiC Power Schottky diodes. On the way to solve size limiting issues.
5-D

A. Syrkin, V. Dmitriev, M. Mynbaeva, C. Hallin, and E. Janzeⁿ

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

154 4H-silicon carbide Schottky barrier diodes for microwave applications
5-D

Eriksson, J.; Rorsman, N.; Zirath, H.;

Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions

Volume: 51, Issue: 3, March 2003, Pages:796 - 804, IEEE JNL

diode

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
155 5-D	A comparative evaluation of new silicon carbide diodes and state-of-the-art silicon diodes for power electronic applications Elasser, A.; Kheraluwala, M.H.; Ghezzi, M.; Steigerwald, R.L.; Evers, N.A.; Kretchmer, J.; Chow, T.P.; Industry Applications, IEEE Transactions	Volume: 39, Issue: 4, July-Aug. 2003, Pages:915 - 921, IEEE JNL	Material
156 5-D	A high breakdown-voltage SiCN/Si heterojunction diode for high-temperature applications Shyh-Fann Ting; Yean-Kuen Fang; Wen-Tse Hsieh; Yong-Shiuan Tsair; Cheng-Nan Chang; Chun-Sheng Lin; Ming-Chun Hsieh; Hsin-Che Chiang; Jyh-Jier Ho; Electron Device Letters, IEEE	Volume: 23, Issue: 3, March 2002, Pages:142 - 144, IEEE JNL	diode
157 5-D	A novel high-frequency current output inverter based on an immittance conversion element and a hybrid MOSFET-SiC diode switch Shimizu, T.; Kinjyo, H.; Wada, K.;	Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference	
		Volume: 4, 15-19 June 2003, Pages:2003 - 2008 vol.4, IEEE CNF	diode
158 5-D	A parametric device study for SiC diodes in vehicular applications Ozpineci, B.; Tolbert, L.M.; Islam, S.K.; Theiss, T.J.;	Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th	
		Volume: 3, 24-28 Sept. 2002, Pages:1495 - 1499, vol.3, IEEE CNF	Material
159 5-D	Avalanche phenomena in 4H-SiC p-n diodes fabricated by aluminum or boron implantation Negoro, Y.; Miyamoto, N.; Kimoto, T.; Matsunami, H.;	Electron Devices, IEEE Transactions	
		Volume: 49, Issue: 9, Sept. 2002, Pages:1505 - 1510, IEEE JNL	diode

160 Carrier lifetime measurements in 10 kV 4H-SiC diodes
5-D

Levinshtein, M.E.; Mnatsakanov, T.T.; Ivanov, P.A.; Singh, R.; Irvine, K.G.; Palmour, J.W.;
Electronics Letters

Volume: 39, Issue: 8, 17 April 2003, Pages:689 – 691, IEEE JNL
diode

161 Characteristics of 6H-SiC bipolar JTE diodes realized by sublimation epitaxy and Al
5-D implantation

A. M. Strel'chuk, V. S. Kiselev, B. N. Romanyuk, C. Raynaud, J. -P. Chante

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

162 Characterization of hard- and soft-switching performance of high-voltage Si and
5-D 4H-SiC PiN diodes

Shenai, K.; Trivedi, M.; Neudeck, P.G.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 9, Sept. 2002, Pages:1648 – 1656, IEEE JNL
diode

163 Characterization of SiC Schottky diodes at different temperatures
5-D

Ozpineci, B.; Tolbert, L.M.;

Power Electronics Letters, IEEE

Volume: 1, Issue: 2, June 2003, Pages:54 – 57, IEEE JNL
diode

164 Current transport mechanisms in 4H-SiC pin diodes
5-D

Camara, N.; Bano, E.; Zekentes, K.;

Semiconductor Conference, 2003. CAS 2003. International

Volume: 2, 28 Sept.-2 Oct. 2003, Pages: 252 Vol. 2, IEEE CNF
diode

165 Demonstration of the first 10-kV 4H-SiC Schottky barrier diodes
5-D

Zhao, J.H.; Alexandrov, P.; Li, X.

Electron Device Letters, IEEE

Volume: 24, Issue: 6, June 2003, Pages:402 – 404, IEEE JNL

diode

166 Different ion implanted edge terminations for Schottky diodes on SiC
5-D

Weiss, R.; Frey, L.; Ryssel, H.;

Ion Implantation Technology. 2002. Proceedings of the 14th International Conference

22-27 Sept. 2003, Pages:139 – 142, IEEE CNF

diode

167 Electrical characterization of carbon monoxide sensitive high temperature sensor diode
5-D based on catalytic metal gate-insulator-silicon carbide structure

Nakagomi, S.; Spetz, A.L.; Lundstrom, I.; Tobias, P.;

Sensors Journal, IEEE

Volume: 2 , Issue: 5, Oct. 2002, Pages:379 – 386, IEEE JNL

diode

168 Electroluminescence of p-3C-SiC/n-6H-SiC heterodiodes, grown by sublimation
5-D epitaxy in vacuum

A. A. Lebedev, A. M. Strel'chuk, A. N. Kuznetsov, N. S. Savkina

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

169 Fabrication of SiC lateral super junction diodes with multiple stacking p- and n-layers
5-D

Miura, M.; Nakamura, S.; Suda, J.; Kimoto, T.; Matsunami, H.;

Electron Device Letters, IEEE

Volume: 24, Issue: 5, May 2003, Pages:321 – 323, IEEE JNL

diode

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
170 5-D	Guard ring assisted RESURF: a new termination structure providing stable and high breakdown voltage for SiC power devices Kinoshita, K.; Hatakeyama, T.; Takikawa, O.; Yahata, A.; Shinohe, T.;	Power Semiconductor Devices and ICs, 2002. Proceedings of the 14th International Symposium 4-7 June 2002, Pages:253 - 256, IEEE CNF	diode
171 5-D	High performance 1500 V 4H-SiC junction barrier Schottky diodes Zhao, J.H.; Alexandrov, P.; Fursin, L.; Feng, Z.C.; Weiner, M.;	Electronics Letters Volume: 38, Issue: 2224, Oct 2002, Pages:1389 - 1390, IEE JNL	diode
172 5-D	High performance SiC diodes based on an efficient planar termination Brezeanu, G.; Badila, M.; Udrea, F.; Millan, J.; Godignon, P.; Mihaila, A.; Amaratunga, G.; Brezeanu, M.; Boianceanu, C.	Semiconductor Conference, 2003. CAS 2003. International Volume: 1, 28 Sept.-2 Oct. 2003, Pages: 36 Vol. 1, IEEE CNF	diode
173 5-D	Highly sensitive microwave detecting Au-TiB/sub x/(ZrB/sub x/)-n-SiC 6H diodes Boltovets, N.S.; Ivanov, V.N.; Zorenko, A.V.; Konakova, R.V.; Kudrik, Y.Y.; Milenin, V.V.; Abdizhaliev, S.K.;	Semiconductor Conference, 2002. CAS 2002 Proceedings. International Volume: 1, 8-12 Oct. 2002, Pages:49 - 52, vol.1, IEEE CNF	Wafer
174 5-D	Impact of proton irradiation on the static and dynamic characteristics of high-voltage 4h-sic jbs switching diodes Zhiyun Luo; Tianbing Chen; Cressler, J.D.; Sheridan, D.C.; Williams, J.R.; Reed, R.A.; Marshall, P.W.;	Nuclear Science, IEEE Transactions Volume: 50 , Issue: 6, Dec. 2003, Pages:1821 - 1826, IEEE JNL	diode

175 Improved 4H-silicon carbide Schottky diodes using multiple metal alloy contacts
5-D

Pope, G.; Mawby, P.A.;

Microelectronics, 2002. MIEL 2002. 23rd International Conference

12-15 May 2002, Pages:181 - 183 vol.1, IEEE CNF

diode

176 Influence of rapid thermal annealing modes on the parameters of Ni/21R-SiC contacts
5-D

Litvinov, V.L.; Demakov, K.D.; Agueev, O.A.; Svetlichnyi, A.M.; Konakova, R.V.; Lytvyn, P.M.; Milenin, V.V.;

Microelectronics, 2002. MIEL 2002. 23rd International Conference

Volume: 2, 12-15 May 2002, Pages:551 - 554, IEEE CNF

diode

177 Interface states and related surface currents in SiC junctions
5-D

Codreanu, C.; Avram, M.; Obreja, V.; Voitincu, C.; Codreanu, I.;

Semiconductor Conference, 2003. CAS 2003. International

Volume: 2, 28 Sept.-2 Oct. 2003, Pages: 300 Vol. 2, IEEE CNF

diode

178 Intermodulation-distortion performance of silicon-carbide Schottky-barrier RF mixer
5-D diodes

Simons, R.N.; Neudeck, P.G.;

Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions

Volume: 51 , Issue: 2, Feb. 2003, Pages:669 - 672, IEEE JNL

diode

179 Intermodulation-distortion performance of silicon-carbide Schottky-barrier RF mixer
5-D diodes

Simons, R.N.; Neudeck, P.G.;

Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions

Volume: 51, Issue: 2, Feb. 2003, Pages:669 - 672, IEEE JNL

Wafer

180 Investigation of 4H-SiC diode with RuO₂/sub 2/ Schottky contact by DLTS
5-D

Stuchlikova, L.'; Harmatha, L.; Buc, D.; Helmersson, U.; Wahab, Q.;

Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, 2002. The Fourth International Conference

14-16 Oct. 2002, Pages:153 - 156, IEEE CNF

diode

181 Latest advances in high voltage, drift free, 4H-SiC PiN diodes
5-D

Dus, M.K.; Sumakeris, J.J.; Krishnaswami, S.; Paisley, M.J.; Agarwal, A.K.; Powell, A.;

Semiconductor Device Research Symposium, 2003 International

Dec. 10-12, 2003, Pages:364 - 365, IEEE CNF

diode

182 Low dark current 4H-SiC avalanche photodiodes
5-D

Xiangyi Guo; Beck, A.; Bo Yang; Campbell, J.C.;

Electronics Letters

Volume: 39, Issue: 23, 13 Nov. 2003, Pages:1673-4, IEEE JNL

Material

183 Low voltage silicon carbide Zener diode
5-D

K. V. Vassilevski, K. Zekentes, A. B. Horsfall, C. M. Johnson, N. G. Wright

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

184 Low-loss, high-voltage 6H-SiC epitaxial p-i-n diode
5-D

Fujihira, K.; Tamura, S.; Kimoto, T.; Matsunami, H.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 1, Jan. 2002, Pages:150 - 154, IEEE JNL

diode

185 MICROWAVE CHARACTERISTICS OF TUNNETT DIODES MADE OF SILICON
5-D CARBIDE

V. V. Buniatyan, V. M. Aroutionian, K. Zekentes, N. Camara, P. Soukiassian

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

186 Multiplication and excess noise characteristics of thin 4H-SiC UV avalanche
5-D photodiodes

Ng, B.K.; Yan, F.; David, J.P.R.; Tozer, R.C.; Rees, G.J.; Qin, C.; Zhao, J.H.;

Photonics Technology Letters, IEEE

Volume: 14 , Issue: 9, Sep 2002, Pages:1342 - 1344, IEEE JNL

diode

187 Numerical and experimental characterization of 4H-SiC Schottky diodes
5-D

Xiaohu Zhang; Goldsman, N.; Bemstein, J.B.; McGarrity, J.M.; Powell, S.K.;

Semiconductor Device Research Symposium, 2003 International

Dec. 10-12, 2003, Pages:120 - 121, IEEE CNF

diode

188 Parameter extraction sequence for silicon carbide schottky, merged PiN Schottky, and
5-D PiN power diode models

McNutt, T.R.; Hefner, A.R.; Mantooth, H.A.; Duliere, J.L.; Berning, D.W.; Singh, R.;

Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual

Volume: 3, 23-27 June 2002, Pages:1269 - 1276 vol.3, IEEE CNF

diode

189 Performance evaluation of a Schottky SiC power diode in a boost PFC application
5-D

Spiazzi, G.; Buso, S.; Citron, M.; Corradin, M.; Pierobon, R.;

Power Electronics, IEEE Transactions

Volume: 18 , Issue: 6, Nov. 2003, Pages:1249 - 1253, IEEE JNL

diode

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
190 5-D	Performance evaluation of a Schottky SiC power diode in a boost PFC application		
	Spiazzi, G.; Buso, S.; Citron, M.; Corradin, M.; Pierobon, R.;		
	Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual		
	23-27 June 2002, Pages:631 - 635, vol.2, IEEE CNF		
	Power Converter		
191 5-D	Performance evaluation of CoolMOS/sup /spl trade// and SiC diode for single-phase power factor correction applications		
	Lu, B.; Dong, W.; Zhao, Q.; Lee, F.C.;		
	Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE,		
	Volume: 2, 9-13 Feb. 2003, Pages:651 - 657 vol.2, IEEE CNF		
	diode		
192 5-D	Performance of thin 4H-SiC UV avalanche photodiodes		
	Ng, B.K.; David, J.P.R.; Tozer, R.C.; Rees, G.J.; Yan, F.; Qin, C.; Zhao, J.H.;		
	Optoelectronics, IEEE Proceedings		
	Volume: 150, Issue: 2, 18 April 2003, Pages:187 - 190, IEEE JNL		
	Material		
193 5-D	SiC power Schottky and PiN diodes		
	Singh, R.; Cooper, J.A., Jr.; Melloch, M.R.; Chow, T.P.; Palmour, J.W.;		
	Electron Devices, IEEE Transactions		
	Volume: 49, Issue: 4, April 2002, Pages:665 - 672, IEEE JNL		
	diode		
194 5-D	Temperature dependence of R/sub on,sp/ in silicon carbide and GaAs Schottky diode		
	Ji Luo; Kuan-Jung Chung; Hu Huang; Bernstein, J.B.;		
	Reliability Physics Symposium Proceedings, 2002. 40th Annual		
	7-11 April 2002, Pages:425 - 426, IEEE CNF		
	Material		

195 Testing, characterization, and modeling of SiC diodes for transportation applications
5-D

Ozpineci, B.; Tolbert, L.M.; Islam, S.K.; Peng, F.Z.;

Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual

Volume: 4, 23-27 June 2002, Pages:1673 - 1678, IEEE CNF

Motor Drive

196 Theoretical comparison of SiC PiN and Schottky diodes based on power dissipation
5-D considerations

Morisette, D.T.; Cooper, J.A., Jr

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 9, Sept. 2002, Pages:1657 - 1664, IEEE JNL

diode

197 0.5-W single transverse-mode operation of an 850-nm diode-pumped surface-emitting
[5]-D semiconductor laser

Hastie, J.E.; Hopkins, J.-M.; Calvez, S.; Chan Wook Jeon; Burns, D.; Abram, R.; Riis, E.; Ferguson, A.I.; Dawson, M.D.;

Photonics Technology Letters, IEEE

Volume: 15, Issue: 7, July 2003, Pages:894 - 896, IEEE JNL

diode

198 AlGaIn-GaN UV light-emitting diodes grown on SiC by metal-organic chemical vapor
[5]-D deposition

Ting Gang Zhu; Denyszyn, J.C.; Chowdhury, U.; Wong, M.M.; Dupuis, R.D.;

Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal

Volume: 8, Issue: 2, March-April 2002, Pages:298 - 301, IEEE JNL

diode

199 Deep ultraviolet light-emitting diodes using quaternary AlInGaIn multiple quantum wells
[5]-D

Shatalov, M.; Zhang, J.; Chitnis, A.S.; Adivarahan, V.; Yang, J.; Simin, G.; Khan, M.A.;

Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal

Volume: 8, Issue: 2, March-April 2002, Pages:302 - 309, IEEE JNL

diode

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
200 [5]-D	New generation of drift step recovery diodes (DSRD) for subnanosecond switching and high repetition rate operation Kozlov, V.A.; Smirnova, I.A.; Moryakova, S.A.; Kardo-Sysoev, A.F.;	Power Modulator Symposium, 2002 and 2002 High-Voltage Workshop. Conference Record of the Twenty-Fifth International 30 June-3 July 2002, Pages:441 - 444, IEEE CNF	diode
201 [5]-D	Optimized device concepts for reverse blocking IGBTs Kapels, H.; Drucke, D.;	Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium 14-17 April 2003, Pages:148 - 151, IEEE CNF	diode
202 5-TR	4H-SiC power bipolar transistors with common emitter current gain >50 Chih-Fang Huang; Cooper, J.A., Jr.;	Device Research Conference, 2002. 60th DRC. Conference Digest 24-26 June 2002, Pages:183 - 184, IEEE CNF	Material
203 5-TR	50A, >450V 4H-SiC Unipolar Darlington Transistor for High Temperature Applications <u>Jian H. Zhao</u> , Kiyoshi Tone, Petre Alexandrov, L. Fursin, John Carter and M. Weiner	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France	
204 5-TR	A High Voltage (1570V) 4H-SiC Bipolar Darlington Transistor with Current Gain β >462 Jian. H. Zhao, Jianhui Zhang, Petre Alexandrov and Terry Burke	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France	

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue	発行年月日	頁	キーワード
205 5-TR	An IGBT and MOSFET gated SiC bipolar junction transistor Huijie Yu; Lai, J.; Li, X.; Luo, Y.; Fursin, L.; Zhao, J.H.; Alexandrov, P.; Wright, B.; Weiner, M.;				
	Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record				
	Volume: 4, 13-18 Oct. 2002, Pages:2609 - 2613, vol.4, IEEE CNF				
	Material				
206 5-TR	Gate driver based soft switching for SiC BJT inverter Yu, H.; Lai, J.; Zhao, J.H.; Wright, B.H.;				
	Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference				
	Volume: 4, 15-19 June 2003, Pages:1857 - 1862 vol.4, IEEE CNF				
	inverter				
207 5-TR	A gate driver based soft-switching SiC bipolar junction transistor Yu, H.; Lai, J.; Huang, X.; Zhao, J.H.; Zhang, J.; Hu, X.; Carter, J.; Fursin, L.;				
	Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE				
	Volume: 2, 9-13 Feb. 2003, Pages:968 - 973 vol.2, IEEE CNF				
	inverter				
208 5-TR	Large area, 1.3 kV, 17 A, bipolar junction transistors in 4H-SiC Agarwal, A.K.; Sei-Hyung Ryu; Richmond, J.; Capell, C.; Palmour, J.W.; Yi Tang; Balachandran, S.; Chow, T.P.;				
	Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium				
	14-17 April 2003, Pages:135 - 138, IEEE CNF				
	Switching Device Transistor				
209 5-TR	SiC and GaN transistors - is there one winner for microwave power applications? Trew, R.J.;				
	Proceedings of the IEEE				
	Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:1032 - 1047, IEEE JNL				
	Material				

210 The Future of Bipolar Power Transistors
5-TR-R

Alex Q. Huang, Bo Zhang

IEEE Transactions on Electron Devices

Vol. 48, No. 11, November 2001, Pages:2535-2543

211 A 4H-SiC high power density VJFET as controlled current limiter
5-JF

Tournier, D.; Godignon, P.; Montserrat, J.; Planson, D.; Raynaud, C.; Chante, J.P.; Sarrus, F.; Bonhomme, C.; de Palma, J.F.;

Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the

Volume: 3, 13-18 Oct. 2002, Pages:2248 - 2251 vol.3, IEEE CNF

diode

212 A 4H-SiC High Power-Density VJFET as Controlled Current Limiter
5-JF

Dominique Tournier, Phillippe Godignon, Joseph Montserrat, Dominique Planson, Christophe Raynaud, Jean Pierre Chante, Jean-Francois de Palma, and Franck Sarrus

IEEE Transactions on Industry Applications

Vol. 39, No. 5, September/October 2003, Pages:1508-1513

213 A 4H-SiC high-power-density VJFET as controlled current limiter
5-JF

Tournier, D.; Godignon, P.; Montserrat, J.; Planson, D.; Raynaud, C.; Chante, J.P.; de Palma, J.-F.; Sarrus, F.;

Industry Applications, IEEE Transactions

Volume: 39, Issue: 5, Sept.-Oct. 2003, Pages:1508 - 1513, IEEE JNL

Material

214 Optimization of Vertical Silicon Carbide Field Effect Transistors towards a cost
5-JF attractive SiC Power Switch

Peter Friedrichs, Rudolf Elpelt, Reinhold Schoerner, Heinz Mitlehner and Dietrich Stephani

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

215 4H-SiC MOSFET on C(000⁻,1) face with inversion channel mobility of 127cm²/Vs
5-MO

Kenji Fukuda, Makoto Kato, Junji Senzaki, Kazutoshi Kojima, Takaya Suzuki

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

216 Applikation von CoolMOS/SiC-SBD Device-Sets in Switched Mode Power Supplies
5-MO

M. Scherf, ISLE GmbH, Ilmenau; Prof. Dr.-Ing. Habil. J. Petzoldt, Technische Universität Ilmenau;
Dr.-Ing. L. Lorenz, Infineon Technologies AG, München
Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen (ETG-FB 88), ETG-Fachbericht Band
88の7. 1に収録

VDE VERLAG (Hrsg.)

217 Characterizations of SiC/SiO₂ interface quality toward high power MOSFETs
5-MO realization

D. Ziane, J. M. Bluet, G. Guillot

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

218 DC and RF performance of insulating gate 4H-SiC depletion mode Field Effect
5-MO Transistors

R. Jonsson, Q. Wahab and S. Rundner

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

219 Hall Effect Measurements in SiC Buried-Channel MOS devices
5-MO

N. S. Saks and S.-H. Ryu

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

220 Response mechanism of SiC-based MOS field-effect gas sensors
5-MO

Schalwig, J.; Kreisl, P.; Ahlers, S.; Muller, G.;

Sensors Journal, IEEE

Volume: 2, Issue: 5, Oct. 2002, Pages:394 - 402, IEEE JNL

Material

221 SiC JMOSFETs for high-temperature stable circuit operation
5-MO

Sang-Mo Koo, Carl-Mikael Zetterling, Hyung-Seok Lee and Mikael Oestling

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

222 Silicon carbide power MOSFET model and parameter extraction sequence
5-MO

McNutt, T.; Hefner, A.; Mantooth, A.; Berning, D.; Sei-Hyung Ryu;

Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference

Volume: 1, 15-19 June 2003, Pages:217 - 226, IEEE CNF

Power Electronics

223 Status and prospects for SiC power MOSFETs
5-MO-R

Cooper, J.A., Jr.; Melloch, M.R.; Singh, R.; Agarwal, A.; Palmour, J.W.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 4, April 2002, Pages:658 - 664, IEEE JNL

Switching Device Transistor

224 Trapping effects in GaN and SiC microwave FETs
5-MO

Binari, S.C.; Klein, P.B.; Kazior, T.E.;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:1032 - 1047, IEEE JNL

Material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
225 [5]-MO	0.65 V device design with high-performance and high-density 100 nm CMOS technology for low operation power application		
	Takao, Y.; Nakai, S.; Tagawa, Y.; Otsuka, S.; Sambonsugi, Y.; Sugiyama, K.; Oota, H.; Iriyama, Y.; Nanjyo, R.; Nagai, H.; Naitoh, K.; Nakamura, R.; Sekino, S.; Yamanoue, A.; Horiguchi, N.; VLSI Technology, 2002, Digest of Technical Papers. 2002 Symposium		
	11-13 June 2002, Pages:122 - 123, IEEE CNF Power Electronics		
226 5-MO-R	Recent Advances in 4H-SiC MOS Device Technology		
	<u>Mrinal K. Das</u>		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
227 5-ME	Comparison of zincblende-phase GaN, cubic-phase SiC, and GaAs MESFETs using a full-band Monte Carlo Simulator		
	Weber, M.T.; Tirino, L.; Brennan, K.F.;		
	Electron Devices, IEEE Transactions		
	Volume: 50 , Issue: 11 , Nov. 2003, Pages:2202 - 2207, IEEE JNL material		
228 5-ME	Influence of buffer layer on DC and RF performance of 4H SiC MESFET		
	Andrei V. Los, Michael S. Mazzola, Darko Kajfez, Brian T. McDaniel, Charles E. Smith, James Kretchmer, Larry B. Rowland and Jeffrey B. Casady		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		
229 5-ME	Investigation of the scalability of 4H SiC MESFETs for high frequency applications		
	N. Rorsman, P. A. Nilsson, J. Eriksson, H. Zirath		
	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)		
	October 5-10, Lyon, France		

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
230 5-ME	Reduced trapping effects and improved electrical performance in buried-gate 4H-SiC MESFETs Ho-Young Cha; Thomas, C.I.; Koley, G.; Eastman, L.F.; Spencer, M.G.;	Electron Devices, IEEE Transactions	
	Volume: 50, Issue: 7, July 2003, Pages:1569 - 1574, IEEE JNL	Material	
231 5-ME	Trap-free process and thermal limitations on large-periphery SiC MESFET for RF and microwave power Villard, F.; Prigent, J.-P.; Morvan, E.; Dua, C.; Brylinski, C.; Temcamani, F.; Pouvil, P.;	Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions	
	Volume: 51, Issue: 4, April 2003, Pages:1129 - 1134, IEEE JNL	Material	
232 5-TH	Optical switch-on of silicon carbide thyristor Levinshtein, M.E.; Ivanov, P.A.; Agarwal, A.K.; Palmour, J.W.;	Electronics Letters	
	Volume: 38, Issue: 12, 6 June 2002, Pages:592 - 593, IEEE JNL	Material	
233 5-G	100 A and 3.1 kV 4H-SiC GTO thyristors Van Campen, S.; Ezis, A.; Zingaro, J.; Storaska, G.; Clarke, R.C.; Elliott, K.; Temple, V.; Hits, D.; Thompson, M.; Roe, K.; Hansen, T.;	High Performance Devices, 2002. Proceedings. IEEE Lester Eastman Conference	
	6-8 Aug. 2002, Pages:58 - 64, IEEE CNF	Wafer	
234 5-G	Advanced operational techniques and pn-pn-pn structures for high-power silicon carbide gate turn-off thyristors Shah, P.B.; Geil, B.R.; Ervin, M.E.; Griffin, T.E.; Bayne, S.B.; Jones, K.A.; Oldham, T.;	Power Electronics, IEEE Transactions	
	Volume: 17, Issue: 6, Nov. 2002, Pages:1073 - 1079, IEEE JNL	Power Electronics	

235 Device simulation of SiC-GTO
5-G

Sakata, H.; Zahim, M.;

Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002

Volume: 1, 2-5 April 2002, Pages:220 - 225, vol.1, IEEE CNF

Material

236 Electrothermal simulations of SiC GTO thyristors containing gate and drift regions of
5-G the same or opposite polarity in a clamped inductive-load circuit

Shah, P.B

Reliability Physics Symposium Proceedings, 2002. 40th Annual

7-11 April 2002, Pages:423 - 424, IEEE CNF

Motor Drive

237 High temperature inductive switching of SiC GTO and diode
5-G

Bayne, S.B.; Tipton, C.W.; Griffin, T.E.; Scozzie, C.J.; Geil, B.R.;

Power Modulator Symposium, 2002 and 2002 High-Voltage Workshop. Conference Record of the
Twenty-Fifth International

30 June-3 July 2002, Pages:207 - 209, IEEE CNF

Material

238 Inductive switching of 4H-SiC gate turn-off thyristors
5-G

Bayne, S.B.; Tipton, C.W.; Griffin, T.; Scozzie, C.J.; Geil, B.; Agarwal, A.K.; Richmond, J.;

Electron Device Letters, IEEE

Volume: 23, Issue: 6, June 2002, Pages:318 - 320, IEEE JNL

Switching Device Thyristor

239 A three-dimensional TLM simulation method for thermal effect in high power insulated
[5]-G gate bipolar transistors

Hocine, R.; Boudghene Stambouli, M.A.;Saidane,

Semiconductor Thermal Measurement and Management, 2002. Eighteenth Annual IEEE Symposium

12-14 March 2002, Pages:99 - 104, IEEE CNF

Material

240 Recent progress in SiC power device developments and application studies
5-G-R

Sugawara, Y.;

Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium

14-17 April 2003, Pages:10 - 18, IEEE CNF

diode

241 Wide band gap electronic devices
5-G-R

Shur, M.S.; Gaska, R.; Khan, A.; Simin, G.;

Devices, Circuits and Systems, 2002. Proceedings of the Fourth IEEE International Caracas Conference

17-19 April 2002, Pages:D051-1 - D051-8, IEEE CNF

epitaxy

242 High Temperature SiC Trench Gate p-IGBTs
5-IG

Ranbir Singh, Sei-Hyung Ryu, D. Craig Capell, and John W. Palmour,

IEEE Transactions on Electron Devices

Vol. 50, No. 3, March 2003, Pages:774-784

243 Thermal analysis of a multi-chip Si/SiC-power module for realization of a bridge leg of
5-PM a 10kW Vienna rectifier

Drofenik, U.; Kolar, J.W.;

Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC '03. The 25th International

Oct. 19-23, 2003, Pages:826 - 833, IEEE CNF

Power Electronics

244 3.2 W/mm, 71% PAE AlGaIn/GaN HEMT operation at 20 GHz
5-HE

Sandhu, R.; Wojtowicz, M.; Smorchkova, I.; Barsky, M.; Tsai, R.; Yang, J.W.; Wang, H.; Khan, M.A.;

Device Research Conference, 2002. 60th DRC. Conference Digest

24-26 June 2002, Pages:27 - 28, IEEE CNF

Material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
245 5-HE	AlGaIn/GaN HEMTs grown by molecular beam epitaxy on sapphire, SiC, and HVPE GaN templates		
	Weimann, N.G.; Manfra, M.J.; Hsu, J.W.P.; Baldwin, K.; Pfeiffer, L.N.; West, K.W.; Chu, S.N.G.; Lang, D.V.; Molnar, R.J.;		
	High Performance Devices, 2002. Proceedings. IEEE Lester Eastman Conference		
	6-8 Aug. 2002, Pages:126 - 133, IEEE CNF		
	epitaxy		
246 [5]-HE	Unpassivated AlGaIn/GaN HEMTs with CW power density of 3.2 W/mm at 25 GHz grown by plasma-assisted MBE		
	Manfra, M.; Weimann, N.; Baeyens, Y.; Roux, P.; Tennant, D.M.;		
	Electronics Letters		
	Volume: 39, Issue: 8, 17 April 2003, Pages:694 - 695, IEEE JNL		
	epitaxy		
247 5-HE	Unpassivated AlGaIn-GaN HEMTs with minimal RF dispersion grown by plasma-assisted MBE on semi-insulating 6H-SiC substrates		
	Weimann, N.G.; Manfra, M.J.; Wachtler, T.;		
	Electron Device Letters, IEEE		
	Volume: 24 , Issue: 2, Feb. 2003, Pages:57 - 59, IEEE JNL		
	epitaxy		
248 5-HE	Submicron AlGaIn/GaN HEMTs with very high drain current density grown by plasma-assisted MBE on 6H-SiC		
	Weimann, N.G.; Manfra, M.J.; Chakraborty, S.; Tennant, D.M.;		
	Electron Device Letters, IEEE		
	Volume: 23, Issue: 12, Dec. 2002, Pages:691 - 693, IEEE JNL		
	epitaxy		
249 5-HE	AlGaIn/GaN HEMTs on silicon substrates with f_T of 32/20 GHz and f_{max} of 27/22 GHz for 0.5/0.7 μ m gate length		
	Javorka, P.; Alam, A.; Fox, A.; Marso, M.; Heuken, M.; Kordos, P.;		
	Electronics Letters		
	Volume: 38, Issue: 6, 14 March 2002, Pages:288 - 289, IEEE JNL		
	Material		

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
250 5-HE	Large area GaN HEMT power devices for power electronic applications: switching and temperature characteristics Naiqian Zhang; Mehrotra, V.; Chandrasekaran, S.; Moran, B.; Likun Shen; Mishra, U.; Etzkorn, E.; Clarke, D.;	Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference	
		Volume: 1, 15-19 June 2003, Pages:233 - 237, vol.1, IEEE CNF	
	Switching Device	Transistor	
251 5-HE	Mechanism of power density degradation due to trapping effects in AlGaIn/GaN HEMTs De Meyer, S.; Charbonniaud, C.; Quere, R.; Campovecchio, A.; Lossy, R.; Wurfl, J.;	Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International	
		Volume: 1, 8-13 June 2003, Pages:455 - 458, vol.1, IEEE CNF	
	Material		
252 5-M	Dependence of charge-retention time in 4H-sic mos capacitors on interface defects and applied gate voltage Cheong, K.Y.; Dimitrijev, S.; Han, J.; Harrison, H.B.;	Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices, 2002 Conference	
		11-13 Dec. 2002, Pages:519 - 522, IEEE CNF	
	Material		
253 5-M	MOS capacitor on 4H-SiC as a nonvolatile memory element Kuan Yew Cheong; Dimitrijevic, S.;	Electron Device Letters, IEEE	
		Volume: 23, Issue: 7, July 2002, Pages:404 - 406, IEEE JNL	
	Material		
254 5-M	Development of chemical sensor arrays for harsh environments and aerospace applications Hunter, G.W.; Neudeck, P.G.; Liu, C.C.; Ward, B.; Wu, Q.H.; Dutta, P.; Frank, M.; Trimbol, J.; Fulkerson, M.; Patton, B.; Makel, D.; Thomas, V.;	Sensors, 2002. Proceedings of IEEE	
		Volume: 2, 12-14 June 2002, Pages:1126 - 1133, vol.2, IEEE CNF	
	Material		

255 Electrical and optical characterization of 4H-SiC detectors
5-M

S. Miglio, M. Bruzzi, S. Lagomarsino, F. Nava, R. Schifano, S. Sciortino, A. Vinattieri

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

256 Fabrication and characterization of polycrystalline SiC resonators
5-M

Roy, S.; DeAnna, R.G.; Zorman, C.A.; Mehregany, M.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 12, Dec. 2002, Pages:2323 - 2332, IEEE JNL

Material

257 Multiplication and excess noise characteristics of thin 4H-SiC UV avalanche
5-M photodiodes

Clarke, R.C.; Palmour, J.W.;

Proceedings of the IEEE

Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:987 - 992, IEEE JNL

Material

258 Multiplication and excess noise characteristics of thin 4H-SiC UV avalanche
5-M photodiodes

Ng, B.K.; Yan, F.; David, J.P.R.; Tozer, R.C.; Rees, G.J.; Qin, C.; Zhao, J.H.;

Photonics Technology Letters, IEEE

Volume: 14, Issue: 9, Sep 2002, Pages:1342 - 1344, IEEE JNL

Material

259 Optimization of p-a-SiC:H/p-nc-SiC:H double layer structure for a high efficiency
5-M a-Si:H based solar cell

Seung Yeop Myong; Sang Soo Kim; Chevaleyevski, O.; Kyung Hoon Jun; Konagai, M.; Koeng Su Lim;

Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE

19-24 May 2002, Pages:1226 - 1229, IEEE CNF

Material

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
260 5-M	Preparation of p- and n-type SiC-based thermoelectric materials by spark plasma sintering Kado, N.; Kitagawa, H.; Ueda, Yu.; Kanayama, N.; Noda, Y.;	Thermoelectrics, 2002. Proceedings ICT '02. Twenty-First International Conference 25-29 Aug. 2002, Pages:163 - 165, IEEE CNF	
	Material		
2612 5-M	Silicon Carbide specific components for power electronics system protection J. P. Chante, D. Planson, C. Raynaud, M. Lazar, M. L. Locatelli, D. Tournier, P. Brosselard	International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003) October 5-10, Lyon, France	
262 5-M-R	SiC高周波電子デバイスにおける最近の研究動向 新井 学	第73巻 第3号 (2004年)	
263 5-A	Ge incorporation in SiC and the effects on device performance Roe, K.J.; Dashiell, M.W.; Xuan, G.; Ansorge, E.; Katulka, G.; Sustersic, N.; Zhang, X.; Kolodzey, J.;	High Performance Devices, 2002. Proceedings. IEEE Lester Eastman Conference 6-8 Aug. 2002, Pages:201 - 206, IEEE CNF	
	diode		
264 5-A	Hybrid Si-SiC fast switching cell modelling and characterisation including parasitic environment description by PEEC method Besacier, M.; Coyaud, M.; Schanen, J.L.; Roudet, J.; Rivet, B.;	Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002 IEEE 33rd Annual Volume: 4, 23-27 June 2002, Pages:1753 - 1757, IEEE CNF	
	Power Converter rectifier		

265 Structural characterisation of alloyed Al/Ti contacts on SiC
5-A

Andrea Parisini, Antonella Poggi and Roberta Nipoti

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

266 The thermal stability of Ni and Ni/Au ohmic contacts to n-type 4H-SiC
5-A

Kim, B.K.; Burm, J.; An, C.;

Semiconducting and Insulating Materials, 2002. SIMC-XII-2002. 12th International Conference

30 June-5 July 2002, Pages:97 - 101, IEEE CNF

Material

267 Thermally stable low resistivity ohmic contacts for high power and high temperature
5-A SiC device applications

Kakanakov, R.; Kassamakova-Kolaklieva, L.; Hristeva, N.; Lepoeva, G.; Zekentes, K.;

Microelectronics, 2002. MIEL 2002. 23rd International Conference

Volume: 1, 12-15 May 2002, Pages:205 - 208 vol.1, IEEE CNF

diode

268 Void-Induced Thermal Impedance in Power Semiconductor Modules: Some Transient
5-A Temperature Effects

Dimosthenis C. Katsis, Jacobus Daniel van Wyk

IEEE Transactions on Industry Applications

Vol. 39, No. 5, September/October 2003, Pages:1239-1246

269 New package/board materials technology for next-generation convergent microsystems
[5]-A

Kumbhat, N.; Raj, P.M.; Bansal, S.; Doraiswami, R.; Bhattacharya, S.; Tummala, R.; Hayes, S.;
Atmur, S.;

Electronics Packaging Technology, 2003 5th Conference (EPTC 2003)

10-12 Dec. 2003, Pages:331 - 335, IEEE CNF

material

270 5. シミュレーション技術
5-A-R

電気学会技術報告 第947号 49-55頁

271 6. 信頼性
5-A-R

電気学会技術報告 第947号 55-61頁

272 Recent results on particle detection with epitaxial SiC Schottky diodes
5-D

Bruzzi, A.; Hartjes, F.; Lagomarsino, S.; Nava, F.; Sciortino, S.; Varnni, P.

Nuclear Science Symposium Conference Record, 2002 IEEE

Volume: 1, 10-16 Nov. 2002, Pages:14 - 17 vol.1, IEEE CNF

diode

273 SiC power converter technology in future
6-B-R

Takahashi, I.;

Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International

Volume: 3, 1-4 June 2003, Pages:1903 - 1908, vol.3, IEEE CNF

Wafer

274 4H-SiC rectifiers with dual metal planar Schottky contacts
6-R

Vassilevski, K.V.; Horsfall, A.B.; Johnson, C.M.; Wright, N.G.; O'Neill, A.G.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 5, May 2002, Pages:947 - 949, IEEE JNL

diode

275 7.4 kV, 330 A (pulsed), single chip, high temperature 4H-SiC pin rectifier
6-R

Singh, R.; Capell, D.C.; Irvine, K.G.; Richmond, J.T.; Palmour, J.W.;

Electronics Letters

Volume: 38, Issue: 25, 5 Dec. 2002, Pages:1738 - 1740, IEEE JNL

diode

276 A new, high-voltage 4H-SiC lateral dual sidewall Schottky (LDSS) rectifier: theoretical
6-R investigation and analysis

Kumar, M.J.; Reddy, C.L.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 50, Issue: 7, July 2003, Pages:1690 - 1693, IEEE JNL

diode

277 Comparing Si and SiC diodes performance in a commercial AC-to-DC rectifier with
6-R power factor correction

Hernando, M.; Sebastian, J.; Villegas, P.; Fernandez, A.; Garcia, J.; Rascon, M.;

Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference

Volume: 415-19, June 2003, Pages:1979 - 1983 vol.4, IEEE CNF

diode

278 Cryogenic operation of 4H-SiC Schottky rectifiers
6-R

Shanbhag, M.; Chow, T.P.;

Power Semiconductor Devices and ICs, 2002. Proceedings of the 14th International Symposium

4-7 June 2002, Pages:129 - 132, IEEE CNF

diode

279 High-power 4H-SiC JBS rectifiers
6-R

Singh, R.; Capell, D.C.; Hefner, A.R.; Lai, J.; Palmour, J.W.;

Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 11, Nov. 2002, Pages:2054 - 2063, IEEE JNL

diode

280 Large area, ultra-high voltage 4H-SiC p-i-n rectifiers
6-R

Singh, R.; Irvine, K.G.; Capell, D.C.; Richmond, J.T.; Berning, D.; Hefner, A.R.; Palmour, J.W.;
Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 12, Dec. 2002, Pages:2308 - 2316, IEEE JNL
diode

281 Silicon carbide pinch rectifiers using a dual-metal Ti-Ni/sub 2/Si Schottky barrier
6-R

Roccaforte, F.; La Via, F.; La Magna, A.; Di Franco, S.; Raineri, V.;
Electron Devices, IEEE Transactions

Volume: 50, Issue: 8, Aug. 2003, Pages:1741 - 1747, IEEE JNL
diode

282 A 1 MHz hard-switched silicon carbide DC/DC converter
6-D

Abou-Alfotouh; Radun, A.M.; Arthur, V.; Chang Hsuch-Rong; Winerhalter, C.;

Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE

Volume: 1, 9-13 Feb. 2003, Pages:132 - 138, vol.1, IEEE CNF
Material

283 An integrated digital PFM DC-DC boost converter for a power management
6-D application: a RGB backlight LED system driver

Miribel-Catala, P.L.; Puig-Vidal, M.; Samitier i Marti, J.; Goyhenetche, P.; Xuan-Quan Nguyen
IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the]

Volume: 1, 5-8 Nov. 2002, Pages:37 - 42 vol.1, IEEE CNF
diode

284 Switching frequency related trade off's in a hard switching CCM PFC boost convert
6-D

Zverev, I.;

Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE

Volume: 2, 9-13 Feb. 2003, Pages:671 - 676 vol.2, IEEE CNF
diode

番号 / 分類	論文名 / 著者名 / 出典	Vol. Issue 発行年月日 頁	キーワード
285 6-I	Development and demonstration of silicon carbide (SiC) inverter module in motor drive		
	Chang, H.-R.; Hanna, E.; Radun, A.V.;		
	Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium		
	14-17 April 2003, Pages:131 - 134, IEEE CNF		
	Motor Drive		
286 6-I	Development and demonstration of silicon carbide (SiC) motor drive inverter modules		
	Chang, H.-R.; Hanna, E.; Radun, A.V.;		
	Power Electronics Specialist, 2003. PESC '03. IEEE 34th Annual Conference		
	Volume: 1, 15-19 June 2003, Pages:211 - 216, vol.1, IEEE CNF		
	Motor Drive		
287 6-I	Half-bridge inverter using 4H-SiC gate turn-off thyristors		
	Tipton, C.W.; Bayne, S.B.; Griffin, T.E.; Scozzie, C.J.; Geil, B.; Agarwal, A.K.; Richmond, J.;		
	Electron Device Letters, IEEE		
	Volume: 23 , Issue: 4, April 2002, Pages:194 - 196, IEEE JNL		
	inverter		
288 6-C	Evaluation of 1200 V-Si-IGBTs and 1300 V-SiC-JFETs for application in three-phase very sparse matrix AC-AC converter systems		
	Schafmeister, F.; Herold, S.; Kolar, J.W.;		
	Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC '03. Eighteenth Annual IEEE,		
	Volume: 1, 9-13 Feb. 2003, Pages:241 - 255 vol.1, IEEE CNF		
	diode		
289 6-C-R	SiC power converter technology in future		
	Cooper, J.A., Jr.; Agarwal, A.;		
	Proceedings of the IEEE		
	Volume: 90, Issue: 6, June 2002, Pages:956 - 968, IEEE CNF		
	Switching Device		

290 Solid-state RF power amplifiers : status and perspective
6-A-R

Delage, S.L.; Floriot, D.; Brylinski, C.;

Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications, 2002. EDMO 2002. The 10th IEEE International Symposium

18-19 Nov. 2002, Pages:136 - 142, IEEE CNF

Power Electronics

291 A CMOS compatible SiC accelerometer
6-M

Pakula, L.S.; Yang, H.; French, P.J.;

Sensors, 2003. Proceedings of IEEE

Volume: 2, 22-24 Oct. 2003, Pages:761 - 764 Vol.2, IEEE CNF

material

292 Fabrication and testing of vertically-actuated polycrystalline SiC micromechanical
6-M resonators for MHz frequency applications

Wiser, R.F.; Zorman, C.A.; Mehregany, M.;

TRANSDUCERS, Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 12th International Conference on, 2003

Volume: 2 , 8-12 June 2003, Pages:1164 - 1167 vol.2, IEEE CNF

material

293 The role of electric machines and drives in the more electric aircraft
7-D

Weimer, J.A.

Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International

Volume: 1, 1-4 June 2003, Pages:11 - 15, vol.1, IEEE CNF

Motor Drive

294 Silicon carbide power device characterization for HEVs
7-A

Ozpinecil, B.; Tolbert, L.M.; Islam, S.K.;

Power Electronics in Transportation, 2002

Oct. 24-25, 2002, Pages:93 - 97, IEEE CNF

Power Electronics

295 High frequency power electronic systems are given by the newest generation of
7-P CoolMOS C3 together with SiC-Schottky diode

Lorenz, L.;

Power Conversion Conference, 2002. PCC Osaka 2002. Proceedings of the

Volume: 1, 2-5 April 2002, Pages:232 - 239, vol.1, IEEE CNF

Material

296 SiC devices for high voltage applications
7-P

Yoshitaka Sugawara

International Conference on SiC and Related Materials (ICSCRM 2003)

October 5-10, Lyon, France

297 A Pt/Ga/sub 2/O/sub 3//SiC Schottky diode based hydrocarbon gas sensor
7-S

Trinchi, A.; Galatsis, K.; Wlodarski, W.; Li, Y.X.;

Sensors, 2002. Proceedings of IEEE

Volume: 2, 12-14 June 2002, Pages:1115 - 1119 vol.2, IEEE CNF

diode

298 A Pt/Ga/sub 2/O/sub 3/-ZnO/SiC Schottky diode-based hydrocarbon gas sensor
7-S

Trinchi, A.; Galatsis, K.; Wlodarski, W.; Li, Y.X.;

Sensors Journal, IEEE

Volume: 3, Issue: 5, Oct. 2003, Pages:548 - 553, IEEE JNL

diode

299 Improved hydrogen-sensitive properties of MISiC Schottky sensor with thin NO-grown
7-S oxynitride as gate insulator

Xu, J.P.; Lai, P.T.; Zhong, D.G.; Chan, C.L.;

Electron Device Letters, IEEE

Volume: 24 , Issue: 1, Jan. 2003, Pages:13 - 15, IEEE JNL

diode

300 Numerical and analytical study of 6H-SiC detectors with high UV performance
7-S

Brezeanu, G.; Udrea, F.; Mihaila, A.; Amaratunga, G.; Millan, J.; Godignon, P.; Badila, M.; Draghici, F.; Boianceanu, C.; Brezeanu, M.;
Semiconductor Conference, 2002. CAS 2002 Proceedings. International

Volume: 1, 8-12 Oct. 2002, Pages:185 - 188 vol.1, IEEE CNF
diode

301 High temperature GaN based Schottky diode gas sensors
[7]-S

Ren, F.; Kim, J.; Gila, B.P.; Abernathy, C.R.; Pearton, S.J.; Baca, A.G.; Briggs, R.D.; Chung, G.Y.;
Compound Semiconductors, 2003. International Symposium

25-27 Aug. 2003, Pages:61 - 62, IEEE CNF
diode

302 Study of silicon carbide for X-ray detection and spectroscopy
7-M

Bertuccio, G.; Casiraghi, R.;

Nuclear Science, IEEE Transactions

Volume: 50, Issue: 1, Feb. 2003, Pages:175 - 185, IEEE JNL
diode

303 Silicon carbide radiation detector for harsh environments
7-R

Metzger, S.; Henschel, H.; Kohn, O.; Lennartz, W.;

Nuclear Science, IEEE Transactions

Volume: 49, Issue: 3, June 2002, Pages:1351 - 1355, IEEE JNL
diode

304 High temperature phases in protonated lithium niobate and tantalate properties [optical
[8] waveguide applications]

Kalabin, I.E.; Grigorieva, T.I.; Pokrovsky, L.D.; Atuchin, V.V.;

Electron Devices and Materials, 2003. Proceedings, 4th Annual 2003 Siberian Russian Workshop

1-4 July 2003, Pages:36 - 39, IEEE CNF
Power Electronics

番号 / 分類 論文名 / 著者名 / 出典 Vol. Issue 発行年月日 頁 キーワード

305 2003 International Symposium on Compound Semiconductors (Cat. No.03TH8675)
9

Compound Semiconductors, 2003. International Symposium

25-27 Aug. 2003, IEEE CNF

epitaxy

306 ISPSD'03. 2003 IEEE 15th International Symposium on Power Semiconductor Devices
9 and ICs Proceedings (Cat. No.03CH37456)

Power Semiconductor Devices and ICs, 2003. Proceedings. ISPSD '03. 2003 IEEE 15th International Symposium

14-17 April 2003, IEEE CNF

Material

307 Proceedings IEEE Lester Eastman Conference on High Performance Devices (Cat.
9 No.02CH37365)

High Performance Devices, 2002. Proceedings. IEEE Lester Eastman Conference

6-8 Aug. 2002, IEEE CNF

Material
