

炭化ケイ素(SiC)半導体エピタキシャルウェハ

量産化のための本格的産官連携体を構築

—カーエレクトロニクス・家電などのパワーデバイス産業の競争力強化に道筋—

平成17年 8月25日

独立行政法人 産業技術総合研究所

財団法人 電力中央研究所

昭和電工株式会社

■ ポイント ■

1. 産総研、電中研、SDKの3者で、SiC 高品質エピタキシャルウェハの量産化のための共同研究を開始。
2. この共同研究では、3 インチ以上、大口径複数枚の高品質エピタキシャル成長技術を実用機レベルで実証する予定。
3. 本研究の成果を元に、新たに組織される事業体(LLP)から平成18年10月を目途にウェハを供給していく予定。

■ 概要 ■

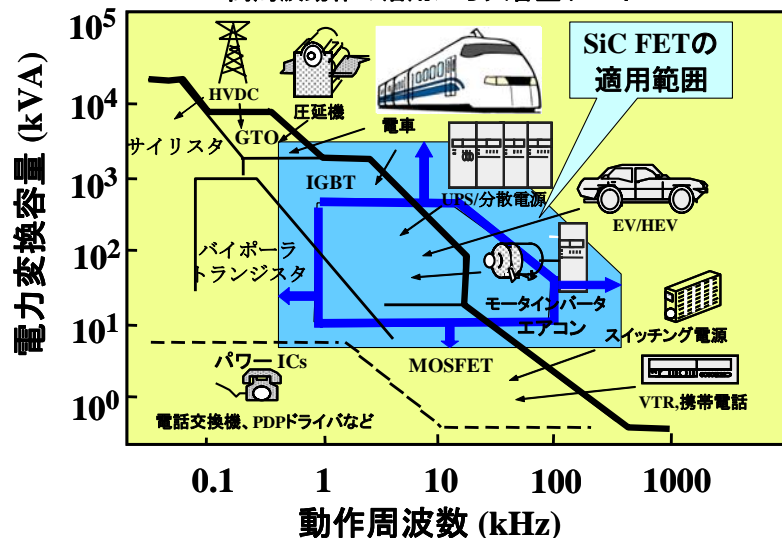
独立行政法人 産業技術総合研究所【理事長 吉川 弘之】(以下「産総研」)、財団法人 電力中央研究所【理事長 白玉 良一】(以下「電中研」)、昭和電工 株式会社【代表取締役社長 高橋 恭平】(以下「SDK」)は、この度、炭化ケイ素 (SiC) 半導体デバイス実用化の“ボトルネック”となっている高品質なエピタキシャルウェハの安定供給に関して、生産拠点の構築を目的に、その量産化のための技術開発を行う共同研究を開始いたします。

_____は別紙【用語の説明】参照

■ SiC 半導体の優位性と現在の問題点 ■

SiC 半導体は、優れた物理的・化学的性質を有することから、シリコン(Si)半導体を凌駕する小型・低損失の半導体デバイスの実現が可能とされています。電力、自動車、鉄道、家電と様々な分野に利用されている電力変換(直流⇄交流)用のスイッチングデバイスや、通信用の高性能・大電力高周波デバイスへの応用が期待されており、今後のエネルギー電力化率の増大を受け、省エネデバイス技術への寄与がきわめて大きい材料であります。

SiCデバイスの応用が期待される分野 —高周波動作の活用から大容量デバイスへ—



しかしながら、現状ではデバイス作製に用いられるエピタキシャルウェハの品質が十分ではないため、特に大面積チップの作製が困難であり、SiC の材料特性の有用性が発揮される大電流デバイスの実用化に大きな障壁となっております。

このエピタキシャルウェハは、高品質なバルクウェハの上に不純物濃度と厚みを精密に制御した SiC 薄膜を堆積して作製されるもので、大口径ウェハ上への高品質かつ均一な精密エピタキシャル成長技術が必要となります。

現在、SiC のバルクウェハに関しては、米国、ドイツ、日本等の企業が製品出荷を行っておりますが、エピタキシャルウェハに関しては、日本国内で安定的にウェハを供給できる企業がないため、我が国の SiC デバイス開発、更には SiC 電力変換器開発にとって大きな足かせとなっております。このため、国内における高品質 SiC エピタキシャルウェハ生産拠点の整備・構築が急務となっております。

■ 共同研究の技術的背景 ■

我が国の SiC ウェハ関連の技術開発としては、下記のような取り組みの中、研究レベルではデバイス品質のエピタキシャルウェハ作製技術が開発されております。

- ①平成 10～14 年度に経済産業省／新エネルギー・産業技術総合開発機構の「超低損失電力素子」プロジェクトが産総研を中心に行われ、SiC ウェハ技術及びパワーデバイス化プロセスに関する要素基盤技術開発に大きな進展がありました。(NEDO 成果報告書データベース <http://www.tech.nedo.go.jp/index.htm> 参照)
- ②電中研においては、高品質高速エピタキシャル成長技術及び大面積デバイスチップの開発が行われました。
- ③SDKは、上記プロジェクト及び自社研究によりバルクウェハに関する研究成果を挙げております。

今回、これらの技術開発成果をもとに、各種化合物半導体ウェハ事業で実績を有する SDK の参加を踏まえ、高品質均一エピタキシャル成長技術を 3 インチ以上の大口径複数枚同時処理可能の実用機レベルで実証することを目指して、産総研、電中研、SDK の 3 者が共同研究（総額約 6 億円規模の 3 年計画）を行うことで合意に至りました。

■ SiC エピタキシャルウェハ供給拠点ベンチャー ■

SiC 半導体パワーデバイスやこれを使った電力変換システム実用化のために不可欠なエピタキシャルウェハの生産拠点構築に対しては半導体デバイス企業からの要請と期待も大きく、本共同研究の成果を近々関係者で設立するウェハ生産を行うための事業体に技術移転し、国内への SiC 高品質エピタキシャルウェハ供給を平成 18 年 10 月を目途に開始する計画です。これらの活動を通して、我が国が世界の SiC マーケットをリードする状況を作り出し、新しい半導体産業を創出したいと考えております。

なお、このウェハ生産を担う事業体設立に際しては、ベンチャー起業促進を目指して今年 8 月 1 日から新たに施行された有限責任事業組合 (Limited Liability Partnership: LLP) 制度、および産総研の技術移転ベンチャー認定制度を活用することで、SiC ウェハ供給活動を効率的に立ち上げることを予定しております。

■ 補足説明資料 ■

1. 炭化ケイ素 (SiC) 半導体デバイス開発のねらい

現在、半導体デバイスの開発はシリコン (Si) 半導体を中心として行われており、CPU や DRAM を代表格に様々な分野や環境で使用されてきた。一方で、これまで半導体の使用が困難と考えられていた、高電圧や大電流、高温といった過酷な環境下においても、安定で安心して使用でき、しかも効率の良い半導体デバイスを開発することが要請されるようになってきている。例えば、

- 1) 発電所・変電所での電力変換から家電製品のインバータまでの幅広い範囲で使用されるようになってきた電力変換用パワーデバイスにおいては、省エネルギーの観点から、より小型化、低損失化、高効率化が求められている。
- 2) 今後更なる高出力化・高信頼性化が必要となる通信用の高周波デバイス、更には、自動車や人工衛星等で使用される耐熱・耐放射線性半導体デバイスに関しても、Si デバイスの限界を越える性能を持つデバイス開発が熱望されている。

これらの技術分野では、まさに Si を凌駕する物性を有する半導体材料を用いたデバイスの開発が必要となっている。

炭化ケイ素 (SiC) は、炭素とケイ素からなる化合物半導体の一種であり、Si に比べて、以下の特性を有する。

- 1) 電子の飽和ドリフト速度、絶縁破壊電界が一桁以上高い
- 2) 熱伝導度が三倍高い
- 3) 耐熱性・耐薬品性に優れる

これらの特性により、従来の Si 半導体よりはるかに小型、低損失、高効率のパワーデバイスや高周波デバイスが作製可能となる。このことから SiC は、超低損失の電力変換デバイス、高出力・高信頼性が必要となる携帯電話用基地局等で使用される高周波デバイス、更には、宇宙や原子力施設等の過酷な環境下で高い信頼性が要求される耐熱・耐放射線性デバイス用の半導体材料としての期待が大きい。

2. 現状技術の問題点と開発課題

SiC エピタキシャルウェハに関する現状技術の問題として、以下が挙げられる。

- 1) 要求されるデバイス仕様に対して結晶欠陥低減がまだ不十分なこと
- 2) 膜厚、不純物濃度がウェハ面内で一様でなく不均一なこと
- 3) エピタキシャルウェハ成膜の再現性もよくないこと

結晶欠陥については、従来大きな問題として指摘されていたマイクロパイプと呼ばれる孔状の欠陥の密度が最近では大変少なくなったのに加え、バルクウェハに存在するマイクロパイプ欠陥をエピタキシャル成長中に閉塞させる技術の開発も進んでいる。しかし、「転位」を始めとする結晶欠陥はまだ多く、耐圧等の素子特性の阻害要因となっている。特に転位欠陥の低減と、不純物濃度のウェハ面内ばらつき低減、再現性の向上が SiC デバイス実用化にとって重要である。

また、SiC ウェハにはその結晶構造から、Si 面、C 面の2種類の面が存在するが、エピタキシャル成長のしやすさから今までほとんどのデバイス開発は Si 面を用いて行われてきた。

ところが最近、C面を用いることによりデバイス特性が飛躍的に向上することが見いだされた。このことから、実用的には大口径ウェハを用いたC面上への均一なエピタキシャル成長技術の重要性が増している。

本共同研究においては、上記の課題について重点的に取り組む予定である。

3. 事業の意義

Si半導体でもSiトランジスタの黎明期においては、各デバイスメーカーはデバイス製作の各プロセス技術だけでなく、結晶のバルク成長からエピタキシャル成長まで含めて自ら実施していたが、その後、ウェハ作製は素材業界のウェハ専門メーカーに分業するようになった。

現在国内パワーデバイスのメーカーには、研究開発のための十分な体力がなく、自前でSiCバルク・エピタキシャルウェハの研究開発、並びに製作をする余裕がなくなっている。その結果、デバイス作製のためのSiCエピタキシャルウェハの調達をほとんどを米国企業に依存しなければならない状況に陥っており、価格、納期、及び品質の面でSiCデバイス並びに電力変換器開発の支障となっている。更に、安定供給に対する不安から製品化も進まないのが現状である。このSiC製品化のボトルネックを解消するところに、本事業の意義がある。

■本件に関する問い合わせ先■

独立行政法人 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 奥村 元 h-okumura@aist.go.jp

TEL : 029-861-5431 FAX : 029-861-5032

(プレス発表/取材に関する窓口)

独立行政法人 産業技術総合研究所 広報部

広報業務室 菅原 敏之

〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

つくば本部・情報技術共同研究棟 8F

TEL : 029-862-6216 FAX : 029-862-6212 E-mail : presec@m.aist.go.jp

財団法人 電力中央研究所

〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1

TEL : 03-3201-6601 FAX : 03-3287-2863 URL : <http://criepi.denken.or.jp/jp/inquiry.html>

昭和電工株式会社 広報・IRグループ

〒100-8518 東京都港区芝大門 1-13-9

TEL : 03-5470-3235 FAX : 03-3431-6442 E-mail : sdk_prir@sdk.co.jp

用語の説明

◆ エピタキシャル成長、エピタキシャルウェハ

SiC デバイスを作製するには、作製したデバイスが設計通りの良好な動作をするように、高品質且つ制御された厚み、不純物濃度の SiC 単結晶薄膜を上記バルクウェハ上に堆積する必要がある。この単結晶 SiC 薄膜を形成させることをエピタキシャル成長と言い、SiC では通常 CVD (Chemical Vapor Deposition・化学気相成長)法が用いられる。バルクウェハ上にエピタキシャル成長によって薄膜を堆積させたものがエピタキシャルウェハである。エピタキシャル成長では、バルクウェハを作製する昇華法に比べると、より低温でゆっくり結晶成長が進行する。

◆ バルクウェハ

ウェハを量産する方法として、SiC では昇華法を用いた高速結晶成長技術が使われている。成長したインゴットを所定の厚み（数百マイクロメートル）にスライスし、研磨を施したものがバルクウェハである。通常 2000°Cを越す温度で高速成長させるため、不純物が入りやすく、また結晶欠陥を生じやすい

◆ 「超低損失電力素子」プロジェクト

我が国では、SiC の優れた材料特性に着目し、Si を駿駕するパワーデバイス実現の基礎開発のため、通商産業省のプロジェクトとして新エネルギー・産業技術総合開発機構の管理の下、1998年～2002年度の5年間に渡って、SiC の結晶成長、デバイス作製に必要な各種プロセス技術、素子設計・評価の基礎技術、要素技術に関する技術開発が行われた。

研究開発体制としては、基盤となる要素技術開発に関しては研究員を一カ所に集める集中研方式で、また基本デバイス実証に関しては持ち帰り型の分散研方式で実施された。集中研は、当時の電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所つくばセンター）に拠点が置かれ、参画企業群からの出向研究員と電子技術総合研究所研究員が参画する共同研究の形で進められた。分散研は、三企業（後に四企業）でそれぞれ実施された。本事業において用いられる産総研のエピタキシャル成長技術は、このプロジェクトの成果が基礎となっている。

◆ 有限責任事業組合 (Limited Liability Partnership:LLP)

欧米では以前から、「出資者が出資額までしか責任を負わない有限責任」、「出資者自らが共同して経営を行い、損益配分を柔軟に決める内部自治原則」、「出資者に直接課税し、法人と出資者への配分利益に二重に課税されない」という三つの特徴を持つ事業体制度があり、ベンチャー企業の新規創業を促し、またジョイントベンチャー推進等に寄与している。

英国ではこの LLP (Limited Liability Partnership) が既に一万社を越し、米国では、LLP に法人格を認めた LLC (Limited Liability Company)がこの 10年で 80万社誕生している。

日本においては、この三つの特徴を兼ね備えた事業体形態は今まで存在しなかったが、各種研究開発成果の事業化等に基づく新規創業の促進、創造的な連携事業の促進を意図して、民法組合の特別制度としての日本版 LLP 法案が経済産業省から国会に提出され、本年 4月に成立し、8月 1日から施行された

(<http://www.meti.go.jp/press/20050726001/20050726001.html> 参照)。また同様に、日本版 LLC

法案も、会社法における会社の一類型として法務省から今国会に提案されて成立しており、来年度からの施行が見込まれる。

◆ 産総研の技術移転ベンチャー

産総研の技術開発成果実用化促進のための支援策の一つ。産総研の研究成果を活用した事業を実施する企業について、個別申請を審査し「産総研技術移転ベンチャー」の称号を付与。当該企業に対し、以下のような幅広い支援を行うもの。

- ・ 知的財産権の一部譲渡、専用実施権の設定、独占的実施権の許諾、再実施権の許諾、実施権の許諾に係る契約一時金の免除
- ・ 施設・研究装置等の使用許可及び使用料の軽減
- ・ 研究員の受入及び負担経費の軽減
- ・ 住所の使用許可
- ・ 弁護士や公認会計士等専門家への相談機会の確保
- ・ 研修やセミナーへの参加機会の確保
- ・ 技術情報の提供 など

◆ 転位

結晶がその中のある面に沿ってずれることによって生じる結晶欠陥の一種。ずれを生じる面、ずれの方向と結晶軸の関係によって、螺旋転位、刃状転位、基底面内転位等に分類される。SiC デバイスでは、PiN ダイオードにおいてその特性劣化が基底面内転位に関係することがわかっている。