

プレスリリース

低損失パワー半導体用の高品質 SiC 単結晶膜の高速製造技術を確立

～電力中央研究所とデンソー、昭和電工が技術開発～

2015年5月12日

一般財団法人 電力中央研究所

株式会社 デンソー

昭和電工 株式会社

一般財団法人電力中央研究所（以下、電中研）、株式会社デンソー（以下、デンソー）、昭和電工株式会社（以下、昭和電工）は、共同で、新しい低損失パワー半導体用の素材である SiC^{*1} 単結晶膜【図1】の高品質・高速製造技術を確立しました。今後、高品質 SiC 単結晶膜の製造に同技術を用いていくとともに、ハイブリット車（以下、HV）などのモーター駆動力を制御するパワーコントロールユニット（以下、PCU）や、電力系統における周波数変換などの電力制御機器への適用を目指します。

（研究協力者として車載仕様への助言、評価をトヨタ自動車株式会社、株式会社豊田中央研究所（以下、豊田中研）より受けて、技術開発を進めました。）

【技術開発の背景とこれまでの取り組み】

SiC 単結晶は、現在のシリコン単結晶よりも電力損失が少なく、機器の高効率化が可能な半導体材料であり【図2】、1980年代から国内外で材料技術や素子技術の開発が進められてきました。

電中研では1990年代初頭より、SiC パワー半導体^{*2}の電力系統適用を目指し、高電圧に耐えることができる高品質かつ厚膜の SiC 単結晶膜の高速製造技術の基礎研究に取り組んできました。デンソーでは、1980年代から基礎研究を始め、1992年からは豊田中研と車載応用に向けた SiC 単結晶膜、SiC 単結晶ウェハ、SiC デバイスの技術開発を進めてきました。一方、昭和電工は、2005年から SiC 単結晶膜の製造技術開発に取り組み、現在国内では最大規模となる SiC 単結晶膜の生産を行っています。

最近、一部の家電機器、産業機器、鉄道において、SiC パワー半導体の実用化が果たされるに至りましたが、HV や、電力系統への適用に向けては、高品質な SiC 単結晶膜を高速に製造する生産技術が確立されていませんでした。

この課題の解決に向けて、電中研とデンソーは、2009年から高品質 SiC 単結晶膜の高速製造技術の開発に共同で取り組み、株式会社ニューフレアテクノロジーと共同で新型の枚葉式 SiC 単結晶膜製造装置【図3】を開発するとともに、2013年までに同装置を用いた大口徑・高速 SiC 単結晶膜製造の基礎技術を確立しました（2013年10月に国際会議 ICSCRM2013で報告）。2013年からは、昭和電工が共同開発に参加し、高品質 SiC 単結晶膜の高速製造技術の開発を進めてきました。

【今回の技術開発による成果】

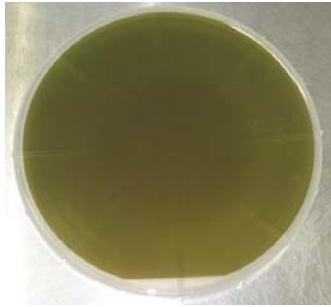
このほど電中研、デンソー、昭和電工は、直径 150 ミリメートル、膜厚均一性 2 パーセント以下、ドーピング（不純物）密度均一性 4 パーセント以下（標準偏差を平均値で割った値、膜厚は外周 3 ミリメートル、ドーピング密度は外周 6 ミリメートルを除く）と従来比約 3 倍優れた均一性を有する高品質 SiC 単結晶膜を 1 時間あたり 50 マイクロメートル以上と従来比 5～10 倍の高い成膜速度で製造できる技術の開発に成功しました【図 4】。SiC 単結晶膜の製造過程で生成される欠陥密度は、光学式表面検査装置による欠陥検査で 1 センチメートル四方あたり 0.02 個（直径 150 ミリメートル単結晶膜中のダウンフォール^{*3}、立方晶欠陥の合計値）と従来比 1/5 以下、発光解析による欠陥検査で 1 センチメートル四方あたり 0.05 個（高品位基板上の直径 75 ミリメートル単結晶膜中の各種積層欠陥の合計値）であることを確認しました【図 5】。これにより、膜厚 10 マイクロメートル換算で、1 装置で 1 日あたり 100 枚の直径 150 ミリメートル高品質 SiC 単結晶膜の製造が可能となりました。また、製造装置内の消耗品の高耐久化や、メンテナンス頻度の低減など、量産化、低コスト化のための技術も高めました。今後、高品質 SiC 単結晶膜の製造に本技術を適用していく計画です。

【成果の社会での活用に向けた取り組み】

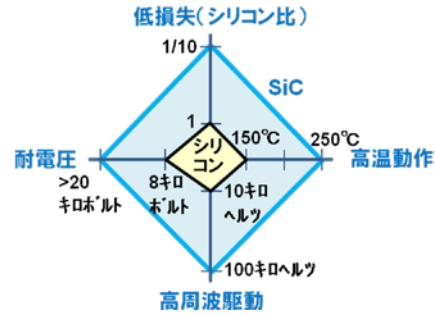
電中研では、2014 年に国の最先端研究開発支援プログラム「低炭素社会創成に向けた炭化珪素（SiC）革新パワーエレクトロニクスの研究開発」において、開発した製造技術を応用して 10 キロボルト以上の超高耐電圧 SiC パワー半導体に適用可能なレベルの直径 150 ミリメートル SiC 単結晶膜（膜厚 160 マイクロメートル）の実証^{*4}に成功しています。今後、現行の国家プロジェクト^{*5}に参加しつつ、高耐電圧・低損失 SiC パワー半導体の電力システムへの適用を目指していきます【図 7】。デンソーでは、新しい素材である SiC によるパワー半導体の開発を進めており、今後、本開発技術による高品質 SiC 単結晶膜を用いて、車載向け SiC パワー半導体の早期実用化に向けた開発を加速していきます。SiC 単結晶膜を生産する昭和電工では、2014 年に生産能力を増強するとともに、低欠陥化を進め均一性を向上させた新グレード製品の出荷を開始し、すでにデータセンターのサーバー電源、新エネルギーの分散型電源、地下鉄車両などに採用されていますが、送電、自動車、高速鉄道など、一層の大電流容量が求められるモジュール向けに、本開発技術の適用を目指していきます。

【注釈】

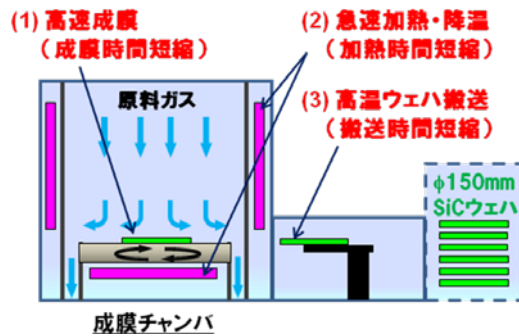
- *1 Silicon Carbide（炭化珪素）、シリコンと炭素の化合物
- *2 パワー半導体は電力変換装置（インバータ）に利用され、家電製品、電気自動車、電力系統等で用いられている。SiC の活用により従来型の Si（シリコン）半導体と比較し電力損失が低減されることが期待されている。
- *3 単結晶膜表面に現れる欠陥。光学顕微鏡観察では粒子状のものが表面に観察される。膜成長時に炉の内壁などに存在する SiC の粒子が膜表面に降って、付着することで形成される。
- *4 「低炭素社会創成へ向けた炭化珪素（SiC）革新パワーエレクトロニクスの研究開発」最終成果報告会（2014 年 3 月 14 日、東京国際フォーラムホール）
- *5 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100090.html <http://www.nedo.go.jp/content/100584077.pdf>



【図1】
直径 150 ミリメートル SiC 単結晶膜
(エピタキシャルウェハ) の写真

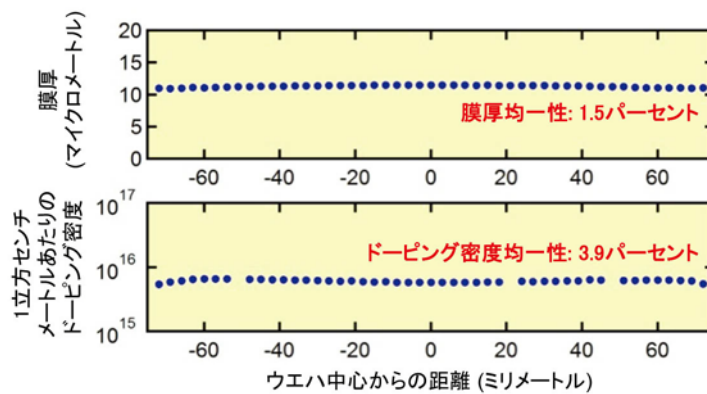


【図2】
従来型シリコンパワー半導体と SiC パワー半導体の性能比較
(損失 1/10、耐電圧 2.5 倍、駆動周波数 10 倍、動作温度 100°C
高と従来型シリコンパワーより優れている)



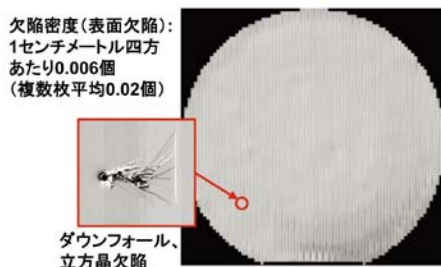
(1) - (3) の効果によって、2 チャンバ構成で、直径 150 ミリメートルの SiC ウェハを毎時 4 枚 (1 日あたり 100 枚) で高速処理できる装置を実現

【図3】 新型・枚葉式 SiC 単結晶膜製造装置の外観写真と模式図

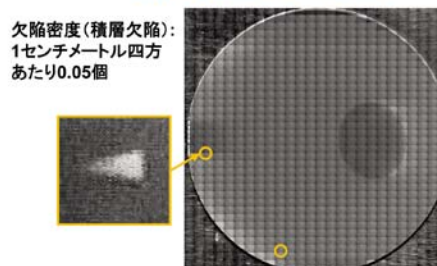


【図4】 直径 150 ミリメートル SiC 単結晶膜の膜厚ならびにドーピング密度均一性
(成膜速度: 1 時間あたり 54 マイクロメートル)

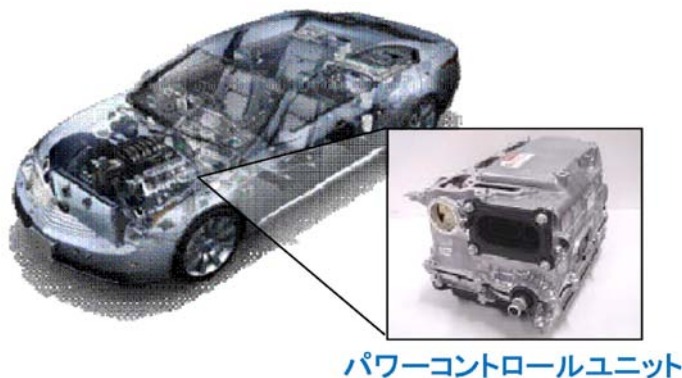
光学式表面検査装置による検査結果
(直径150ミリメートル単結晶膜)



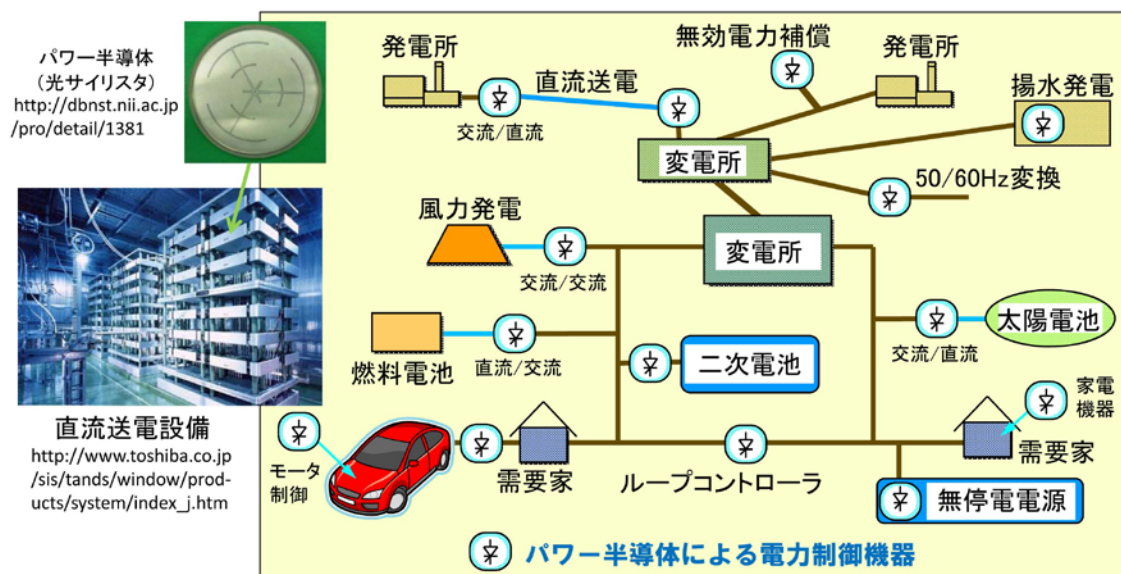
発光解析による検査結果
(直径75ミリメートル単結晶膜)



【図5】 SiC 単結晶膜の欠陥密度の評価結果



【図 6】 SiC パワー半導体の HV への適用イメージ



【図 7】 SiC パワー半導体の電力系統への適用イメージ

本製造技術がベースとなり、国内で高品質 SiC 単結晶膜がより安定的に低コストで量産出来る体制が確立されれば、今後 SiC パワー半導体を用いた分散型電源連系機器・直流送電機器・周波数変換機器・無効電力補償機器など種々の電力用機器の開発を進めることができ、それらの高効率化や小型化が期待できる。

また、そうした機器類が、現状の Si 半導体機器に代替して将来的に広く社会に普及した際には、電力輸送から消費までにおいて電力損失の大幅な低減が期待出来る。

詳細については [別添資料](#) をご参照ください。

お問合せ [こちら](#) からお願いいたします。

※本件は、エネルギー記者会でレク付き資料配布致しております。