

結晶絶縁膜を利用した SiCパワーデバイスの性能向上

東京工業大学 科学技術創成研究院

特任准教授 松下 雄一郎

令和2年11月17日

SiCパワーデバイス

エアコン (三菱、ダイキン 2010~)
太陽電池用パワコン、サーバー電源



電気自動車 (EV) にSiC
MOSFET + SBD搭載



HONDA FCV
販売 (SiC搭載)

TESLA, Model 3

TESLA Model 3 はベストセラー
(月産 2~3 万台)

<http://www.honda.co.jp/news/2016/4160310.html>

<https://www.statista.com/chart/16948/total-number-of-premium-cars-sold-in-the-us/>

鉄道 (小田急/東京メトロ/JR山手線/環状線など)



MITSUBISHI
ELECTRIC
Changes for the Better



3300 V - 1500 A SiCモジュール

走行電力 20~36% 低減

変換器体積 80% 低減

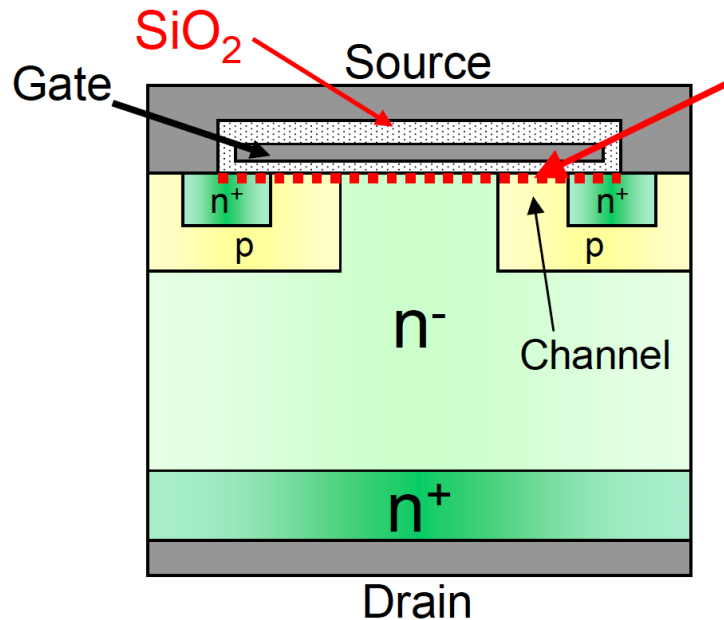
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2014/0430.html>

エレベータ、急速充電器、
高周波加熱用電源 など応用拡大

Si パワーデバイスをSiCが置き換えることにより電力損失の大幅な低減可

SiC-MOSデバイスの問題点

MOSFET (単位セル)の断面図



- バルクの移動度が1000 (cm²/s)である一方、SiC/SiO₂界面の移動度は10 (cm²/s)程度しかない。ベストなものでも100 (cm²/s)程度。
- SiC/SiO₂界面特性によるものと考えられる
- 微視的メカニズムは謎

今回の発明内容:

理論計算により、

- 結晶絶縁膜(MIS構造)を用い、かつ(低オフ角、またはオン角)SiC基板のを用いることによる、SiCデバイスの**大幅な移動度の改善法**。
- 理論計算の結果をご紹介させていただきます。
- 産学連携(ライセンスor共同研究など)も希望しております。

従来技術とその問題点

既に実用化されているSiC-デバイスには2つの問題がある。

(1) SiC/SiO₂界面に残留炭素欠陥が発生

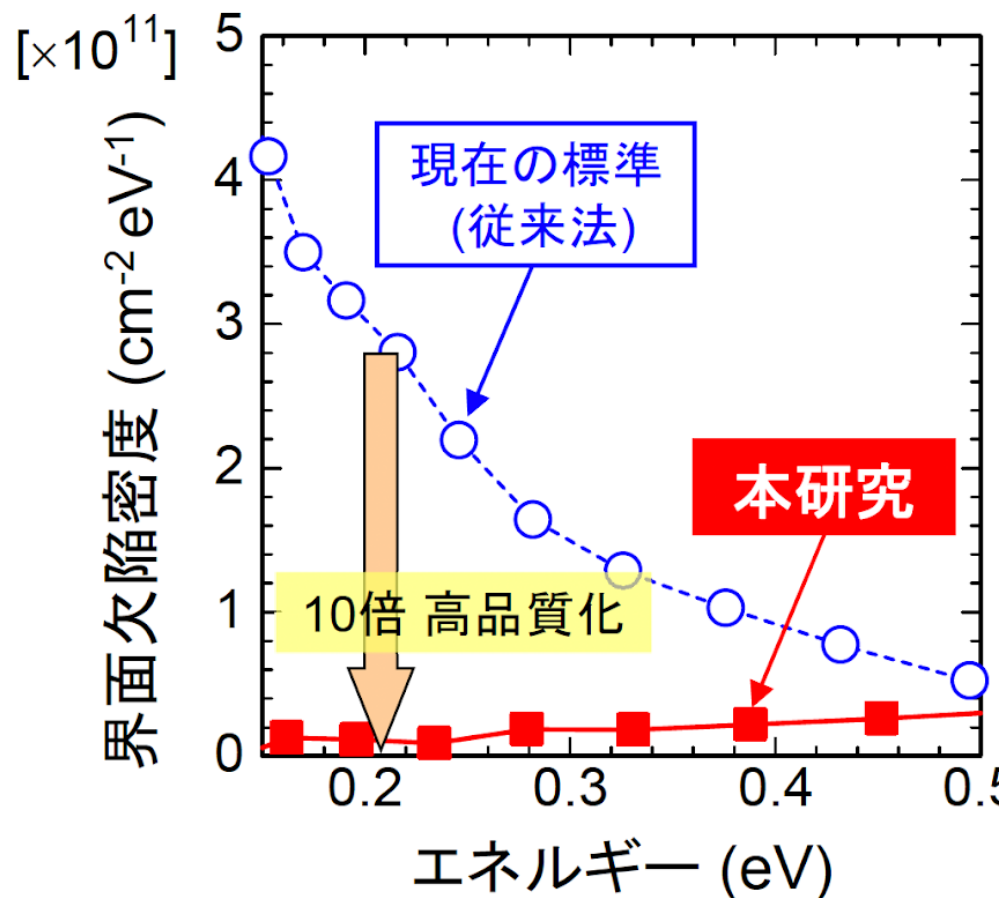
(2) SiC/SiO₂界面に原子レベルの界面構造揺らぎが発生

これら問題がデバイス特性に深刻な影響を及ぼすことがわかった。

従来技術とその問題点

(1) SiC/SiO₂界面に残留炭素欠陥が発生

SiO₂/SiC界面の欠陥密度の比較



10倍の高品質化に成功

APEX 13, 091003(2020).

従来技術とその問題点

(2) SiC/SiO₂界面に原子レベルの界面構造

まだ検証・詳細な解析がなされていない。

	理想(0001)面・ 理想(000-1)面	理想(10-10)面	(000-1)面withラフネス	理想(0-33-8)面
有効質量	0.3m ₀	0.3m ₀	1.8m ₀	1.7m ₀
	一原子層レベルでSiCの界面構造の平坦性が制御されるとバルクの有効質量そのもの		界面においてSiCの原子構造の平坦性が乱されるとバルクの有効質量から激しく増大	
界面近傍における SiC の有効質量は界面構造に大きく依存する。				

原子レベルで界面構造にラフネスが発生すると、キャリアの移動度に大きく影響が出てくることがわかった。(有効ポテンシャル揺らぎの発生)

従来技術とその問題点

有効ポテンシャル揺らぎの理由は？

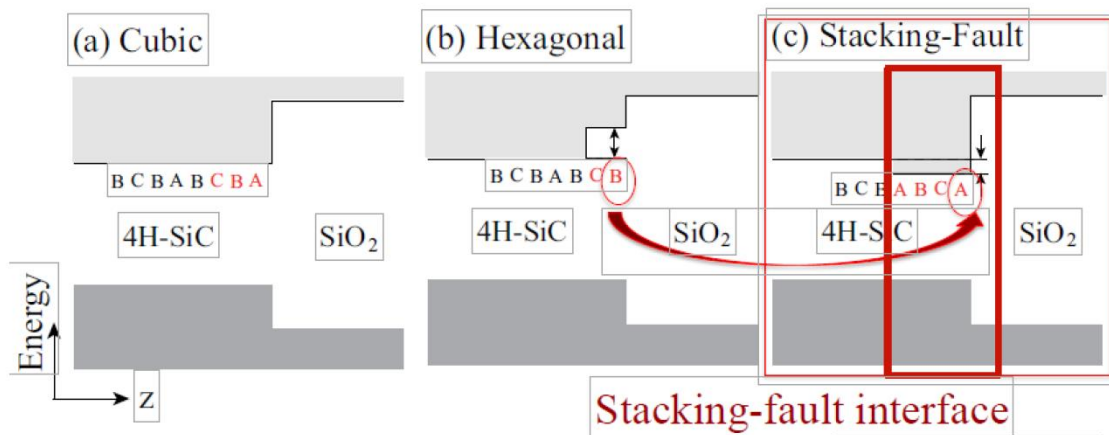


図 3. SiC/SiO₂ 界面と積層欠陥構造

たった 1 層分の界面積層構造の違いが界面準位に大きな影響を及ぼしている。

SiCで知られている、バンドギャップの大きな多形構造依存性と関係。
(SiCのバンドギャップは多形構造に依存して40%も変化する。)

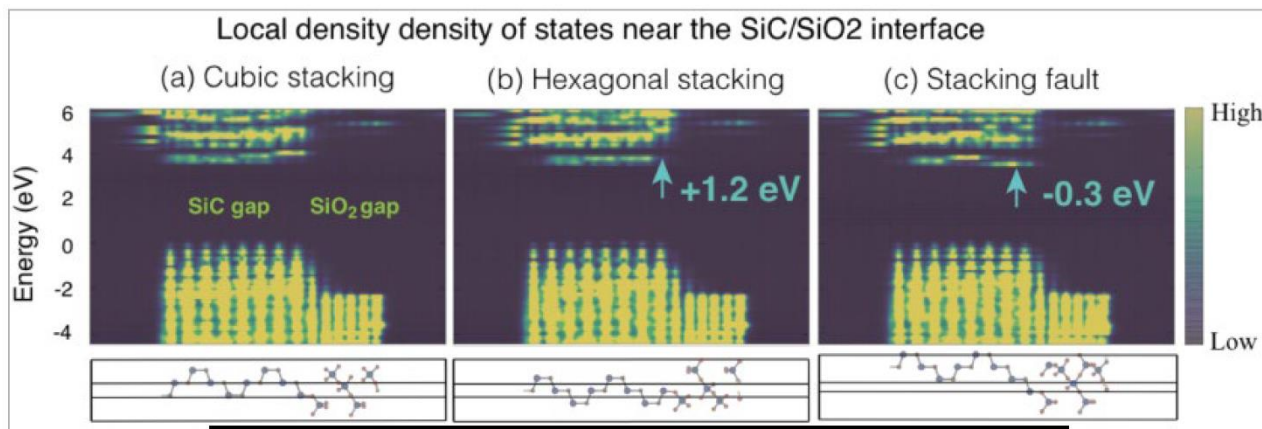


図 4. 積層欠陥が誘起する界面付近のエネルギーレベル

Nano Letters 17, 6458-6463 (2017).

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術の問題点であった、界面構造ラフネスの由来は何か？

(1) 絶縁膜としてSiO₂(アモルファス)を用いている点

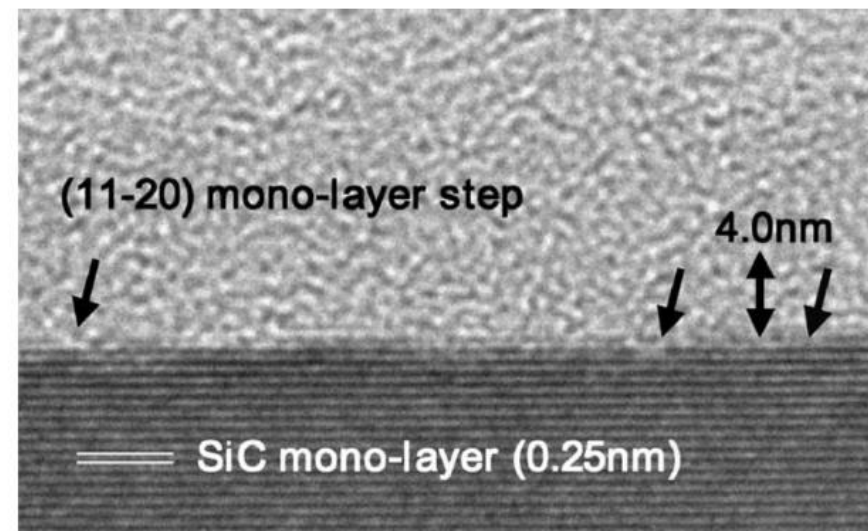
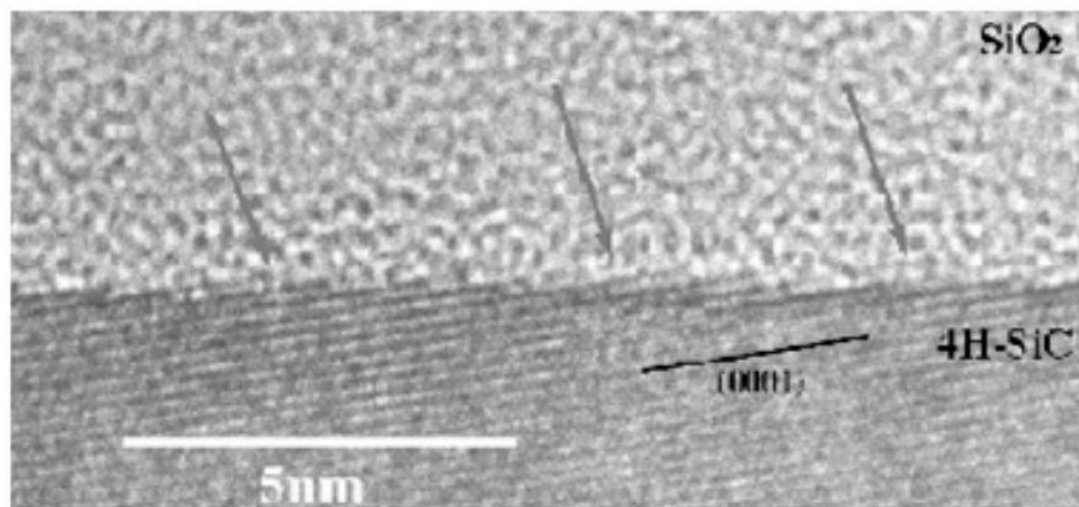
- ・アモルファスであり界面構造に規則性(周期性)がない
- ・SiCとSiO₂の表面原子密度に差がある

(2) SiCオフ角基板を用いている点

- ・ステップ構造が存在する

新技術の特徴・従来技術との比較

- (1) 絶縁膜としてSiO₂(アモルファス)を用いている点
- (2) SiCオフ角基板を用いている点



AISTのHP:
<https://unit.aist.go.jp/adperc/cie/teams/wpt.html>

Surf. Sci. **600**, 547 (2006).

界面ラフネスが発生

新技術の特徴・従来技術との比較

(1) 絶縁膜としてSiO₂(アモルファス)を用いている点

-> 結晶絶縁膜を用いる. 格子整合の良い結晶絶縁膜の利用.



(2) SiCオフ角基板を用いている点

-> SiCオン角基板、または低オフ角基盤の利用・フラット化技術も既知技術により実現化

企業への期待

- SiCパワーデバイスを開発中の企業様には、本技術の導入が有効と思われる
- 企業様との共同研究も希望
- 理論計算による電子デバイス開発の共同研究も希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 炭化ケイ素半導体装置及びその製造方法
- 出願番号 : 特願2019-140141
- 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 松下雄一郎

お問い合わせ先

東京工業大学
研究・産学連携本部

TEL 03-5734-3817

FAX 03-5734-2482

e-mail sangaku@sangaku.titech.ac.jp