

次世代パワー半導体デバイス開発における材料学的課題

Materials-related Issues for Development of Next-generation Power Semiconductor Devices

物材機構 ○小出康夫

NIMS °Y. Koide

E-mail: koide.yasuo@nims.go.jp

今日、我が国は電力エネルギー供給体制を見直す段階に入っており、ベストミックスされた分散型発電とスマートグリッドの普及が進む方向にある。これら電力変換が頻々に行われる電力供給システム構築に向けて、パワーデバイスの更なる高性能化が切望されている。現在ほとんどのパワーデバイスはシリコン（Si）を用いて製造されているが、高性能化はその材料限界に制限されつつある。次世代パワー半導体材料として、市場拡大が期待される炭化シリコン（SiC）および窒化ガリウム（GaN）、更には次々世代材料として酸化ガリウム（Ga₂O₃）およびダイヤモンドが注目されている。パワーデバイスの市場適用範囲は、高速化の指標として動作周波数を横軸に、大容量化の指標として出力容量を縦軸に議論され、高速化と大容量化を同時に実現することが高性能化の目指すべき方向である。SiC は Si-IGBT を高速化・大容量化する領域、および Si 基板上 GaN（GaN-on-Si と表記）は Si-MOSFET を高速化する領域において既に少しの量産の段階に入っている。表 1 に、期待される種々パワー半導体材料の市販ウェハに関する結晶成長技術の比較を示す。候補パワー半導体材料の中では SiC がウェハ技術およびエピ成長技術ともに一步先んじている。本講演では、それぞれの半導体材料、ウェハ技術、および電子デバイスの現状と材料学的課題を中心に言及する。

表 1． 種々パワー半導体材料の市販ウェハおよび結晶成長技術の比較

		Si	SiC	GaN	Ga ₂ O ₃	ダイヤモンド
ウェハ技術	結晶成長法	FZ/6インチ	昇華法	ハイドライド気相成長(HVPE)	気相成長, 溶液成長	高温高圧, プラズマ気相成長(CVD)
	サイズ	CZエピ/8インチ	4~6インチ	2~4インチ	1~4インチ	3mm~1インチ
価格		<0.2千円/インチ ²	10-20千円/インチ ²	30-100千円/インチ ²	50-100千円/インチ ²	>300千円/インチ ²
欠陥(転位)密度		無	マイクロパイプ無 10 ³ ~10 ⁴ /cm ²	10 ⁴ ~10 ⁶ /cm ²	10 ³ ~10 ⁴ /cm ²	10 ³ ~10 ⁶ /cm ²
耐圧保持層エピ エピ成長速度		FZ	CVD 40-60μm/h	MOCVD <5μm/h	HVPE <5μm/h	MPCVD 1~10μm/h 最大150μm/h
必要エピ厚さ(Si=1)		1	0.05~0.1	0.03~0.06	0.05~0.1	0.015~0.03
必要エピ厚/エピ成長速度 ~エピコスト(SiC=1)			1	6~7	6~8	0.1~4
技術課題	サイズ	◎	大型化可能	大型化めど	大型化可能	モザイク基板
	欠陥	◎	欠陥解析進展	欠陥調査中	欠陥調査中	△
	その他		低価格化, 国産化	低価格化, 半絶縁基板	低価格化, 熱制御	低価格化, 低抵抗基板, 表面研磨

謝辞 本講演の一部は、文部科学省「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発（評価基盤領域）」の成果を含む。