

電子デバイス用大口径窒化ガリウム材料の開発

研究者：江川 孝志 名古屋工業大学 大学院工学研究科 教授
開発企業：大塚 晃 DOWAエレクトロニクス株式会社 代表取締役社長
(推薦者：高橋 実 名古屋工業大学 学長)



江川 孝志 氏



大塚 晃 氏

1. 技術の背景

持続可能な社会形成のため省エネルギー化が重要視されている。日本の一次エネルギー消費量は石油換算で4.7億トン/年、二酸化炭素発生量は13.5億トン/年であり、このうちの36%が家電、空調、モーターを用いる産業機器、電車などの生活必需品に使用され、これらにはシリコン(Si)を材料とするパワー半導体を使用されている。

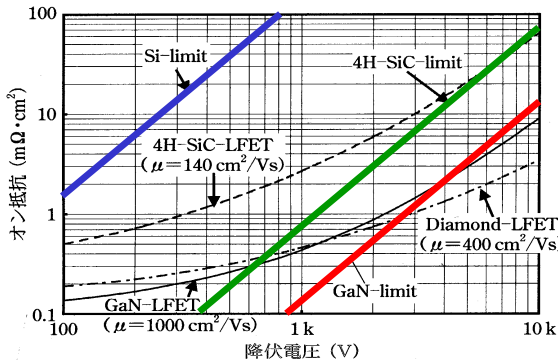
これらパワー半導体の消費電力の削減は省エネルギー化に有効であるが、現在主流のパワー半導体は、材料であるシリコンの物性による特性限界が近づいており、より一層の省エネルギー化のためには、新たな材料によるパワー半導体の実現が求められている。

本技術は、新たな材料である窒化ガリウム(GaN)によるパワー半導体を実現するための結晶成長技術と、大口径化に関するものである。

2. 技術の概要

パワー半導体材料には、①電気抵抗が低いこと、②降伏電圧が高いことが要求される。①は消費電力削減に効果があり、②はより高耐圧のパワー半導体が作製できることに加え、デバイスの小型化に有効である。

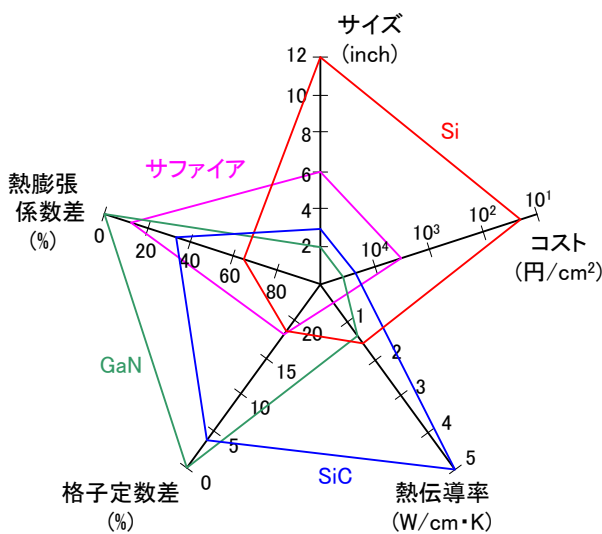
これらの特性を総合的に判断する性能指数としてバリガ指数(BFM)が上げられ、バリガ指数の検討からGaNがパワー半導体用の新規材料として有望であることが分かる。(図1)



材料	Eg	ε	μ	Ec	BFM
	eV		cm²/Vs	10 ⁶ V/cm	εμEc ³
シリコン	1.1	11.8	1350	0.3	1
窒化ガリウム	3.39	9.0	900	3.3	650
炭化ケイ素	3.26	10	720	2.0	130

図1 半導体材料の抵抗、降伏電圧およびバリガ指数

GaNはパワー半導体に先駆けて青色LED材料として1990年代から開発が進められた。LEDやパワー半導体を作製するためには、結晶成長という方法で半導体構造を作製する。特性と価格を両立できる基板の実現は難しく、基板材料の選択を含め、結晶成長技術の向上が特性向上に大きく寄与する。名古屋工業大学は、図2の比較表からシリコン基板上のGaN結晶成長が、特性とコストの両面からパワー半導体に最適であると考え、同技術の開発に取り組んだ。



	大口径化	コスト	高出力化	総合評価
GaN/Si	◎	◎	○	◎
GaN/SiC	△	△	◎	○
GaN/サファイア	○	○	△	△
GaN/GaN	△	△	○	△
SiC	△	△	◎	○

図2 GaN結晶成長用基板の比較

シリコン基板上へのGaN結晶成長の課題は、結晶成長自体の困難さの克服に加え、パワー半導体として要求される高耐圧特性と大口径シリコン上への高品質な結晶成長の両立が上げられる。

結晶成長自体の課題は、主材料であるガリウム(Ga)とシリコン基板が結晶成長初期において反応し、その結果、成長層表面の異常と、大きなそりやクラック(ひび割れ)の発生である。

名古屋工業大学では、従来の低温成長AlN緩衝層ではなく、高温成長によるAlGaN/AlN中間層を開発し、シリコン基板上に良好なGaN層の結晶成長が可能なことを示した。(図3)

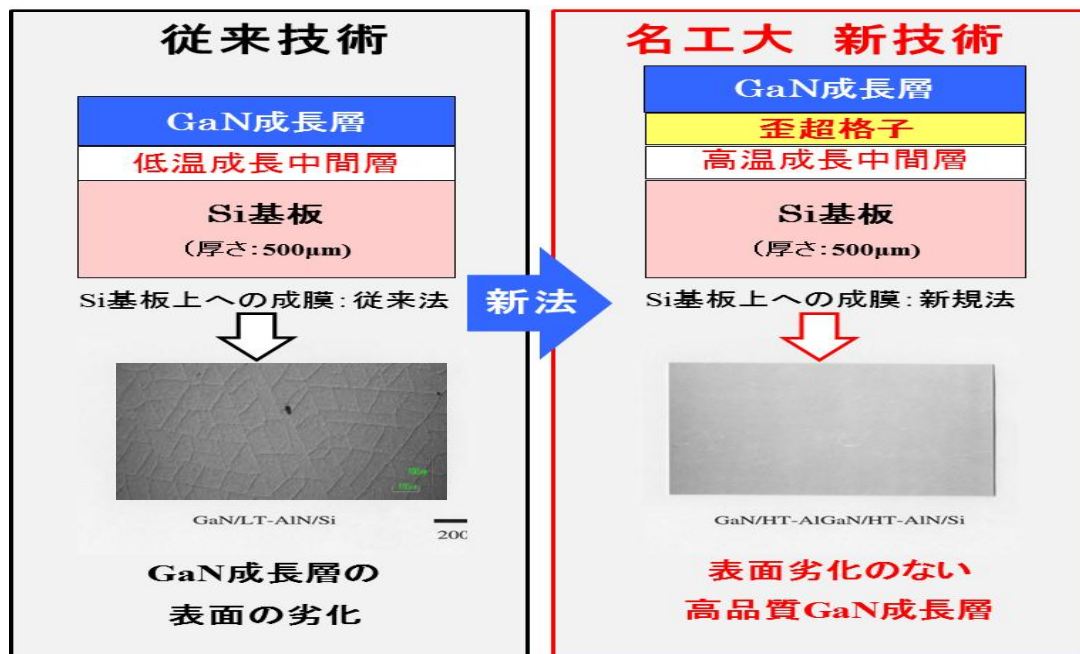


図3 高温成長中間層及び歪超格子を用いた結晶成長の結果

そりやクラックについては、GaNとシリコンの格子定数差と、熱膨張係数差により発生するものであるが、図4に示すように、歪超格子層を導入することにより応力を制御して、5 μmを超える厚い成長膜を得ることに成功した。

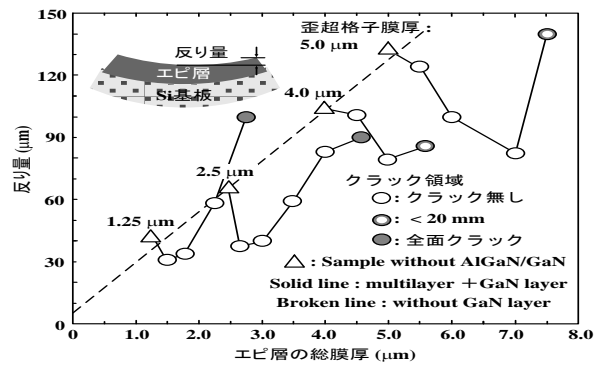
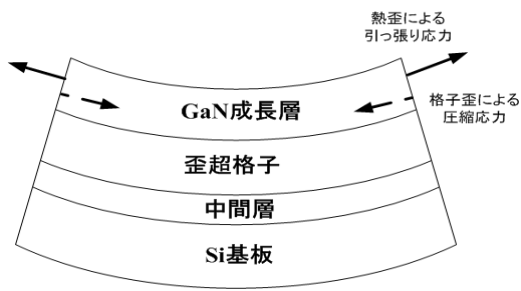


図4 歪超格子層によるクラック及びそりの改善

DOWAエレクトロニクス株式会社では、名古屋工業大学の技術を用いて、6インチサイズの結晶成長技術の確立を行った。半導体産業は、大口径基板による製造がコストダウンに直接寄与する産業であり、基板の大口径化が製品化や事業化において非常に重要な技術となる。

大口径化における課題は、製品に要求される600Vを超える耐圧特性と、そりの低減の両立であった。半導体デバイスの製造プロセスでは、50μm以下のそり量が要求されるが、初期の結晶成長では、2倍の100μmを超える大きなそりがあった。結晶成長条件の最適化により、50μm以下のそりと、1,000Vの耐圧の両立を実現し、ユーザーでの評価を進めている。

3. 効果

シリコン基板上のGaNによるパワー半導体の特性は、従来のシリコンによるパワー半導体を上回ることが確認されており、省エネルギー化のキーデバイスとして市場の拡大が見込まれる。今後はパワー半導体に加え、携帯電話の基地局など、高周波用デバイスへの用途の拡大も期待されている。

シリコン基板上のGaNは、研究開発段階から日本が世界をリードしてきた技術であり、大口径化と量産技術を確立したことから、日本の半導体産業の再生と拡大に大きな役割を果たすことが期待でき、産業面のみならず社会的な貢献も大きいと言える。