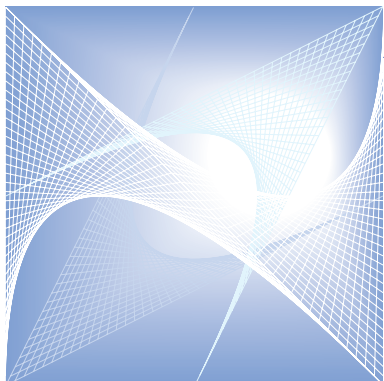


窒化物半導体

電子デバイス

パワートランジスタ



## 未来を拓く先端技術

### Si基板上窒化物半導体の結晶成長技術

おだ やすひろ わたなべ のりゆき<sup>※</sup> こばやし たかし  
 小田 康裕 / 渡邊 則之 / 小林 隆  
 NTTフォトニクス研究所

高出力・高周波電子デバイス用半導体材料として期待されている窒化物半導体を、Si基板上に、かつ高品質に作製する技術を開発しました。これにより、窒化物半導体を用いてコスト競争力のある電子デバイスを開発できるようになると期待されます。

#### 窒化物半導体とは何か

窒化物半導体は、窒素を含む2種類以上の元素から構成されている化合物半導体の1つです。代表的なものにGaN（Gallium Nitride：窒化ガリウム）やAlN（Aluminum Nitride：窒化アルミニウム）があります。これらの半導体は、短波長の光に相当するバンドギャップを実現でき、また化学的に安定で、機械的性質にも優れ、高温環境下でも破壊されにくいという特徴があります。

#### 窒化物半導体の適用先

窒化物半導体は、まず先行して光デバイス用材料として研究開発が進行し、身近なところでは遠紫外<sup>(1)</sup>～青色の発光ダイオードや半導体レーザーの材料として多く用いられています。そして現在、高電圧・大電流といった大電力を扱え、なおかつ高速動作する電子デバイスへの適用が模索されています<sup>(2)</sup>。例えば、ハイブリッド車に用いられているモータ駆動用のパワーモジュールは、現在はSi（Silicon：シリコン）でつくられたIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor：絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）が使用されていますが、大電力に耐えられるよう複数個を並列動作させるためにモジュールの容積がかさ

み、また、専用の冷却器を用いて放熱する必要があります。これを窒化物系半導体で作製されたHEMT（High Electron Mobility Transistor：高電子移動度トランジスタ）で置き換えると、デバイス自身を小さくできるとともに部品点数を大幅に減らせるためにコンパクトになり、また、エンジンの冷却に用いている水冷系（～100℃）をそのまま使用できると考えられています。同時に高周波動作も実現できるため、例えば野ざらしで使用しなければならぬ無線基地局のパワーアンプにも応用可能で、耐候性確保のために重厚な保護を施さなくても十分な耐用年数を確保することができると期待されています。

#### 窒化物半導体の結晶成長の難しさ

このようにさまざまな応用が可能な窒化物半導体ですが、半導体の結晶を高品質に作製（エピタキシャル結晶成長）するうえでいくつか問題がありました。中でも一番大きな問題は、半導体の結晶を作製するベースとなる基板に、同じ材料で構成されたものを用いることが困難であるということです。現在幅広く用いられているSiやGaAs（Gallium Arsenide：ガリウム砒素）は、高品質で口径の大きな基板が容易に入手できますが、窒化物半導体では、まだその域には技術レベルが到達していません。そのため、必然的に窒化物半導体とは異なる

材料で構成された基板を用いることになります。しかしその場合、異種材料間での格子定数や熱膨張係数の違いが問題になってきます。一般に非常に高い温度（～1000℃）で結晶成長を行う必要がある窒化物半導体では、これらの違いから容易に結晶内に欠陥が発生するために結晶品質を上げることが容易ではなく、また歪みが蓄積して結晶成長後に基板が大きく反ってしまったり亀裂（クラック）が生じるという問題が出てきます。従来の方でSi基板上に作製した場合の様子を図1(a)に示します。

#### Si基板を利用する利点

今現在のところ、窒化物半導体用の基板としてはSiC（Silicon Carbide：炭化珪素）、Si、Sapphireが用いられています。それぞれの基板の特徴を表に示します。Si基板は、大口径なもので直径12インチのものが実用化されており、また高品質なものが比較的安価かつ大量に流通しているため、価格競争力に優れています。供給元が複数社存在しているため、供給体制にも不安はありません。また、基板自身の熱伝導率が高いため、発熱が激しい大電力用電子デバイスでも対応可能です。よって、SiC基板やSapphire基板よりも不利な点である、窒化物半導体との格子定数と熱膨張係数の差を克服できれば、コスト的な競争力のある電子デバイスが実現できることになります。

※ 現、NTTアドバンステクノロジー

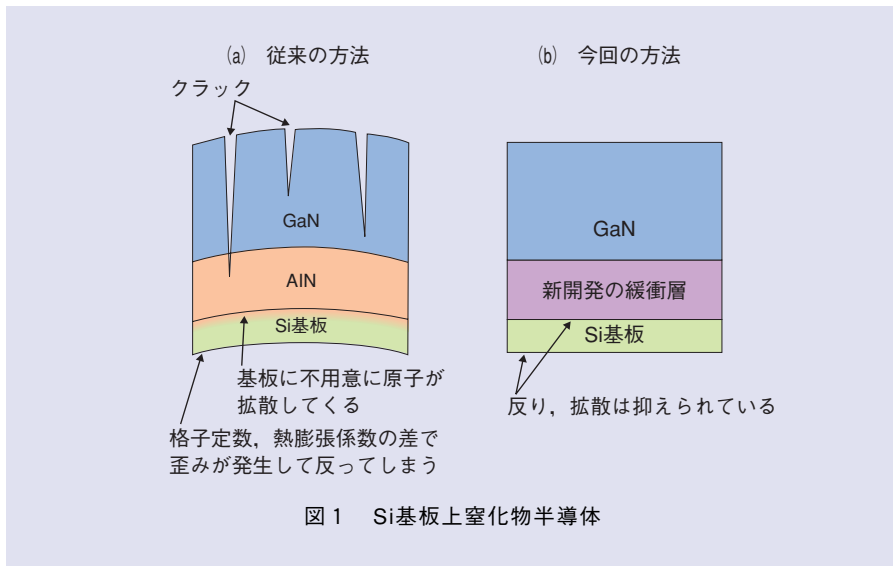


表 窒化物半導体の結晶成長に用いられる基盤の比較

	Si	SiC	Sapphire
熱伝導率	高い	非常に高い	低い
格子定数差	大きい	小さい	大きい
熱膨張係数差	大きい	小さい	小さい
価格	非常に安い	非常に高い	安い
供給元	複数あり	実質2社	複数あり
ウエハ直径	~12 inch	~4 inch	~6 inch

※格子定数差と熱膨張係数差は、窒化物半導体の1つであるGaInとの差

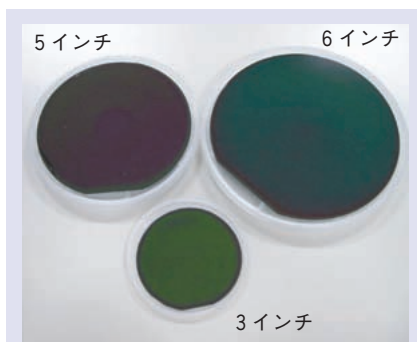


図2 Si基板上にGaIn系HEMT構造を結晶成長したものの

## 優れた緩衝層を開発する

では、どうやってこれらの問題を解決するのでしょうか。そのためには、電子デバイスをつくり込む窒化物半導体の層とSi基板との間に、両者との親和性が高く、かつ格子定数と熱膨張係数の差を

巧みに吸収する層（緩衝層）を入れます。この緩衝層には、特にSi基板上で用いる場合には基板の電気伝導度が変わらないよう、図1(a)で示したような結晶成長層から基板側へ予期しない原子が拡散するのを防ぐ役割も必要とされます。NTTフォトニクス研究所では、これらの要件を満たした緩衝層の作製手法を開発し、Si基板を用いて高品質なGaIn系HEMT用半導体構造を作製することに成功しました（図1(b)）。作製には、スルーブットに優れた結晶成長法の1つであるMOVPE（Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy：有機金属気相エピタキシー）法を用いており、高い量産性も実現しています。当初は、直径3インチのSi基板で開発が進められてきましたが、現在までのところ最大6インチまで適応可能であることを確認済みです。実際に3インチ、5インチ、6インチSi基板上にGaIn系HEMT構造を結晶成長したも

のを図2に示します。Si基板上の窒化物半導体の結晶品質が実用化レベルにまで到達したことにより、今後、これを用いた高出力、高周波動作可能な電子デバイスの開発が前進するものと期待されます。

## 参考文献

- (1) 谷保・嘉数・牧本：“世界最短波長210 nmの遠紫外発光ダイオード,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.2, pp.64-67, 2007.
- (2) 牧本：“新しい窒化物半導体デバイス,” NTT技術ジャーナル, Vol.17, No.3, pp.58-61, 2005.



(左から) 小林 隆 / 小田 康裕 / 渡邊 則之

新規材料技術は新しい物づくりの出発点になるものです。広範囲な応用に耐えられるだけの技術にすべく、今後も研究開発を推進していきます。

## ◆問い合わせ先

NTTフォトニクス研究所  
テラビットデバイス研究部  
電子デバイス結晶研究グループ  
TEL 046-240-2767  
FAX 046-240-4773  
E-mail y-oda@aecl.ntt.co.jp