



分野: 工学系

キーワード: GaN 結晶、Na フラックス法、パワー半導体、トランジスタ、省エネルギー

世界最大 6 インチサイズ・高品質の GaN 結晶を創製！ -省エネ・高性能・低コストの GaN トランジスタを社会実装へ-

【研究成果のポイント】

- ◆ GaN トランジスタの高性能化と低コスト化を両立出来る結晶技術を創製。
- ◆ GaN トランジスタの社会実装には高性能化と生産性の向上が必須となるが、それに必要な GaN 結晶^{※1}が出来ていなかった。大阪大学大学院工学研究科では、GaN 結晶のサイズと品質の両方を世界で初めて向上させることができたので全ての問題を解決できるようになった。
- ◆ GaN トランジスタは省エネパワーデバイスの中核部品であり、その社会実装が加速されれば世界の電力量 2 割削減が前倒しで実現される。

❖ 概要

大阪大学大学院工学研究科の今西正幸准教授、森勇介教授らの研究グループは、環境省が実施する「GaN 技術による脱炭素社会・ライフスタイル先導イノベーション事業」においてパナソニックホールディングス株式会社、豊田合成株式会社、株式会社サイオクスと連携して、Na フラックス法^{※2}により世界最大の 6 インチサイズで品質の良い GaN 結晶の育成に成功するとともに、Na フラックス法で作製した GaN 結晶を用いると縦型 GaN トランジスタのデバイス特性を歩留まり良く向上できることを世界で初めて実証しました。

本成果は産業・家電機器、モビリティ、再生可能エネルギー機器など、社会のあらゆる場面での活用による電力ロスの低減、これによる大幅な CO2 削減に貢献することが期待されます。

❖ 研究の背景

パワー半導体^{※3}は、産業機器や車、家電などの電力制御に幅広く使われています。現在、社会全体でのカーボンニュートラル実現に向け、再生可能エネルギーや電動車の大きな電力を制御する際の電力ロスを低減できる次世代パワー半導体の実用化・普及拡大が期待されています。その1つである GaN パワー半導体の開発においては、課題である生産性向上(コスト低減)の実現に向け、GaN 結晶の高品質化・大口径化が求められています。現状では 2 インチサイズが光デバイス用に事業化されていますがパワー半導体の分野で必要とされる高品質な 6 インチサイズの GaN 結晶は実現出来ていませんでした。

❖ 研究の内容

これまでの GaN 結晶育成技術では、サファイア基板上に HVPE 法^{※4}という気相法で直接成長させていましたが、この方法では 1000℃以上の高温で成長した後に室温に戻す途中で、GaN とサファイアの熱膨張係数差のため、必ず結晶が反ってしまいます。そのため、品質は悪くなり、大きな結晶を育成しようとしても割

Press Release

れてしまって、高品質で大口径な GaN 結晶の作製は不可能でした(図 1)。大阪大学大学院工学研究科の研究グループは、サファイア基板上に微小種結晶を多数配置したマルチポイントシードを用いて Na フラックス法で GaN 結晶を育成するという全く新しい技術を開発しました(図 2、3)。この技術では育成後に室温に戻す際に GaN 結晶がサファイア基板から自然に分離するため、反りが極めて少なくサイズの大きな GaN 結晶の育成が可能になります。森教授らは本技術を用いて、世界で初めて反りが少ない高品質な 6 インチサイズの大口径 GaN 結晶の作製に成功しました(図 4)。

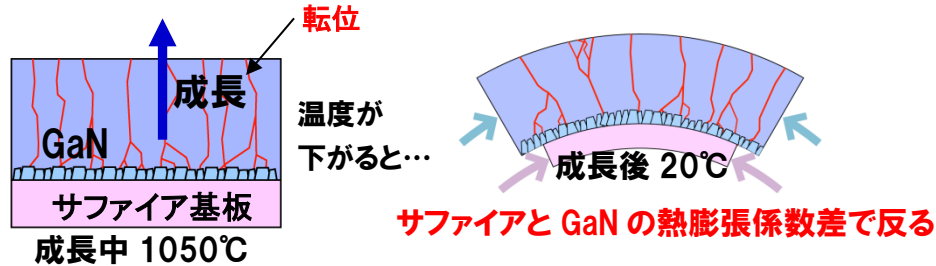


図 1 従来法では熱膨張係数差の影響で GaN 結晶が反る

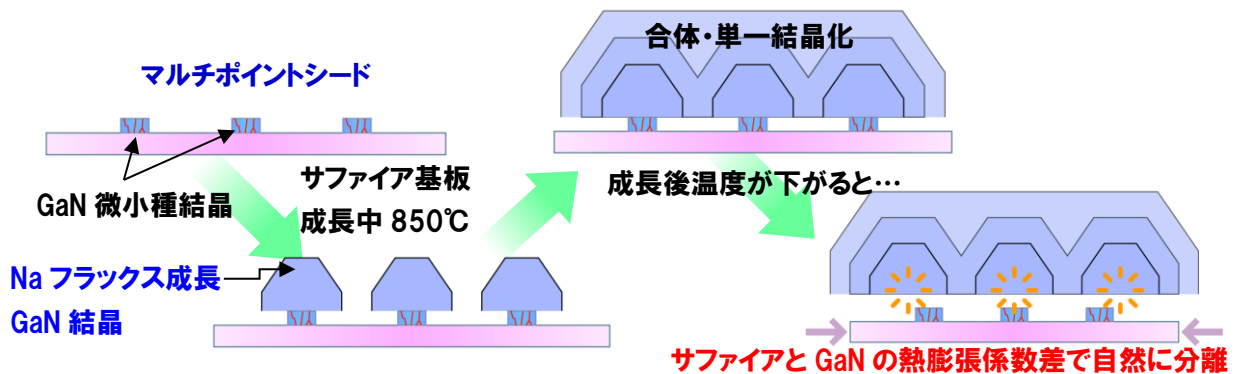


図 2 マルチポイントシードを用いた Na フラックス法による新規 GaN 結晶育成技術

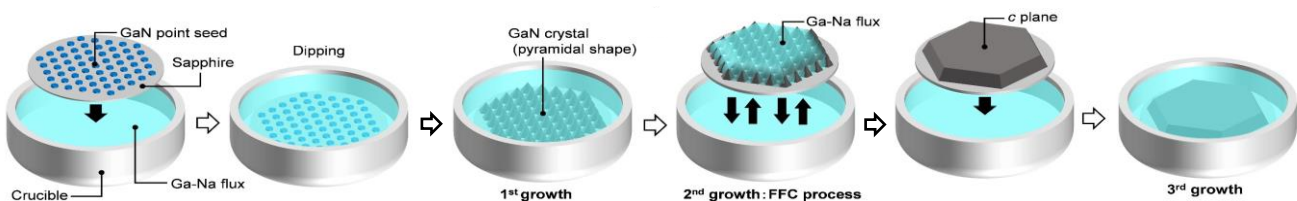


図 3 世界で唯一の GaN 結晶育成技術の概略図

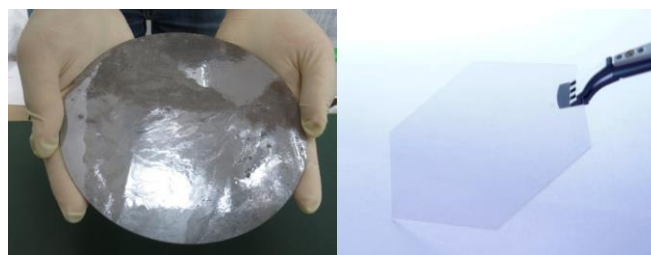


図 4 新規技術で育成した 6 インチ(左:研磨前)と 2 インチ(右:研磨後)GaN 結晶



Press Release

さらに、Na フラックス法で作製した GaN 結晶を活用すると、縦型 GaN トランジスタのデバイス特性が歩留まり良く向上できることを世界で初めて実証しました。従来法の HVPE 法で作製した GaN 結晶でも、デバイス構造を工夫することにより、少なからず高性能な縦型 GaN トランジスタ特性を得ることは出来ていました。しかしながら、より複雑な縦型 GaN トランジスタを作製した場合、10 個作製しても正常に動作するのが 3 個しかないといった実用上の重大な課題があり、その原因に関しては全く解明されていませんでした。そのような状況において、森教授らが 25 年かけて研究開発してきた Na フラックス法で作製した GaN 結晶を活用するとこの問題が解決出来ました。具体的には、大阪大学大学院工学研究科が作製した GaN 結晶を用いると、直近の結果でも市販されている従来 GaN 結晶では 33% だったトランジスタの歩留まりが 72% と飛躍的に向上したのです。この成果から、GaN トランジスタの社会実装においては新技術で育成した GaN 結晶を用いることが極めて有効になることが初めて分かりました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

これらの研究成果は GaN 結晶を更に高品質化することでより一層デバイス特性と歩留まりが良くなることを示唆しており、今後、各種 GaN パワー半導体の社会実装には Na フラックス法で作製した GaN 結晶が不可欠となります。この技術開発においては森教授らが独走しており、2030 年度 CO2 削減目標の達成やカーボンニュートラルの実現に大きく貢献することが期待できます。

❖ 特記事項

本研究は、環境省「GaN 技術による脱炭素社会・ライフスタイル先導イノベーション事業」の一環として行われました。

❖ 用語説明

※1 GaN 結晶

ガリウム(Ga)と窒素(N)からなる半導体材料でバンドギャップが広く、優れた光電子特性を有する。最初は青色 LED 用材料として研究が進められていたが結晶化が困難で多くの期間では研究が中断されていた。名古屋大学の赤崎教授、天野教授のグループだけが研究を継続し、1986 年に低温緩衝層という新技術を発表され、その技術を基に青色 LED が実現され、2014 年のノーベル物理学賞に繋がった。一方、パワー半導体用途においては GaN 結晶のサイズと品質の両方を向上しなければならず、それが極めて困難な課題であったが、大阪大学らのグループによって初めて解決された。

※2 Na フラックス法

ナトリウム(Na)とガリウム(Ga)を混合して 850℃で 40 気圧程度の高圧窒素化に晒すと GaN 結晶が析出する方法。Ga と窒素を直接反応させようとする 1 万気圧、1500℃の高温高圧が必要になるが Na が触媒となって低温低圧で反応するようになる。

※3 パワー半導体

パワー半導体は主に電圧、周波数を変えたり、直流を交流、交流を直流に変えるなどの電力変換に使われる。モーターを低速から高速まで精度良く回したり、太陽電池で発電した電気を無駄なく送電網に送ったり、様々な家電製品、電気器具に安定した電源を供給する場面でパワー半導体は欠かせないもの。また大きな電力を扱うことから電流が流れることによるジュール熱を発生して高温となりやすく故障の原因になる。このため発熱の原因であるパワー半導体自身の電力損失を少なくするため、現在主流のシリコン(Si)をより電気抵抗を小さくできる GaN や SiC で置き換えるための研究開発が進められている。GaN や SiC を用いると Si よりも 2 割電力が削減できると試算され

Press Release

ており、近年、省エネ化・省電力化への意識が高まり電気の無駄を極力少なくできるパワー半導体の需要がより高まっている。

※4 HVPE 法

塩酸(HCl)とガリウム(Ga)を気相中で反応させて、GaCl を生成させ、アンモニア(NH₃)と反応させて GaN を結晶化する方法。現在、本技術により 2 インチ GaN 結晶が事業化されている。

❖ 参考 URL

森勇介研究室 <http://crystal.pwr.eng.osaka-u.ac.jp/>

【森教授のコメント】

Na フラックス法の研究開発を初めて 25 年が経ちました。最初は 1mm にも満たないサイズの微小結晶しか出来なかったのがボリュームで 100 万倍大きくなり、世界で初めて高品質化と大口径化を両立出来るようになったのは本当に感慨深いです。そして、Na フラックス法が長年の課題であったデバイス特性の歩留まり向上にも貢献できると分かってとても嬉しく思います。25 年間の努力が報われた気分です。