

第三世代 Na フラックス法を用いた パワーデバイス用 6 インチ GaN 基板の開発

守山実希^{*1}, 藤森 拓^{*1}, 浅見慎也^{*1}, 岩田康生^{*1}, 佐藤峻之^{*1}
長島加奈^{*1}, 福本 滋^{*1}, 山崎史郎^{*1}, 永井誠二^{*1}

Development of 6-inch GaN Substrates for Power Device Applications Using the 3rd Generation Na-Flux Method

Miki Moriyama^{*1}, Taku Fujimori^{*1}, Shinya Asami^{*1}, Yasuo Iwata^{*1}, Takayuki Sato^{*1}
Kana Nagashima^{*1}, Shigeru Fukumoto^{*1}, Shiro Yamasaki^{*1}, and Seiji Nagai^{*1}

要旨

窒化ガリウム (GaN) パワーデバイスの実用化には、GaN 基板の高品質化と大口径化が不可欠である。豊田合成は、環境省が主導する国家プロジェクトに参画し、Na フラックス法を利用した高品質 6 インチ GaN 基板の実現に取り組んでいる。本稿では、大阪大学と連携して実施中の第三世代 Na フラックス法による GaN 結晶成長技術の開発状況と、その実用化に向けた取り組みについて説明する。

Abstract

Higher quality and larger diameter GaN substrates are essential for practical applications of gallium nitride (GaN) power devices. Toyoda Gosei is participating in a national project led by the Ministry of the Environment and is working with Osaka University to achieve high-quality 6-inch GaN substrates using the Na-flux method. This paper describes the development status of GaN crystal growth technology with the third-generation Na-flux method implemented in this project, and efforts for practical applications.

1. はじめに

1-1. SDGs に対する次世代パワーデバイス用 材料開発の重要性

先端材料開発部では、自動車領域に限らず、新たな事業領域における将来ビジネスの創出に向けて、様々な材料開発テーマに取り組んでいる。自動車領域においては、CASE や MaaS への対応に代表される「安全・快適」への寄与を、そして新事業領域においては「Sustainable Development Goals (SDGs: 持続可能な開発目標)」に掲げられた 17 の開発目標の中から「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「13. 気候変動に具体的な対策を」への寄与を念頭に置き、材料開発テーマを幅広く選定している。それらの中でも、エネルギー消費量の低減による低炭素社会の実現は喫緊の課題と捉えており、“早く、広く”普及可能な省エネルギー技術として、新半導体材料を用いた

高効率デバイス技術への期待は大きい。

豊田合成では、窒化ガリウム (GaN) を用いた高効率青色・白色 LED 製品の開発、量産で培った技術や知見を活かし、GaN パワーデバイスの研究開発を続けている。これまでに、大電流・高速動作が可能な縦型 GaN パワーデバイスの開発を通じ、その潜在能力の高さを実証してきた^{1),2)}。同技術を“早く、広く”普及させ、SDGs への貢献を果たすためには、素子の高性能化と低価格化が不可欠であるが、それには高品質・大口径・低価格の全てを満足する GaN 基板の実現が急務となっている。

このような背景から、先端材料開発部ではコアコンピタンスの一つである GaN 結晶成長技術を生かし、パワーデバイス実用化に向けた大口径 GaN 基板の開発に取り組んでいる。その中核となる技術が、ナトリウム (Na) フラックス法による GaN 結晶成長技術である。

*1 先端材料開発部

1-2. 豊田合成における Na フラックス法の開発状況 (～ 2017 年)

Na フラックス法とは、Na を溶媒とした液体原料 (Na-Ga 溶液) を利用することにより、800℃～900℃、3MPa～5MPa の窒素雰囲気において、GaN 結晶の液相成長を可能にする方法である^{3)~5)}。われわれは、2004 年から大阪大学森勇介先生のご指導を仰ぎ、Na フラックス法の研究開発を開始した。その後、経済産業省/NEDO 主管の国家プロジェクトにも参画し、2011 年には直径 8 インチ以上の大口径結晶を成長可能な大型育成炉を社内に設置した。同炉を用いた 2 インチ結晶の多数枚同時成長や 6 インチサファイア基板全面へのクラックフリー成長技術の開発⁶⁾を通じ、Na フラックス法による大口径 GaN 基板の実現可能性を見出すことができたが、実験再現性の低さと結晶内部の残留 Na (インクルージョン) の二つが実用化に対する大きな課題として残されていた。国家プロジェクト後はこれらの課題解決に向け、Na フラックス法の実験再現性に影響を与える諸因子の抽出に注力し、成長環境の厳密管理による実験再現性の向上とともに、雑晶およびインクルージョンの抑制にも成功した。社内に蓄積された要素技術やノウハウを利用することにより、サファイア基板上に Na フラックス法で育成した GaN 結晶を用い、インクルージョンフリーの GaN 基板を作製する工法を確立した (図-1)。できるだけ短時間に大量の結晶を成長可能なシンプルな成長法を採用することにより、大口径結晶の大量生産にも対応可能な工法を構築できたが、品質とコストの面では既存の基板製造法に対して特別の優位性を見出すには至らず、大口径基板の実用化に対しても、他の製造法と同様の課題を抱えていた。このまま技術開発を継続していても、早期の課題解決は困難であることが明らかであったことから、開発の方向性を大きく変えることを余儀なくされた。



図-1 3インチサファイア基板上にNaフラックス法 (第一世代)で成長後、剥離した自立GaN結晶。(左)研磨後の結晶(右)as grown結晶

1-3. GaN 基板実用化の課題

社内での Na フラックス法開発に限らず、パワーデバイス用 GaN 基板の実用化が難航している原因の本質は、引き上げ法によるバルク結晶成長法が使えないところにある。その代替として最も広く使われているのが、異種基板上に厚い GaN 結晶をヘテロエピタキシャル成長させる方法であり、既存の比較的安価な大口径基板を種基板に使える利点に対して、基板と GaN との物性差に起因して転位や反りの発生を招きやすいという欠点を持つ。as grown 結晶に反りが生じると、研磨による平坦化のために余計な厚膜化が必要になるのに加え、研磨後の基板面内にオフ角の面内分布が生じてしまう⁷⁾。基板表面の性質はオフ角の変化に敏感であり、オフ角分布を有する基板上では素子特性の面内分布拡大による歩留まり低下が懸念されるため、as grown 結晶の反りは可能な限り抑制すべきと考えられる。これらの問題は 2 インチ程度の基板では大きな問題にはならないとしても、6 インチ以上の大口径基板の製造にとっては致命的になる。

より高品質で反りの小さい結晶が得られる成長手法として、横方向成長を利用した口径拡大法などが提案されており、最近では 4 インチ基板の可能性に言及した報告例も存在するが⁸⁾、パワーデバイスの製造に適用可能な 6 インチ以上の高品質 GaN 基板の実現可能性を具体的に語る方法は筆者の知る限り存在していない。基板開発の遅れは、デバイス開発に対する停滞感、消極性を助長し、それがまた基板の開発を遅らせるという悪循環を招くことになる。両者の関係は鶏と卵の関係ではあるが、SiC や酸化ガリウムなどの競合と比べて GaN 基板の実用化は明らかに遅れをとっていることを考えれば、基板開発の進展を急ぐことが先決であろう。

1-4. 国家プロジェクト参画による新たな試み

こうした状況を打破するには、反りのない大口径 GaN 結晶を実現可能な革新的な結晶成長技術の開発はもちろん、基板が実用化されるまでの期間、ある程度リスクがあっても企業内で基板やデバイスの研究開発や量産検討を進められるような「仕掛け」が不可欠になってくる。そういった観点から、国家プロジェクトによる技術開発、支援体制の構築は極めて重要な意味を持つ。

われわれは 2018 年度から環境省が主導する国家プロジェクト「未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業」^{注1)}に参画し、従来の社内基板開発とは異なる視点、

注1) 以下、本稿ではこれを環境省プロジェクトと表記する

体制で GaN 基板開発を再スタートさせた。環境省プロジェクトは、GaN 基板の開発をベースに、その上のエピ成長技術や光・電子デバイスなどの研究開発と、開発された高性能素子を使った応用製品の開発、社会実装による CO₂ 削減効果の検証を主眼においた大型プロジェクトである。本稿では大阪大学を中心とする GaN 基板開発グループにおける取り組みのうち、豊田合成が担当する技術範囲に絞って説明する。次節では、同プロジェクトで取り組んでいる、新規の Na フラックス法についてその概要を説明し、第三章では社内大型炉における具体的な開発状況について紹介する。第四章では GaN 基板実用化に向けた取り組み状況と、今後の展望について述べる。

今後、企業における技術開発では、SDGs への貢献への要求はさらに高まると予想される。こうした時代に対応するには、産官学の連携による国内産業および大学・研究機関の活性化は重要なテーマであり、本プロジェクトにおける取り組みは非常に興味深い。プロジェクトが現在進行形であるため、途中経過での報告となり技術論文としては些か物足りない内容になってしまうが、今後の基板開発動向や同プロジェクトにおける様々な技術開発成果に少しでも期待や関心を持ってもらえれば十分と考え、本誌で紹介させていただくことにした。

2. Na フラックス法を用いた高品質 GaN 結晶成長技術の進展

本章では Mori らのレビュー⁹⁾に習い、Na フラックス法による GaN 結晶成長技術の進展について説明する。従来の成長法（第一世代）に対して、高品質結晶を成長するため新たに開発された Na フラックス法を第二世代、第三世代と分類し、それぞれの概要を説明する。

2-1. 第二世代 Na フラックス法

第二世代の Na フラックス法（以下、2GFx 法と表記する）では、数百 μm 径の MOCVD-GaN 種結晶（ポイントシード：PS）をサファイア基板上に分散配置したマルチポイントシード（MPS）基板（**図-2**）を種基板に使い、各 PS 上に選択的に GaN 結晶を核生成させた後、成長→合体させることで GaN の連続膜を得る（**図-3**）。2GFx 法の特徴、利点としては（1）基板全面にシード層が形成された種基板を用いる従来法に比べ、反りを大幅に低減できる、（2）GaN 微結晶の成長・合体に伴う横方向成長により、貫通転位密度の低減が期待できる、（3）サファイア基板と GaN 結晶の接合面積が少なくなるため、サファイア基板から GaN を剥離しやすくなる、などが挙げられる。

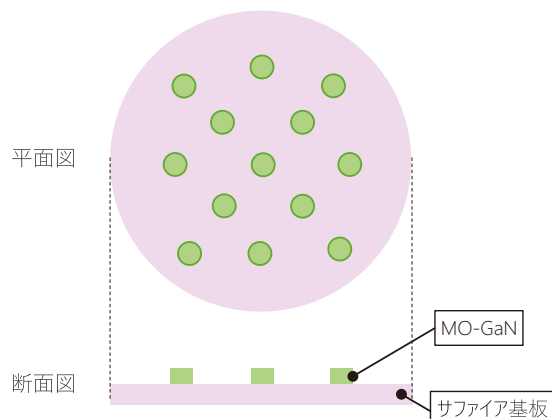


図-2 マルチポイントシード（MPS）基板の模式図

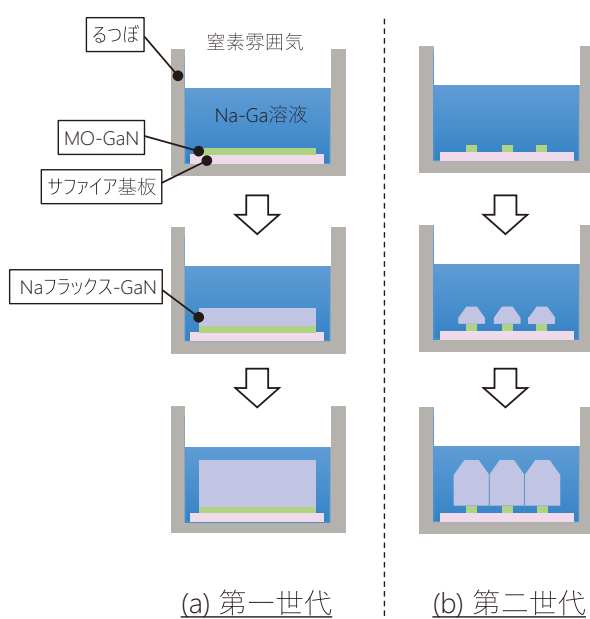


図-3 第一世代および第二世代のNaフラックス法

2GFx 法を成立させるために最も重要なのは、PS 以外の領域（サファイア基板表面）に余計な GaN 結晶を全く成長させないことであるが、一般的な気相法ではこのような成長は難しい。2GFx 法は、MPS 基板上での GaN シード層への成長選択性が高いという Na フラックス法の特徴を巧みに利用することにより、数百 μm 径/間隔の MPS 基板上への GaN 微結晶の成長、合体による連続膜の成長を実現している。

2-2. 第三世代 Na フラックス法

2GFx 法を利用することにより、GaN 結晶の反りを低減することが可能になるが、微結晶同士が会合した界面が結晶中に残るため、そのままでは基板として使用することが難しい。これを解決するため、Flux Film Coated (FFC) 法による平坦化技術と、1GFx 法による C 面方向の厚膜化成長を組み合わせた第三世代 Na フラックス法（以下、

3GFx 法と表記する) が考案された (図-4)。3GFx 法は「2GFx 法→FFC 法→1GFx 法」という成長工程からなる。まず 2GFx 法で MPS 基板上に GaN 微結晶を成長させた後、成長炉内で MPS 基板を原料溶液から液外に引き上げる。引き上げられた MPS 基板上では、微結晶表面のファセット面で囲まれた凹み部分に原料溶液が溜まった状態が実現される。この状態のまま炉内で保持しておく、原料溶液が溜まった凹み内部だけで Na フラックス法により GaN を成長させることができる。原料溶液中の Ga が消費されると成長は停止してしまうので、再び MPS 基板を原料溶液に浸漬し、引上げ→保持→浸漬…のサイクルを繰り返すことで凹みを埋めていく。一回のサイクルで成長する GaN の厚さは数 μm 程度であるが、下地のファセット面を維持したまま層状成長が繰り返されるので、FFC 法を利用することで凹み内部を精度よく埋め込み、平坦化させることができる。FFC 法による平坦化が完了した後は、結晶を原料溶液中に浸漬させたまま保持し、通常の 1GFx 法を使って GaN を c 面方向に成長させて厚膜化する。十分な厚さまで成長させた後、再び結晶を原料溶液外に取り出したまま降溫すると、冷却による熱歪みによりサファイア基板から GaN 結晶が自己剥離し、GaN 結晶を自立化することができる。

FFC 法では、成長炉内で結晶を数百回レベルで上下移動させるため、炉内に稼働機構をもたせ、結晶を保持するための治具ごと原料溶液に浸漬しなければならない。これらの外乱因子が結晶成長に与える影響が懸念されるが、大阪大学では 3GFx 法を用いて 3 インチ MPS 基板からクラック

フリー GaN 結晶を自立化し、2 インチ GaN 基板を作製することに成功しており⁹⁾、同手法による基板作製が可能であることは実証済みである。得られた基板の貫通転位密度や反りが、市販 GaN 基板と比べて大幅に改善されることも報告されている。大阪大学では、2 インチ GaN 基板の試作・高品質化を軸に、結晶品質向上のメカニズム解明や、高品質 GaN 結晶の作製指針となる基礎的な研究開発に精力的に取り組んでおり、3GFx 法による 2 インチ GaN 基板のさらなる高品質化が期待される。

3. 社内大型育成炉における大口徑 GaN 結晶成長技術の開発状況

3-1. 大型育成炉への技術移管に対する課題と開発の進め方

本プロジェクトにおける豊田合成の役割は、社内大型炉に大阪大学で開発された 3GFx 法の技術を移管し、6 インチおよび 8 インチの MPS 基板から、それぞれ 4 インチおよび 6 インチの高品質 GaN 基板を作製することにある。しかし、量産工程で広く使用されている MOCVD 法や HVPE 法とは違い、未だに開発段階にある Na フラックス法の技術移管を短期間を実現することは容易ではない。実際に事前の検証実験により、大阪大学で使用している標準的な温度、圧力などの実験条件を社内炉に適用したところ、両者の成長挙動が全く異なることが明らかになった。この結果をうけ、大阪大学の成長レシピを単に模倣するのではなく、従来の社内での成長条件をベースとして、大型炉

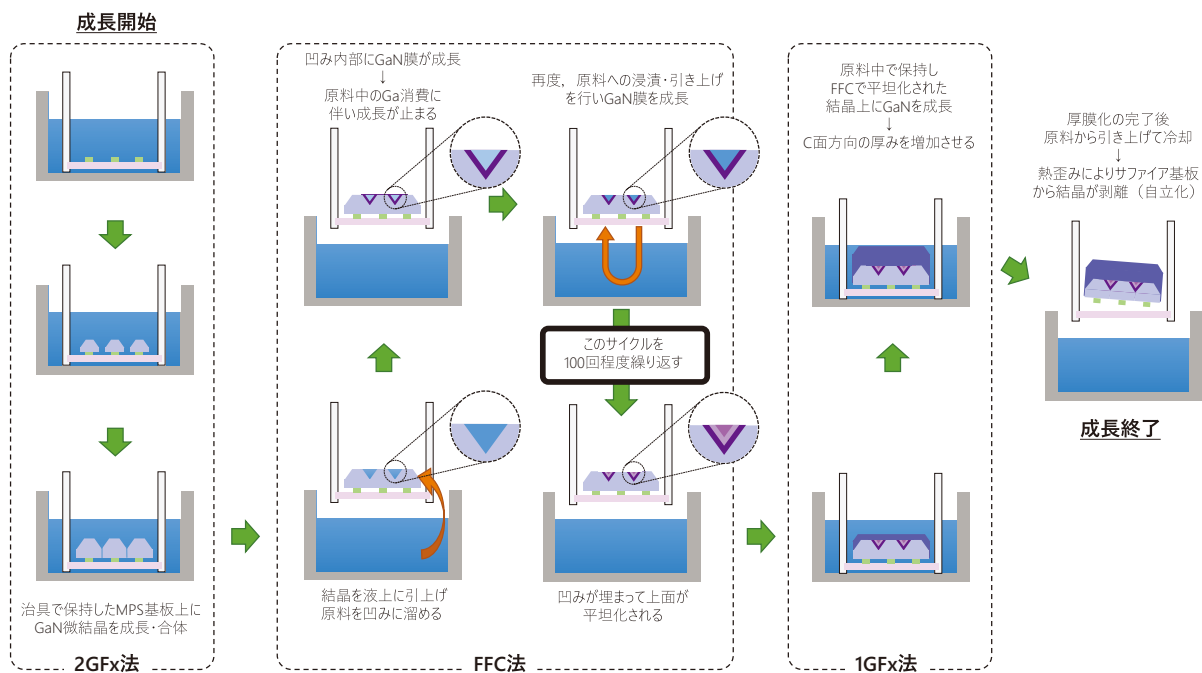


図-4 第三世代 Na フラックス法における工程の流れ

の 1GFx 法で確立された結晶成長挙動の制御法やノウハウを利用した条件修正を適宜行っていく方法を選択した。できるだけ短期間で 3GFx 法による GaN 結晶の自立化を成功させることを最優先の目標に設定し、育成実験を開始した。

3-2. 大口径 MPS 基板の開発

大型炉における Na フラックス法の育成実験について述べる前に、3GFx 法におけるもう一つの重要開発テーマである大口径 MPS 基板開発について述べる。MPS 基板の作製法には、MOCVD 法を用いたいわゆる選択成長法を用いており、あらかじめサファイア基板に形成されたマスクパターンを用いて、ドット状の GaN を形成させる。大口径化にあたっては、PS 形状の面内均一性が求められる。特に PS の抜けた場所が存在すると、そこを起点としてインクルージョン等のマクロ欠陥が生じるため、PS 抜けは全面でゼロにしておかなければならない。現在では、6 インチ MPS 基板にシード欠損ゼロの基板を作製できており、実験前の検査によりシード異常の少ない基板を選別し、育成実験に投入することで歩留まりを上げる工夫をしている。8 インチ径までの MPS 基板が作製されており、育成実験に投入可能なレベルの面内均一性が得られている (図-5)。現在は、さらなる高品質化、歩留まり向上に加え、スケールアップへの対応力が高い Na フラックス法の長所を生かすため、大型炉で育成可能な 10 インチ級の大口径 MPS 基板の作製も視野に入れ、開発を進めている。

3-3. 3GFx 法による大口径化検討

以下では、大型炉における結晶成長の制御性の高さと、大口径結晶成長に対する 2GFx 法および 3GFx 法の適用性の高さを示すため、開発着手からの経緯を時系列に沿って説明する。第 1 回の成長実験では、大口径結晶作製の保持治具を使わずに、2GFx 法による 3 インチ MPS 基板上への成長

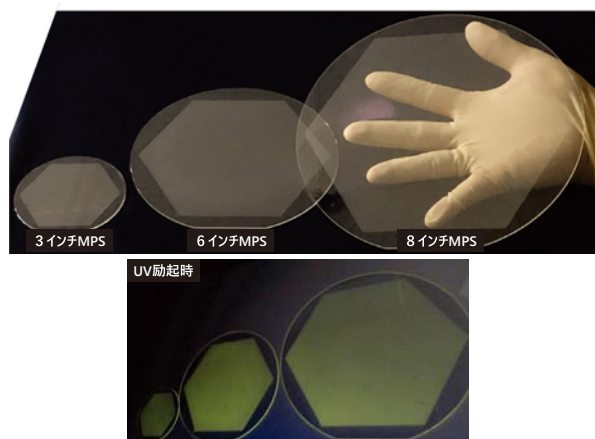


図-5 試作した大口径 MPS 基板の外観

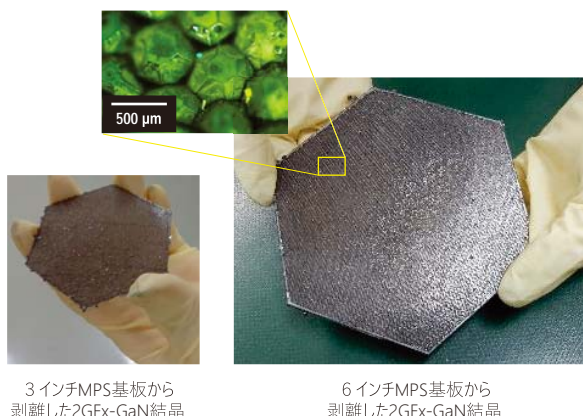


図-6 第二世代 Na フラックス法を用いて大型炉で作製した自立 GaN 結晶

実験を行った。1 回目の成長実験では、7 種類の成長条件で 3 インチ MPS 基板上への成長実験を行ったにもかかわらず MPS 基板上への GaN 成長が全く観察できなかったが、核生成を促進する条件への修正を図った 2 回目の成長実験では、早くも 3 インチ MPS 基板上への全面成長、剥離による自立化に成功した (図-6 (左))。内部クラックはあるが割れなく全面が自立化されており、従来の 1GFx 法による結晶に比べて反りが小さいことが確認された。

次に、2GFx 法により大口径基板上に均一な結晶成長が可能であることを示すため、3 インチの成長条件をベースとして、6 インチ MPS 基板での条件調整を行なった結果、翌月には 6 インチ MPS 基板上から 2GFx-GaN 結晶の自立化に成功した (図-6 (右))。図中黄色枠で示すように、2GFx-GaN 結晶の特徴である結晶表面の凹凸は大きく平坦化はされていない。厚膜化が不十分な状態であったが、自立結晶の反りは十分小さいことも確認できた。膜厚や微結晶のサイズ・形状の面内均一性は良好であり、懸念された成長不良による GaN の欠損箇所は観察されなかった。

2GFx 法で 6 インチ MPS 基板全面への均一成長が確認できたため、成長治具を使った 3GFx 法の実験に移行した。実験の結果、懸念されていた治具の導入による成長条件の変化は小さく、十分に補正可能な範囲であることがわかった。大型炉で FFC 成長を行った結晶の断面蛍光顕微鏡像を図-7 に示す。FFC 成長の 1 サイクルごとに、厚さ数 μm の GaN 層が精度良く、繰り返し成長されている様子が見てとれる。大型炉においても、大阪大学で実現されているような FFC 法による特徴的な成長挙動 (ファセット成長、埋め込み性など) を再現できることが確認された。温度や圧力等の微調整を数回にわたって実施したところ、3GFx 法を用いて 6 インチ MPS 基板から厚さ約 1 mm の GaN 結晶自立化に成功した (図-8)。この自立

結晶には結晶端部を起点とした曲線状のクラックが一本内包されており、完全なクラックフリー結晶を得ることはできなかったが、結晶端部にいくつか観察される粗大結晶粒を除いて特別な異常はなく、大口径 GaN 結晶を成長し自立化できる手応えが得られた。図-6 に示した 2GFx-GaN 結晶と比較すると、結晶表面の周期的な凹凸がなくなり、光沢のある平滑な表面が形成されていることから、FFC 法によるファセット部の埋め込み、平坦化が機能していることが示唆される。また、as grown 結晶においても形状の反りは十分に小さく外観上は大阪大学で作製される 3GFx-GaN 結晶の特徴がほぼ再現された(図-8 下図)。

以上の結果は、大型炉を使った 2GFx 法および 3GFx 法の成長実験着手からほぼ半年間(10 回程度)の成長実験で得られており、3GFx 法の

基本的なコンセプトが大阪大学の実験環境以外においても、また、大口径 MPS 基板に対しても十分有効であることが実証できた。もちろん、大型炉における実験再現性や、結晶成長挙動の制御性の高さが、これらの成果を支えていることは言うまでもない。

その後、3-2 節で説明した 8 インチ MPS 基板上へのテスト育成をしたところ、初回で 3GFx-GaN を全面成長、剥離できた(図-9)。同画像では大量のクラックや割れ、雑晶の固着などの異常が確認できるが、これらの傾向は、その前後で実施された 6 インチ MPS 基板上への育成結果と同様であり、基板サイズの拡大による成長条件の変化は、十分小さいことがわかった。これらの結果を考えると、6 インチ MPS 基板上で育成条件が確立されてしまえば、8 インチ MPS 基板上での条件確立は比較的短期間で可能になると予想される。

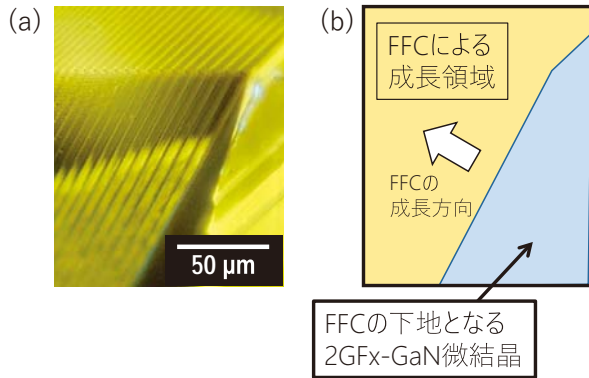


図-7 GaN 微結晶の斜面上に成長された FFC 法による埋め込み領域の断面蛍光顕微鏡像

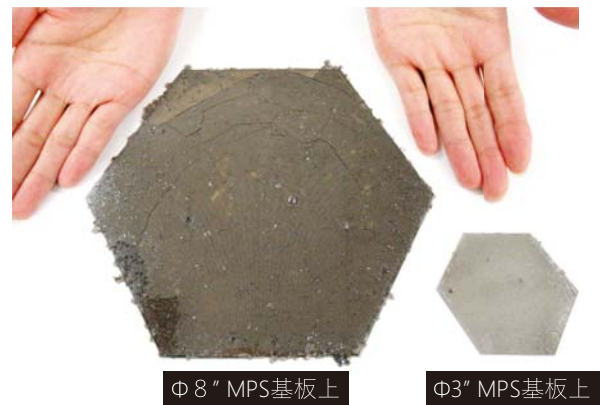


図-9 第三世代 Na フラックス法を用いて 8 インチ MPS 基板上に成長した GaN 結晶

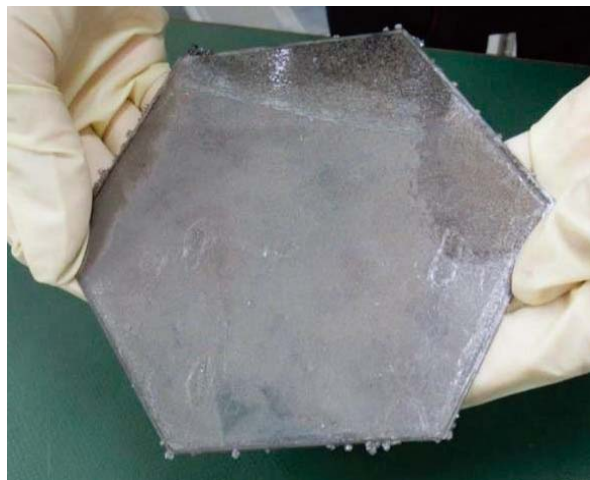


図-8 第三世代 Na フラックス法を用いて 6 インチ MPS 基板上に大型炉で作製した大口径自立 GaN 結晶

3-4. 高品質化に向けた取り組み

比較的短期間で大口径 GaN 結晶の自立化には成功したが、品質面では多くの問題が残っていた。特に問題となっていたのは図-9 に見られたような、クラックおよび雑晶の発生であった。また、結晶を詳細に観察すると、初期の微結晶同士の会合不良やマクロステップなどの欠陥が広く分布しており、大阪大学の成長技術を移管できたとはとても言えない状態であった。これらの問題を解決する指針として、3GFx-GaN 結晶の断面構造、特に 2GFx 法で形成される初期の微結晶 GaN の形状の違いに着目した。社内大型炉で大阪大学製基板と同じ断面構造を持つ結晶の成長を狙い、成長条件の大幅な見直しを実施した結果、雑晶の大幅な抑制と断面構造の最適化の両立が実現された。最近では、4 インチ基板形状に加工されたクラックフリー GaN 結晶サンプルが得られている(図-10)。断面構造の最適化により as grown 結晶

の曲率半径は 20 m ~ 30 m に改善されており、研磨後には更なる反りの低減が期待できる。結晶品質の改善も進んでおり、X 線ロックアップカーブの半値幅による評価では、同じ光学系を用いて貫通転位密度が $10^5/\text{cm}^2$ 未満の高品質 GaN 基板から得られた値を凌ぐ値が得られている。多光子フォトルミネッセンス法やカソードルミネッセンス法を用いたミクロな欠陥評価においても、貫通転位密度 $10^5/\text{cm}^2$ 以下の広い領域が観察されているが、現時点では品質の面内分布が大きく、改善の余地がある。最近では 3GFx 法における転位密度低減メカニズムへの理解も進んでおり¹⁰⁾、今後の高品質化が期待される。

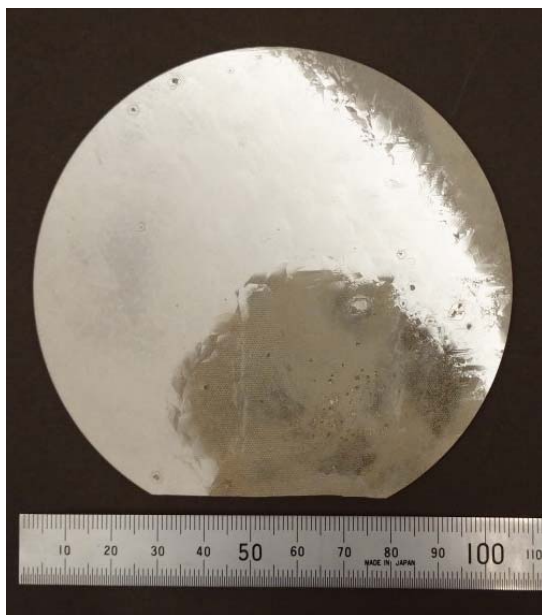


図-10 第三世代 Na フラックス法を用いて 6 インチ MPS 基板上に成長した GaN 結晶を加工して作製された 4 インチ GaN 基板 (研磨前)

4. 高品質 GaN 基板の低コスト化促進に向けた取り組み

これまで述べてきたように、3GFx 法を大型育成路に適用することにより、早期に高品質 6 インチ GaN 基板を作製できる可能性は高まっていることは間違いないが、量産性の観点では課題が山積しており、3GFx 法だけを使って大口径 GaN 基板の早期実用化を果たすという計画は現実的でない。そこで本プロジェクトでは、Na フラックス法で作製した高品質 GaN 結晶は「種結晶」としてのみ利用し、HVPE 法のようにすでに GaN 基板の製造法として実績のある成長法を使って種結晶の上に GaN を厚く再成長し、高品質 GaN 基板を作製することを検討している。これにより、3GFx 法による種結晶の必要生産枚数を大幅に減らすことができ、技術的に早期解決が難しい Na フラックス法の量産技術開発を待たずに、大口径 3GFx-GaN 基板開発の成果を、基板サンプルの供給という具体的な形にすることができる (図-11)。プロジェクト内では、すでに大阪大学製 2 インチ 3GFx-GaN 基板を種結晶として、HVPE 法による再成長および基板作製の試みが開始されている (図-12)。本年 10 月 1 日には、環境省プロジェクトの成果である GaN 基板作製技術を使い、デバイス開発用の GaN 基板を供給するベンチャー企業「teamGaN」が起業された。当面は 2 インチ基板の製造と販売を中心に事業を継続し、GaN 基板実用化に向けた技術的・商業的な課題抽出を行う。これらの取り組みで得られた貴重な知見は、大型炉で作製した大口径 GaN 種結晶を利用した 4 インチおよび 6 インチ GaN 基板の開発にフィードバックされる。これらの試みにより、大口径 GaN 基板の実現可能性が認知されれば、他社の GaN 基板

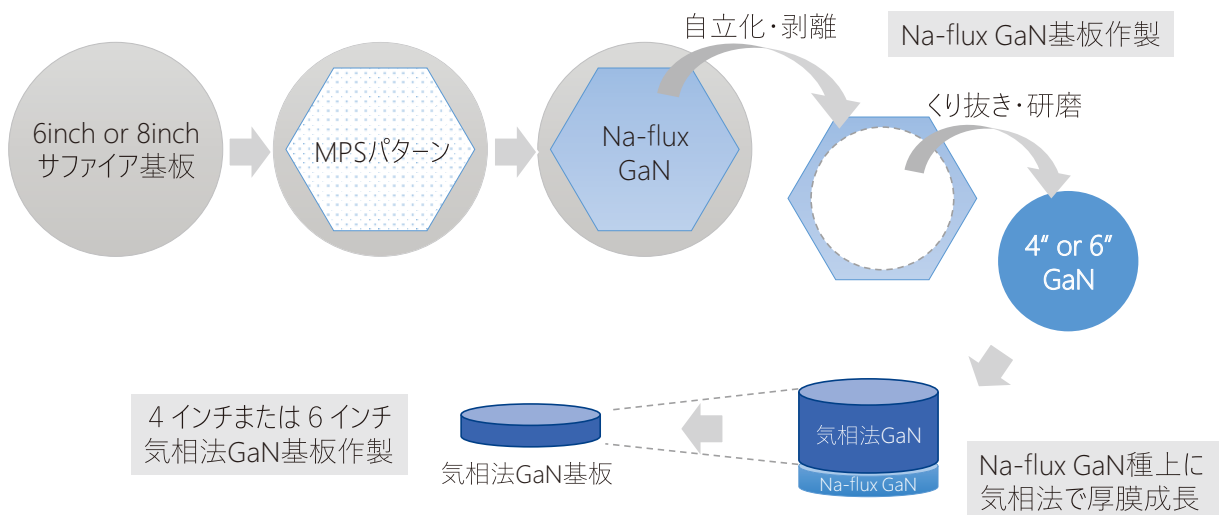


図-11 第三世代 Na フラックス法と HVPE 法を用いた GaN 基板作製工程

開発やデバイス開発が促進され、開発競争が激化することにより、さらなる低価格化と製品市場の創出を加速する効果も期待される。

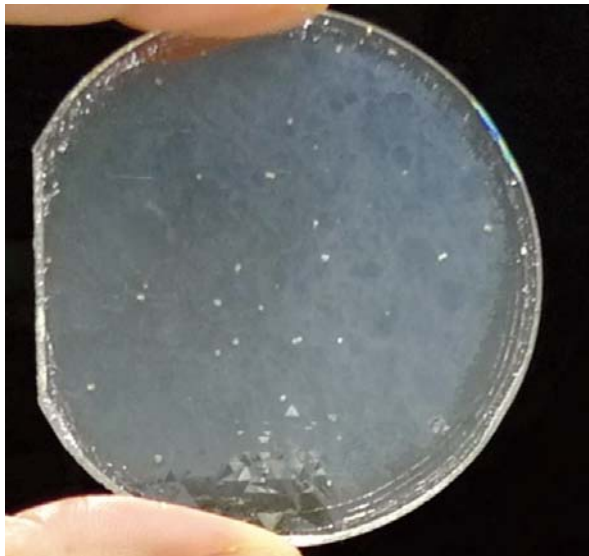


図- 12 第三世代 Na フラックス法で作製した 2 インチ GaN 種基板上への HVPE-GaN 再成長例¹¹⁾

5. おわりに

本稿では、環境省プロジェクトに参画して実施中の第三世代 Na フラックス法による大口径 GaN 結晶成長技術の開発状況について述べた。同プロジェクトにおける技術開発は現在進行形であり、大口径 GaN 結晶成長技術には解決すべき課題も残っているが、プロジェクト最終年度となる 2021 年度には 6 インチ径の 3GFx-GaN 種基板および、同種基板を利用して作製した 6 インチ HVPE-GaN 基板によるデバイス試作、性能検証を実現したい。

本プロジェクトに参画し、幅広い議論を行う機会を得られたことで、改めて Na フラックス法の可能性を広げる余地が残されていることを実感している。大口径 GaN 基板の実用化を促進することにより、パワーデバイスのみならず、GaN 半導体デバイス領域の更なるブレークスルーに貢献すべく、今後も Na フラックス法による GaN 成長技術に磨きをかけていく所存である。

謝辞

本稿に掲載された第三世代 Na フラックス法による大口径 GaN 基板開発は、環境省の「未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業」の支援を受けて行った。プロジェクト運営をしていただいている環境省、

森先生をはじめとする大阪大学の皆様はもちろん、素晴らしい成果でいつも刺激を与えて下さるプロジェクト参画メンバー各位、並びに基板開発に尽力していただいている先端材料開発部のスタッフ一同、これまで協力していただいたスタッフ一同に、この場を借りて改めて感謝いたします。

参考文献

- 1) 岡ら, 豊田合成技報, Vol. 57, p.34 (2015) .
- 2) 西井ら, 豊田合成技報, Vol. 60, p.15 (2018) .
- 3) H. Yamane *et al.*, Chem. Mater., 9, p. 413 (1997) .
- 4) Ricoh Technical Report No.30, p.9 (2004) .
- 5) 森ら, 豊田合成技報, Vol. 50 (1) , p.2 (2008) .
- 6) 守山ら, 豊田合成技報 Vol. 56, p.61 (2014) .
- 7) 藤倉ら, 住友化学: 技術誌 p.38 (2018) .
- 8) D. Tomita *et al.*, Appl. Phys. Express 13, 055505 (2020)
- 9) Y. Mori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 58, SC0803 (2019) .
- 10) M. Imanishi *et al.*, Applied Physics Express 13, 085510 (2020) .
- 11) 本画像は大阪大学森勇介先生よりご提供いただいた

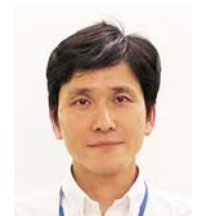
著 者



守山実希



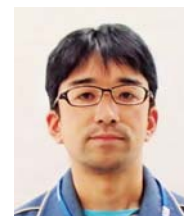
藤森 拓



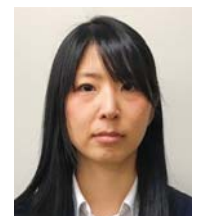
浅見慎也



岩田康生



佐藤峻之



長島加奈



福本 滋



山崎史郎



永井誠二