

2024年10月17日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

次世代半導体・酸化ガリウムウエハの低コスト量産化に向け 東北大学発スタートアップ：株式会社FOXを起業 —低損失・高性能なパワーデバイスによる脱炭素社会実現へ貢献を目指す—

【発表のポイント】

- 東北大学と東北大学発スタートアップの株式会社C&Aが共同開発した貴金属フリーの単結晶育成技術OCCC（オートリプルシー）法を用いて、高品質な酸化ガリウム（ β -Ga₂O₃）ウエハを量産するスタートアップ：株式会社FOXを起業しました。
- 高価な貴金属を使用せずに β -Ga₂O₃バルク単結晶製造が可能となるため、製造コストを既存の製造方法の100分の1に低減でき、デバイス製造のトータルコストの大幅削減が期待されます。
- 株式会社FOXはVCからの出資2.7億円とNEDOのディープテック・スタートアップ支援基金／ディープテック・スタートアップ支援事業^{（注1）}（DTSU事業）（5億円）採択を受け、東北大学との共創体制で半導体事業の産業振興と脱炭素社会実現への貢献を目指します。

【概要】

カーボンニュートラル実現に向け、家電・電気自動車・産業用機械・再生可能エネルギー等の電力変換をおこなうパワーデバイス^{（注2）}の省エネルギー化が必要となっています。 β -Ga₂O₃は、シリコンカーバイド（SiC）や窒化ガリウム（GaN）に比べてバンドギャップが広く、更に高性能でエネルギー損失の少ないパワーデバイスとして期待されています。加えて β -Ga₂O₃はシリコン（Si）同様に融液成長^{（注3）}が可能のため、理論的には低コストで低欠陥の単結晶基板（ウエハ）作製が可能です。しかしながら従来の結晶育成法では、高融点酸化物の融液を保持するルツボに貴金属であるイリジウム（Ir：約2.6万円/g@2024年8月相場）を用いており、定期的な改鋳も必要なことから、Ir由来のコストが半導体前工程の一部の薄膜製造を含むコストの6割以上を占め、 β -Ga₂O₃デバイスの製造コストの低減が非常に困難でした。現状、 β -Ga₂O₃基板は次世代パワー半導体の代表格のSiC基板よりも高価となり、 β -Ga₂O₃の普及は進んでいません。この課題を解決すべく、東北大学発スタートアップ株式会社FOXを起業しました。マクニカ・インベストメント・パートナーズ、岩谷ベンチャーキャピタル、合同会社東北テックベンチャーズ等からの出資とNEDO DTSU事業の支援を受け、 β -Ga₂O₃の低コストで低欠陥の大口径ウエハ製造技術を確立して量産することで、 β -Ga₂O₃パワーデバイスの社会実装を促し、脱炭素社会の実現に大きく貢献することが期待されます。

【詳細な説明】

研究の背景

パワー半導体とは、電気の周波数、電圧、直流-交流を変換するデバイスであり、電気を利用している機器のほぼすべてで利用されています。近年、自動車や高速移動体などの電化や、AI の社会実装に伴うデータセンターの拡大などが進み、従前よりも高電圧の需要が急速に高まっています。現状は Si を用いたパワーデバイスが主流となっていますが、より耐電圧が高く、エネルギー変換ロスの小さいデバイスの開発が活発に行われています。

パワー半導体の特性は主にバンドギャップとキャリア移動度により決まり、パワー半導体材料としての適性を示す「バリガ性能指数」を比較すると、 β -Ga₂O₃ は Si の約 3000 倍、SiC の約 10 倍低損失となり、高性能なデバイスが可能とされています。Si 半導体から β -Ga₂O₃ へとパワー半導体デバイスの置換が進めば、エネルギーのより効率的な活用が期待できます。再生可能エネルギーの普及、蓄エネの効率化、EV の普及などとの相乗効果で脱炭素社会実現に大きく貢献し、社会的インパクトは極めて大きいと考えられます。

ここで、 β -Ga₂O₃ は Si と同様に原料融液から結晶成長させる融液成長が可能であるため、成長速度が速く、一度に大量の高品質単結晶を製造できます。この成長速度は、すでに実用化されている SiC と比べ 10~100 倍程度速いため、次世代半導体材料の中でもウエハの生産性が極めて高いという特徴もあります。

しかしながら、 β -Ga₂O₃ は高温で $\text{Ga}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{GaO} + 2\text{O}_2$ 及び $2\text{GaO} \rightarrow 2\text{Ga} + \text{O}_2$ という反応が進むことが知られており、この反応がデバイス製造時に問題となる酸素欠陥や 3 次元欠陥形成の原因になるという課題があります。課題解決には高酸素分圧での製造が必須となりますが、従来の代表的な結晶製造法であるチョクラルスキー(Cz)法や Edge defined Film-fed Growth(EFG)法では、融液を保持するルツボに貴金属である Ir を使用しており、Ir の酸化防止のために酸素分圧は 2%以下という極めて低い酸素分圧に限定されています。また、Ir は約 2.6 万円/g (2024 年 8 月相場) と、ルツボ・治具の導入時に高コストであるのみならず、定期的な改鋳も必要なことから、Ir 由来のコストが β -Ga₂O₃ 半導体の前工程の一部を含む製造コストの 6 割以上を占め、 β -Ga₂O₃ デバイスの製造コストの低減が非常に困難です。Ir の代わりに白金ロジウム (Pt-Rh) 貴金属を用いたブリッジマン (BS) 法も検討されていますが、依然として SiC や GaN と比べて製造コストが大幅に高くなっています。高コストの主な原因として、ルツボや治具に貴金属を利用していること、低酸素分圧下の成長に限定されることで材料が分解して酸素を放出する反応が進む、という 2 点が挙げられます。

今回の取り組み

2022年4月、東北大学金属材料研究所の吉川彰教授と同大学未来科学技術共同研究センターの鎌田圭准教授及び株式会社 C&A の研究グループは、貴金属ルツボを使用しない革新的結晶育成技術として Oxide Cystal growth from Cold Container, OCCC法を開発（図1）し、 β -Ga₂O₃バルク単結晶の作製に成功しました（図2）。この方法はスカルメルト法と引上げ法の融合です。すなわち、 β -Ga₂O₃融液の電気抵抗率が低い特徴を活かし、 β -Ga₂O₃融液を直接加熱することで、融液と冷却水で冷却されている銅製コンテナの間に原料焼結体ができ、それを容器にして融液を保持しつつ、種結晶を用いて引き上げ法により結晶を作製します。容器が原料焼結体のため、ルツボからのコンタミネーションがありません。研究グループは、結晶成長技術のみならず、 β -Ga₂O₃の融液を直接加熱できる、独自の高周波加熱装置を具備した結晶製造装置を開発し、この結晶育成を可能としました。

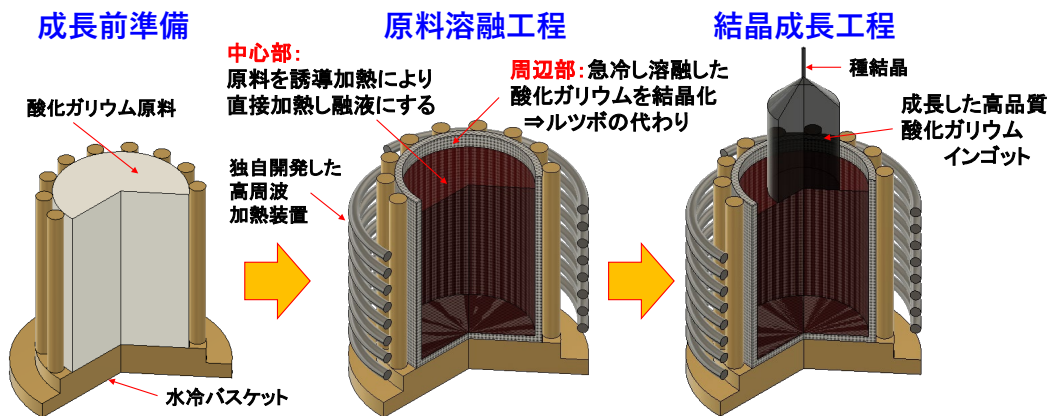


図1 OCCC法の概要図

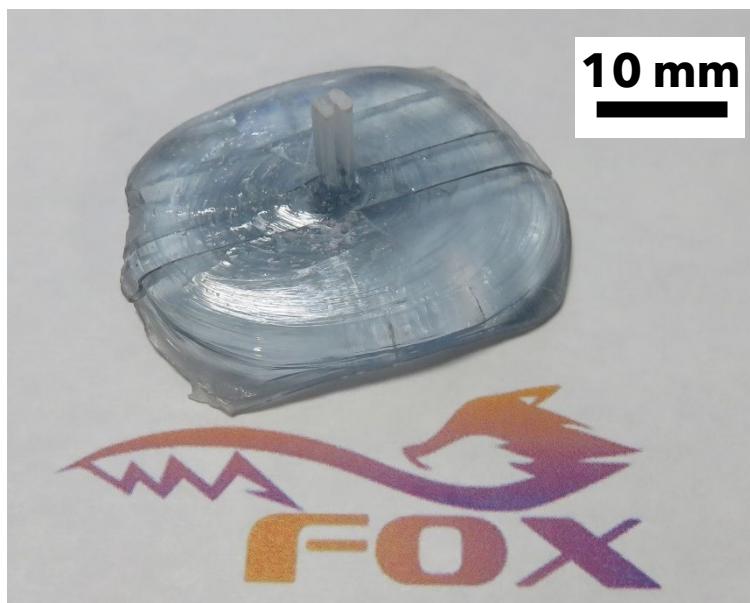


図2. OCCC法により作製した β -Ga₂O₃インゴット

今後の展開

研究グループは株式会社 FOX で、貴金属ルツボを使用しない革新的な結晶量産技術 OCCC 法を用いて、Si に匹敵する低欠陥の β -Ga₂O₃ インゴット・基板を SiC より安価に製造する技術の実用化を目指します。本技術により、酸化ガリウムの価格・品質の課題にブレイクスルーをもたらすことで、酸化ガリウムの次世代パワー半導体の社会実装に貢献し、2030 年予測で 470 億円（富士経済より）と極めて限定的にしか予測されていない酸化ガリウムの市場を桁違いに拡大することを狙います。

初期は OCCC 法を用いた半導体グレードの大口径化技術開発に集中し、技術開発を加速させ、2028 年中に 6 インチウエハの量産技術を確立します。その後、量産化工場の増設を進めるとともに 6 インチウエハの実証を進め、2033 年までに IPO を達成することを計画しています。

研究グループは日本が Si において依然としてイニシアチブを有しているインゴット・基板製造に特化し、パートナーVC のマクニカ・インベストメントパートナーズ、岩谷ベンチャーキャピタル、東北テックベンチャーズからは、成長のための資金のご支援を受けながら、株式会社マクニカや岩谷産業株式会社とも連携し、国内のみならず海外半導体メーカーへの市場開拓の連携を進め行く見込みです。

【謝辞】

なお、本研究開発の一部は文部科学省革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777、および JSPS 科研費 JP22H00204、「宮城県新エネルギー等環境関連設備開発支援事業」の助成を受けて実施されました。

【用語説明】

注1. ディープテック・スタートアップ支援基金／ディープテック・スタートアップ支援事業（DTSU）支援事業

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の支援事業の 1 つです。技術の確立や事業化・社会実装までに長期の研究開発と大規模な資金を要し、リスクは高いものの国や世界全体で対処すべき経済社会課題（カーボンニュートラル、資源循環、経済安全保障等）の解決に貢献することが期待される革新的な技術の研究開発を支援しています。

DTSU は最大 30 億円の研究助成が行われる事業で、3 つのフェーズ STS フェーズ（実用化研究開発（前期））、PCA フェーズ（実用化研究開発（後期））、DMP フェーズ（量産化実証）の段階においてディープテック・スタートアップに対し、研究開発や事業化のための支援を行われます。支援規模はベンチャーキャピタル（VC）からの出資額に応じて決定されます。今回、株式会社 FOX は STS フェーズに採択されました。

注2. パワーデバイス

直流を交流に変換するインバータ、交流を直流に変換するコンバータ、周波数変換などの機能を持つ電力変換器を構成する最も重要な半導体デバイスの総称です。電車や電気自動車、家電製品、照明器具、電磁調理器、コンピュータの電源部品など身近なさまざまな場面でパワー半導体が使用されています。パワー半導体とも呼ばれます。

注3. 融液成長

材料を融点まで加熱して溶かした後に冷却することで単結晶を作る方法です。Si や GaAs 等の半導体、LiTaO₃、LiNbO₃ 等の圧電体、Ce:Lu₂SiO₅、Ce:Gd₃(Al,Ga)₅O₁₂ 等のシンチレータなど、一般社会で使われている機能性単結晶の量産に最も多く用いられている結晶作製法の1つです。

【論文情報】

タイトル : Growth of bulk β -Ga₂O₃ crystals from melt without precious-metal crucible by pulling from a cold container

著者 : Akira Yoshikawa*, Vladimir Kochurikhin, Taketoshi Tomida, Isao Takahashi, Kei Kamada, Yashuhiro Shoji, Koichi Kakimoto

*責任著者 : 東北大学金属材料研究所 教授 吉川 彰

掲載誌 : Scientific Reports

DOI : 10.1038/s41598-024-65420-7

URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65420-7>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学金属材料研究所

教授 吉川 彰

TEL: 022-215-2217

Email: akira.yoshikawa.d8@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学金属材料研究所

情報企画室広報班

TEL: 022-215-2144

Email: press.imr@grp.tohoku.ac.jp