



2023年12月1日  
大阪公立大学  
東北大学

## 汎用品より放熱性が2倍向上！ 高放熱性窒化ガリウムトランジスタを実現

### <ポイント>

- ◇ダイヤモンド基板上に作製した窒化ガリウム（GaN）トランジスタ（図1）の性能を評価。
- ◇炭化ケイ素基板を用いた GaN トランジスタと比べ、2倍以上の優れた放熱性を実証。
- ◇5G 通信基地局や気象レーダーへの応用や小型化へも貢献。

### <概要>

窒化ガリウム（GaN）トランジスタは、高出力・高周波半導体素子として、モバイルデータ通信の基地局や人口衛星通信システムなどに应用されています。トランジスタは、動作時の発熱が性能や寿命の低下の原因となるため、下層となる基板にはより放熱性の高い材料を用いる必要があります。しかし、現在最も普及している炭化ケイ素（SiC）を基板に用いたトランジスタでも、動作時の放熱性は不十分です。

大阪公立大学大学院 工学研究科の梁 剣波准教授、重川直輝教授と東北大学金属材料研究所の大野 裕特任研究員、井上 耕治准教授、永井 康介教授、北京大学の Zhe Cheng 博士らの研究グループは、地球上で最も高い熱伝導率をもつダイヤモンドを基板に用いた GaN トランジスタを作製し、SiC 基板上に作製した同一形状のトランジスタと比べて、**放熱性を2倍以上高めることに成功**しました（図2）。今後は、5G 通信基地局や気象レーダー、衛星通信分野にとどまらず、従来真空管が使われてきたマイクロ波加熱やプラズマ加工分野への応用が期待されます。

本研究成果は、2023年11月15日（水）に国際学術誌「Small」に掲載されました。

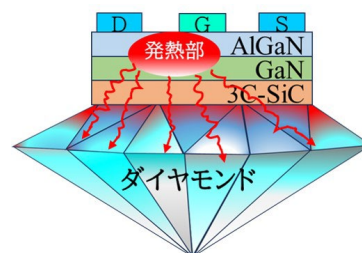


図1：ダイヤモンド基板上窒化ガリウムトランジスタ

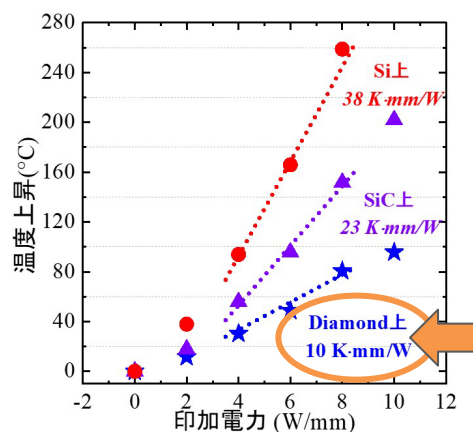


図2：Si、SiC、ダイヤモンド上に作製したトランジスタの放熱性の比較（同印加電力で温度上昇が小さいほど、放熱性は優れている）

ダイヤモンドの高い熱伝導率を最大限に発揮するには、界面の熱抵抗の低減が必要です。本研究では、GaN とダイヤモンドの間に 3C-SiC 層を導入したことにより、界面の熱抵抗を大幅に低減し、耐熱性を大幅に向上することができました。本成果によって GaN 素子の放熱性が向上することで、素子の小型化や機器の省スペース化が可能となり、CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に削減する、エコな新技術の実現が期待されます。



梁 剣波准教授

## <研究の背景>

GaN トランジスタが動作する際に発生する熱とそれに伴う温度上昇は、性能の劣化や素子寿命の短縮といった実用上の重要な課題であり、効果的な放熱手法の開発が必要不可欠です。このため、ダイヤモンドのような熱伝導率が非常に高い材料が、素子の放熱材料として注目されていますが、素子とダイヤモンドの接合が困難な点などから、期待されるレベルの放熱性の向上が得られず、実用化には至っていません。

本研究グループでは、ダイヤモンドの熱伝導率を最大限に活用するため、異種半導体材料との直接接合技術の開発を行っており、2022年3月には、Si基板から剥離したGaN層をダイヤモンド基板に接合したトランジスタの作製に成功しました。しかし、Si基板からの大面積GaN層の剥離や、1,100°Cでの耐熱性およびSiC基板以上の放熱性向上の実証には至っていませんでした。

## <研究の内容>

本研究ではまず、Si基板上に窒化ガリウム層（厚さ3 μm）と炭化ケイ素（3C-SiC<sup>\*</sup>）バッファ層（厚さ1 μm）を生成しました（図1）。その後、Si基板から2層を剥離し、表面活性化接合法を用いてダイヤモンド基板上に接合することで、約1インチのGaN トランジスタを作製しました（図2 a,b）。高品質な炭化ケイ素薄膜を用いることで、1,100°Cの熱処理を行った後でも接合界面に膜剥離が起こらず、高品質なヘテロ接合界面を得ることができます（図3 c）。

本方法で作製したダイヤモンド基板上GaN トランジスタの放熱性を検証するため、SiC基板上に作製した同一形状のトランジスタと比較しました。その結果、ダイヤモンド基板上のトランジスタは、SiC基板上のものに比べ、放熱性が2.3倍向上しました。また、他の先行研究で作製されたダイヤモンド基板上のトランジスタよりも高い放熱性を達成し、トランジスタ特性の大幅な改善に成功しました（図3 d）。

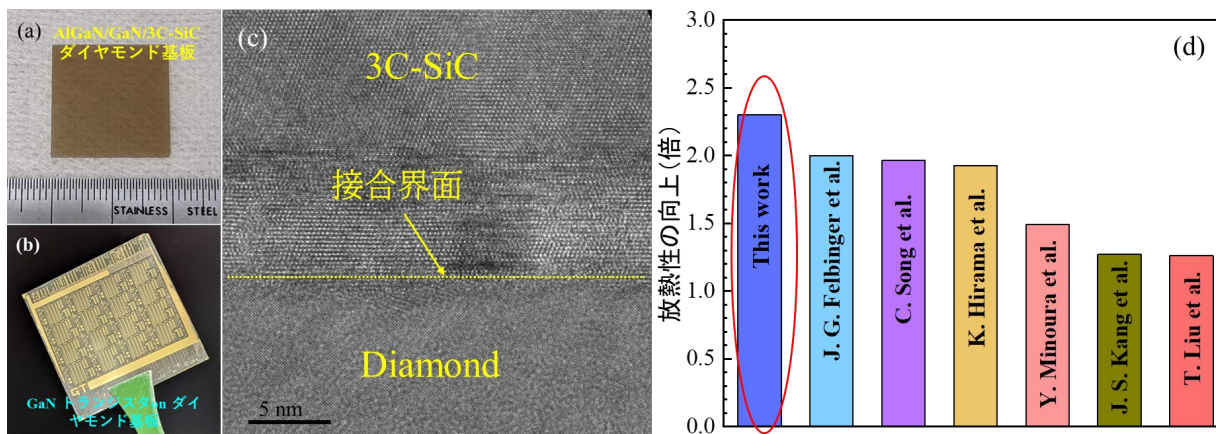


図3: (a) AlGaIn/GaN/3C-SiC層/ダイヤモンド接合試料、(b) ダイヤモンド上に作製された窒化ガリウムトランジスタの光学顕微鏡像、(c) 3C-SiC/ダイヤモンド接合界面の断面TEM像、(d) 本研究で作製したダイヤモンド基板上窒化ガリウムトランジスタと、他の先行研究で作製されたダイヤモンド上GaN トランジスタの放熱性向上倍率の比較

## <期待される効果・今後の展開>

本研究により、GaN パワー素子の放熱性や最大出力が大幅に向上しました。これにより、システムの小型化や冷却機構の簡素化が可能となり、CO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減にも寄与します。

今後、ダイヤモンド基板を用いた大面積窒化ガリウムトランジスタが実現することで、5G通信基地局や気象レーダー、衛星通信分野などの高出力・大電力用途へも利用の幅が広がることを期待されます。

## <資金情報>

本研究は、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）の助成事業（JPNP20004）、東北大学金属材料研究所附属 量子エネルギー材料科学国際研究センター共同利用研究（202112-IRKMA-0016）、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム（JPMXP09A21KT0006）からの支援を受けて実施されました。

## <用語解説>

※ 3C-SiC…SiC の多数のポリタイプの一つ（立方晶）で、立方体の結晶系。

## ■掲載誌情報

【発表雑誌】 Small

【論文名】 High thermal stability and low thermal resistance of large area GaN/3C-SiC/diamond junctions for practical device processes

【著者】 Ryou Kagawa, Zhe Cheng, Keisuke Kawamura, Yutaka Ohno, Chihara Moriyama, Yoshiki Sakaida, Sumito Ouchi, Hiroki Uratani, Koji Inoue, Yasuyoshi Nagai, Naoteru Shigekawa and Jiambo Liang

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1002/sml.202305574>

### 【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院 工学研究科  
准教授 梁 剣波（りょう けんぼ）

T E L : 06-6605-2973

E-mail : [liang@omu.ac.jp](mailto:liang@omu.ac.jp)

東北大学金属材料研究所  
教授 永井 康介（ながい やすよし）

TEL: 029-267-4156

E-mail: [yasuyoshi.nagai.e2@tohoku.ac.jp](mailto:yasuyoshi.nagai.e2@tohoku.ac.jp)

### 【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課  
担当：竹内

T E L : 06-6605-3411

E-mail : [koho-list@ml.omu.ac.jp](mailto:koho-list@ml.omu.ac.jp)

東北大学金属材料研究所  
情報企画室広報班

T E L : 022-215-2144

E-mail : [press.imr@grp.tohoku.ac.jp](mailto:press.imr@grp.tohoku.ac.jp)