次世代パワー半導体に最有力なα型酸化ガリウムの特性実測に成功

～炭化ケイ素や窒化ガリウムを置き換える省エネ素子の実現に一歩前進～

ポイント

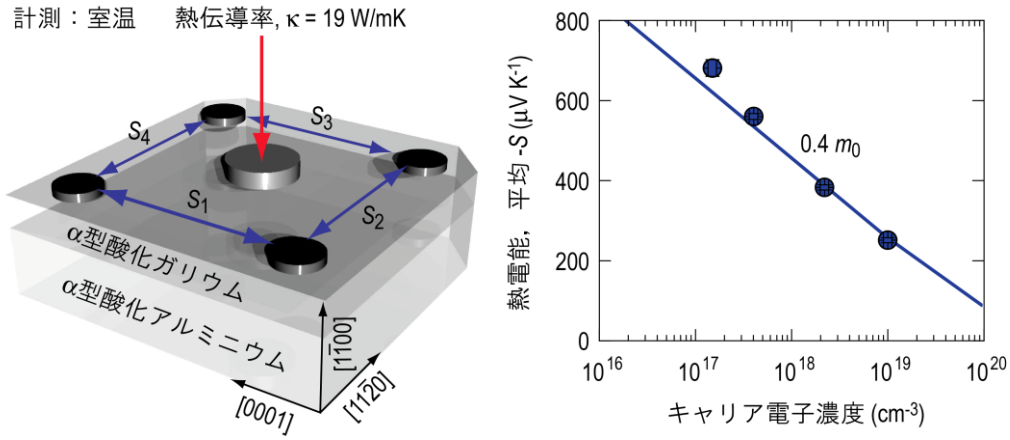
・次世代パワー半導体材料として最も期待されているα型酸化ガリウム薄膜の基本物性を初めて実測。
・α型酸化ガリウム薄膜の電子有効質量と熱伝導率の実測に成功。
・高耐圧パワーデバイスの設計に貢献。

概要

北海道大学電子科学研究所の太田裕道教授らの研究グループは、京都大学大学院工学研究科の田中勝久教授らの研究グループと共同で、次世代パワー半導体材料として最も期待されるα型酸化ガリウム（α-Ga_2O_3）*1 薄膜の電子有効質量*2 と熱伝導率*3 の実測に成功しました。これまで計算でしか高い特性が推定されていなかったα-Ga_2O_3 を用いた半導体デバイス設計における大きな進展と言えます。

α-Ga_2O_3 は光学バンドギャップ*4 が 5.3 電子ボルト（eV）と広く、高耐圧パワーデバイス用半導体*5 材料として期待されています。α-Ga_2O_3 を用いたパワーデバイスを設計するためには、電子有効質量と熱伝導率という、基本的な物性が必要不可欠ですが、これまでは実測値がほとんどなく、計算科学に依存していました。本研究では、ミスト CVD 法*6 によって作製した高品質α-Ga_2O_3 薄膜について、熱電能計測により室温でのキャリア電子有効質量を、時間領域サーモリフレクタンス法*7 により室温での熱伝導率を実測し、それぞれ 0.40 m_0（m_0：電子の静止質量）、19 ワット/メートル ケルビン（W/mK）であることを明らかにしました。本研究成果は、α-Ga_2O_3 を用いた高い電圧に耐えられるパワーデバイス設計における礎になると言えるでしょう。

本研究成果は、2026 年 11 月 5 日（木）に米国化学会（ACS）の専門誌 ACS Applied Electronic Materials にオンラインで掲載されました。



ミスト CVD 法により作製された高品質α型酸化ガリウム薄膜の熱電能と熱伝導率。
熱電能のキャリア濃度依存性から、電子有効質量が 0.40 m_0 であることが分かった。
また、熱伝導率は 19 W/mK であることが分かった。

【背景】

α-Ga_2O_3は、光学バンドギャップが 5.3eV と広く、高い絶縁破壊電界が期待されることから、高耐圧化に有利な材料として注目されています。特に、電気自動車のインバータやオンボードチャージャーなどの高電力機器では、高耐圧化と低損失化の両立が不可欠であり、材料の限界性能（バンドギャップ、臨界電界、熱物性など）がデバイス性能を決定します。α-Ga_2O_3は、特に絶縁破壊電界が大きく、パワー半導体の既存材料であるシリコン（Si)、炭化ケイ素（SiC)、窒化ガリウム（GaN）を凌駕する潜在能力を持つと言われており、世界的に研究開発競争が加速しています。α-Ga_2O_3の電子有効質量や熱伝導率といった基本物性は、デバイス設計に必要不可欠ですが、これまでは実測値はほとんどなく、計算科学に依存していました。本研究は、これまで計算でしか分からなかった基本物性を、実際の高品質薄膜で実測することに成功しました（表 1)。

【研究手法】

本研究では、α-Ga_2O_3薄膜の高品質化と精密計測の両立を実現するため、以下の三つの先端技術を組み合わせました。

1. ミスト CVD 法による高品質薄膜作製：ミスト CVD 法は、原料溶液を微細なミストとして基板に供給することで、比較的低温で酸化物薄膜を成長できる手法です。本研究では、キャリア濃度、結晶性、膜厚均一性に優れた α-Ga_2O_3薄膜を作製しました。
2. 熱電能計測による電子有効質量の決定（図 1a)：複数のキャリア濃度の試料を系統的に測定し、理論モデルと比較することで有効質量を高精度に抽出しました。
3. 時間領域サーモリフレクタンス法による熱伝導率測定（図 1b)：ピコ（１兆分の１）秒レーザーを用いた非接触・高時間分解能の測定により、薄膜の面直方向の熱伝導率を精密に評価しました。

【研究成果】

本研究では、α-Ga_2O_3薄膜について、以下の基本物性を実測しました。

電子有効質量（図 2b)：0.40 m_0 （m_0：電子の静止質量）→ 電子輸送特性やオン抵抗を評価する上で重要な物性値です。

熱伝導率：19 W/mK（室温）（図 2c）→ 高耐圧デバイスの熱設計や放熱設計に重要な物性値です。

これらの基本物性の実測値は、α-Ga_2O_3を用いたパワーデバイス研究における重要な基礎データとなります。

【今後への期待】

本研究成果は、α-Ga_2O_3を用いたパワー半導体設計における礎になると言えるでしょう。例えば、以下のような波及効果が期待されます。

(1) 電気自動車（EV）向け高耐圧パワーデバイスの性能予測が可能に：有効質量と熱伝導率の実測値が得られたことで、デバイスシミュレーションに実測値を取り入れることが可能となり、オン抵抗の最適化、放熱・熱設計の最適化、高耐圧化の限界予測などが可能になるでしょう。

(2) 材料開発・結晶成長の指針が明確化：今回の物性値は、結晶欠陥やドーピングの影響を議論するための基準となり、高移動度化、高熱伝導化、α相の安定化などの材料開発を加速するでしょう。

(3) 産業界との連携強化：EV メーカー、電力機器メーカー、材料メーカーが、α-Ga_2O_3を実用材料として評価するための基礎データが整ったことから、産学連携の加速が期待されます。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP26H02188、JP26H02198、JP25KJ0452 の助成を受けたものです。

論文情報

論文名	Experimental Determination of Carrier Effective Mass and Cross-Plane Thermal Conductivity in Mist-CVD-Grown Ge-Doped α-Ga_2O_3 Epitaxial Films（ミスト CVD 法により作製した Ge ドープ α-Ga_2O_3 エピタキシャル膜のキャリア有効質量および面直熱伝導率の実験的決定）
著者名	太田裕道[1]、若松 岳[2]、吉村充生[3]、田中勝久[2]（[1]北海道大学電子科学研究所、[2]京都大学大学院工学研究科、[3]北海道大学大学院情報科学院）
雑誌名	ACS Applied Electronic Materials（米国化学会電子材料学の専門誌）
ＤＯＩ	10.1021/acsaelm.6c01639
公表日	2026 年 11 月 5 日（木）（オンライン公開）

【参考図】

	Si	SiC	GaN	β型酸化ガリウム	α型酸化ガリウム
バンドギャップ (eV)	1.12	3.3	3.4	4.9	5.3
絶縁破壊電界 (MV/cm)	0.3	~3	~3.3	~8	~10
電子移動度 (cm^2/Vs)	~1400	~1000	~1300	~200	~100
電子有効質量 (m_0)	~0.3	~0.4	~0.2	~0.3	**0.40 (本研究、実測)**
熱伝導率 (W/mK)	~150	~400	~200	~27	**~19 (本研究、実測)**

表 1. 各種パワー半導体の物性比較。α-Ga_2O_3 の電子有効質量と熱伝導率は本研究で実測。

※各物性値は代表値であり、結晶方位、温度、キャリア濃度等によって異なる。

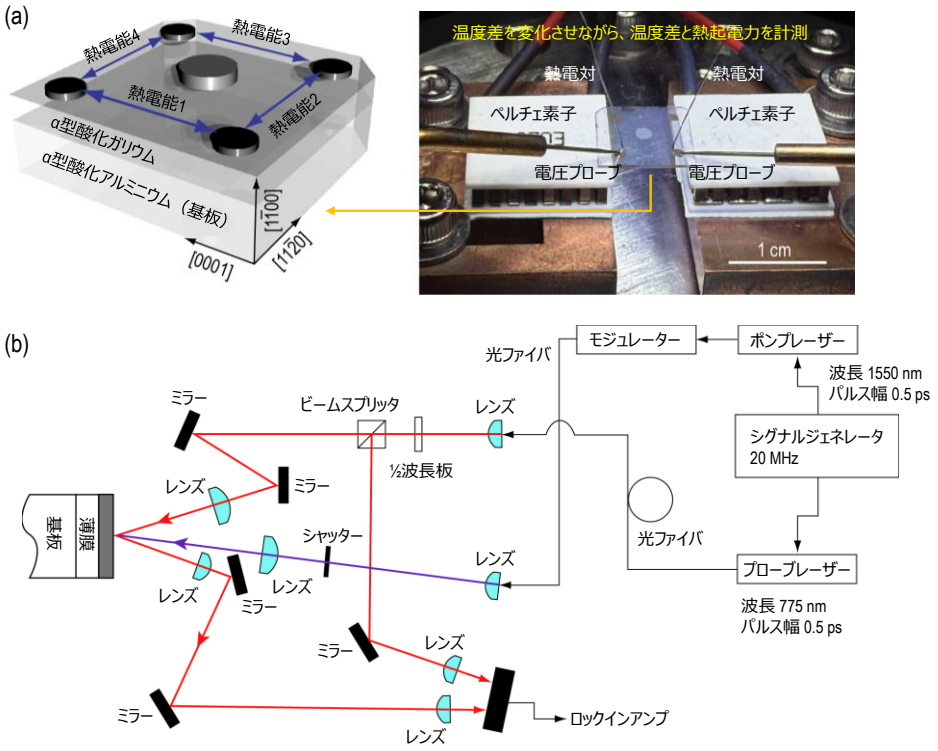


図 1. (a) 熱電能、(b) 熱伝導率の計測方法。熱電能計測装置は自作したもの。熱伝導率は市販装置（PicoTR、NETZSCH Japan 製）を用いて計測。

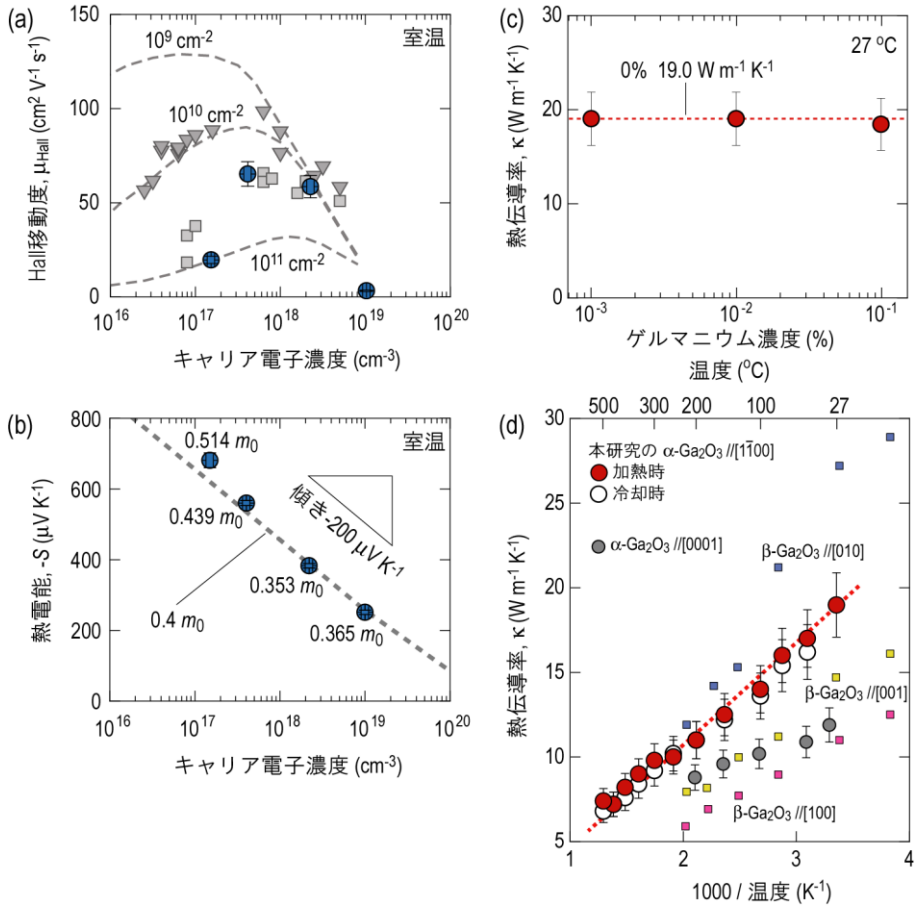


図 2. 電子有効質量と熱伝導率（室温）。(a) Hall 移動度のキャリア電子濃度依存性、(b) 熱電能のキャリア電子濃度依存性、(c) 室温における熱伝導率、(d) 熱伝導率の温度依存性

【用語解説】

＊1 α型酸化ガリウム（α-Ga_2O_3） … ガリウム（Ga）という金属と酸素（O）からできた新しい半導体材料。従来のパワー半導体以上の高い電圧に耐えられるため、電気自動車などの「大電力を扱う機器」のさらなる軽量化や省電力化を実現する材料として注目されている。

＊2 電子有効質量 … 半導体中で電子がどのように運動するかを表す基本的な物理量。電子有効質量は、電子の輸送特性や電気的性質を理解し、デバイスを設計する上で重要な指標である。

＊3 熱伝導率 … 材料が熱をどれだけ早く外へ逃がせるかを示す数字。熱が逃げにくいと、機器が熱くなりすぎて壊れてしまう。パワーデバイスでは特に重要。

＊4 光学バンドギャップ … 半導体が光を吸収する際に関係するエネルギーの大きさを表す値。この値が大きい半導体は、一般に通電の際に高い絶縁破壊電界を持つことが期待され、パワーデバイスの高耐圧化に有利である。

＊5 パワーデバイス用半導体 … 大きな電力をコントロールするための半導体。EV のモーターを動かしたり、太陽光発電の電気を家庭で使える形に変えたりする装置に使われる。高い電圧や熱に強い材料が必要になる。

＊6 ミスト CVD 法 … 原料を霧（ミスト）のようにして基板に吹きつけ、加熱して薄い膜を作る方法。装置が比較的シンプルで、きれいな酸化物の薄膜を作りやすい。今回の研究では、この方法で高品質なα-Ga_2O_3の膜を作った。

＊7 時間領域サーモリフレクタンス法 … 薄膜表面に白金などの薄膜を堆積し、その表面をパルスレーザーで瞬間的に加熱する。もう一つのパルスレーザーを白金などの薄膜に照射し、その反射率の時間変化から熱の流れを測定する熱伝導率計測手法。