

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05296

研究課題名(和文) ラマン分光法による新しい応力測定法を用いたワイドギャップ半導体電極界面の物性解明

研究課題名(英文) Research on physical properties of electrode interface on wide-gap semiconductor by a new stress measurement by Raman spectroscopy

研究代表者

須田 潤 (Jun, Suda)

中京大学・工学部・教授

研究者番号：20369903

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高温ラマンイメージング実験により、数種類の電極付ワイドギャップ半導体の電極界面の熱応力を非破壊で求め、FEM解析の計算結果と比較した。全ての電極付サンプルにおいて電極近傍のラマン線幅は電極遠方に対して広がっており、振動数シフトと線幅の相関から熱応力を求めることが可能であることがわかった。LOPCモードの電子物性解析を行い、GaNでは電極近傍において比抵抗が増加した。これは高温の界面熱応力により格子欠陥密度が増加したためであると考えられる。大電力PEシステムにおいて、高温動作時に熱応力に起因したワイドギャップ半導体のスイッチング損失の増加をもたらすと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温ラマンイメージング実験により数種類の電極付ワイドギャップ半導体の電極界面の熱応力を求めると同時にLOPCモードの電子物性解析を行い、GaNでは電極近傍における比抵抗の特性を非破壊測定できることに成功し、高温電子物性と熱応力の関係の一端を明らかにした。本研究方法を応用すると、高温動作時の大電力パワーエレクトロニクスにおいて熱応力によるワイドギャップ半導体のスイッチング損失の増加特性を予測できる。また、電極付サンプルにおいて電極近傍のラマン線幅は電極遠方に対して広がっており、振動数シフトと線幅の相関から熱応力を求めることが可能であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we analyzed thermal stress on several kinds of n-type widegap semiconductors in contact with an electrode up to 200 using micro-Raman spectroscopy and compared with those obtained by FEM analysis. The values of thermal stress were proportional to the temperature. We also calculated electron density, electron mobility, and resistivity in all of cases. In GaN, the dislocation density increasing with thermal stress with stress-temperature coefficient clearly. The density of lattice defects near the interface at 200 may be elevated by high thermal stress in plane near the interface. The increase in the density of lattice defects may be the reason why the resistivity values near the interface tended to increase significantly with increasing temperature in comparison with those far from the interface. This would lead to a clear increase in the switching power loss of widegap semiconductors with electrode film at high temperatures in power electronics applications.

研究分野：結晶工学

キーワード：顕微ラマン分光 ワイドギャップ半導体 熱応力 局所的電子物性 電子移動度 電子密度 比抵抗 金属積層薄膜電極

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

次世代大電力PE(パワーエレクトロニクス)システム用のワイドギャップ半導体であるSiC結晶に関しては、これまでに多種多様な研究が盛んに行われている。これらの次世代PEシステムに対してワイドギャップ半導体素子を応用するためには、大電力動作時にワイドギャップ半導体素子の高信頼性を獲得することが必要不可欠であり、高温領域におけるワイドギャップ半導体素子の電極界面近傍の熱応力による剥離や閾値の変動の問題を明らかにするとともに、高温領域の電子物性(移動度、電子密度)を非破壊で知ることが必要である。パワー半導体ICの電極界面近傍の熱応力に関する研究は、FEM解析を用いた巨視的なモデルに基づく計算が主流であり、第一原理を用いた結晶歪や熱膨張によるナノレベルのシミュレーションを用いた熱応力解析はあまり報告されていない。顕微ラマン分光法は、パワー半導体ICにおいて振動数シフトから電極界面の半導体の残留応力を非破壊で求める最も有力な方法の1つであるが、一般に半導体の残留応力による振動数シフトは $0.1\text{cm}^{-1}$ 程度の微小な値であるため、高温の熱膨張時の熱応力測定には難しくあまり利用されてこなかった。4H-SiCにおいてラマン分光を用いた残留応力や高温電子物性に関する研究の多くは、室温に限定されている[1]。パワー半導体ICにおける基本構造である電極付半導体において高温領域の熱応力と電子物性を電極界面の同一箇所測定できれば、電子物性と熱応力の関係を明らかにでき、大電力PEシステムにおける熱応力による半導体の格子欠陥に起因したスイッチング損失の関係を予測できる。これが本研究の着眼点である。

また研究代表者らは、ごく最近、新しいワイドギャップ半導体として注目されている、電極付n形4H-SiCの高温ラマンイメージング実験により、振動数シフトによる熱応力の測定を行った[2]。電極付半導体において電極近傍に近付く程、スペクトル幅が広がってくると仮定できるので、ラマンスペクトル幅と振動数シフトの相関関係を用いて電極界面の熱応力を求めることができれば、高精度な応力測定が可能になると期待される。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究では、ラマンスペクトルのイメージングを用いた実験により、高温状態のn形ワイドギャップ半導体(GaN, 4H-SiC, 6H-SiC, ZnO及び $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ )の電極界面の熱応力分布を求めることを主たる目的とする。得られた電極接触界面近傍の熱応力分布とFEM計算による熱応力を比較する。またラマンスペクトル幅と振動数シフトの相関関係を用いた電極界面の熱応力を求める方法を検討する。

(2) 熱応力下のワイドギャップ半導体のLOPCモードのラマンスペクトルの実験値から電極接触界面近傍の高温電子物性(移動度、電子密度、比抵抗)を求め、電極接触界面近傍の高温ワイドギャップ半導体表面の高温電子物性と熱応力の関係を解明する。

## 3. 研究の方法

(1) 電極付半導体のラマン分光実験による熱応力解析

本研究では、全面電極、半電極、円型電極の形状をもつ積層電極付ワイドギャップ半導体を製作し、顕微ラマン分光器を用いて、これらのサンプルについて室温から $200^\circ\text{C}$ までの温度範囲で $z(xx)\bar{z}$ の偏光条件とし、半導体表面(電極遠方)と半導体電極界面(電極近傍)のラマンイメージングの面測定をした。電極遠方と電極近傍の中心振動数シフトの差の $xy$ 平面の平均値 $\Delta f$ に2軸応力の変形ポテンシャル係数の逆数を乗じて熱応力を求めた。熱応力計算における2軸の変形ポテンシャル係数の値は第一原理計算より求め、4点曲げ試験器やダイヤモンドアンビルセルによる圧力負荷試験により評価した。ラマンイメージング実験により得られた熱応力をFEM解析により得られた計算値と比較して高温領域の電極接触界面におけるワイドギャップ半導体の熱応力分布を評価する。またラマンスペクトル幅と振動数シフトの相関関係を調べる。

(2) ラマンイメージングによる電極付半導体の電極界面の高温電子物性解析

高温ラマンイメージング実験により得られたLOPCモードのスペクトルについて電子プラズマ振動とフォノン非調和効果を仮定して誘電分散によるスペクトル解析を行った。高温電子物性解析のサンプルは、電極付ワイドギャップ半導体と、電極を蒸着していない半導体の両方について行った。各場合について電子密度、移動度、比抵抗を求め、ホール効果の温度依存性実験の結果と比較した。

## 4. 研究成果

(1) 電極付半導体のラマン分光実験による熱応力解析結果

最初にn形ワイドギャップ半導体(GaN, 4H-SiC, 6H-SiC, ZnO,  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ )に積層電極付サンプルを製作した。GaN, ZnO,  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶には真空蒸着によりAu/Ti/Cr積層電極を各膜厚100nmで作成し、 $\text{N}_2$ ガス中において $1000^\circ\text{C}$ で2分間熱処理した。4H-SiC, 6H-SiCについては、オーミック電極を考慮し、Au/NiやNi電極を膜厚100~200nmで真空蒸着し、 $1000^\circ\text{C}$ で2分間熱処理した。これらの作成されたサンプルの電極中央の界面近傍について $z(xx)\bar{z}$ の高温ラマンイメージングの偏光測定を行い、高強度のラマンスペクトルの電極近傍と電極遠方の振動数シフト差の面平均 $\Delta f$ を測定し、これに変形ポテンシャル係数の逆数を乗じて、2軸の熱応力を求めた。電極付GaNサンプルの場合の2軸熱応力は以下の様になる。

$$\Delta\sigma_{in-plane}(MPa) = -333\Delta\omega_{E_2}(cm^{-1}). \quad (1)$$

ここで、式(1)における変形ポテンシャル係数の値は Ahmad ら[3]の場合とほぼ一致し、本研究の4点曲げ試験の結果と10%以内で一致した。さらに Ahmad ら[3]により、GaNの転移による格子欠陥密度は熱応力の温度変化の増加に従い、大きくなることが報告されている。Fig.1に示す様に、高温ラマンイメージング測定において  $xy$  方向については  $10\mu\text{m}$  間隔で  $4\times 4$  点、 $z$  方向については  $37\mu\text{m}$  間隔で5点として測定した。ここで電極付 GaN サンプルにおいて、屈折率  $n=2.33(\lambda=532\text{nm})$  を考慮し、蒸着されていない半導体の表面からの深さ  $150\mu\text{m}$  が実際の  $350\mu\text{m}$  の半導体基板の厚さ、即ち電極界面の深さに一致する。

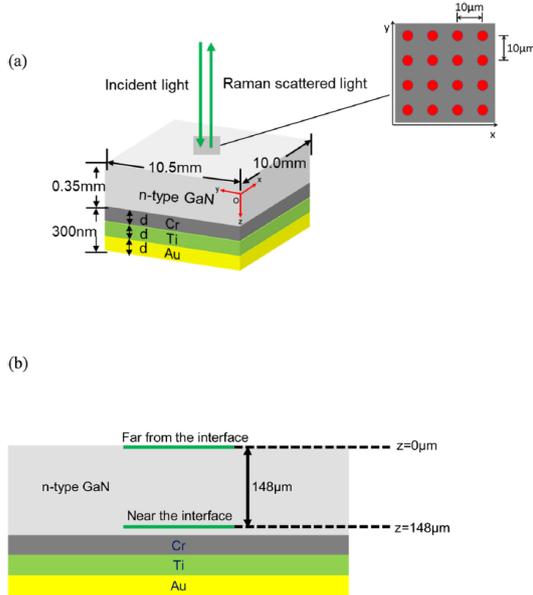


Fig. 1: (a) Dimensions of n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr film electrode and the conditions for 3D-Raman imaging measurement. (b) In the case of the maximum  $z$  value ( $z = 148\mu\text{m}$ ), we measured the region at  $30 \times 30\mu\text{m}^2$  just below the electrode.

Fig.2 に電極近傍と遠方の  $E_2^H$  モードのラマンスペクトルの温度変化の測定例を示す。いずれの場合も温度上昇による熱膨張効果により低振動数側にシフトするが、同じ測定温度において電極界面近傍の  $E_2^H$  モードのスペクトルの方が電極遠方より大きなラマンシフトを示すことがわかる。これは電極近傍において熱膨張効果による振動数シフトに加え、引張応力による低振動数側への振動数シフトが加わっていることを示す。  $E_2^H$  モードのラマンスペクトルの原子振動はほぼ  $xy$  方向に振動成分をもち、2軸応力に敏感な振動モードであることを第一原理計算より確認した。Fig.3に示す様に電極遠方に対して電極近傍のラマン線幅は顕著に広がっており、電極近傍における結晶歪が電極遠方より増加すること示している。また、高温実験後に電極付半導体サンプルの半導体内部の CT 画像を測定し、残留応力のイメージング構造解析することにより  $4\mu\text{m}$  以上のクラックは発生していないことを確認した。

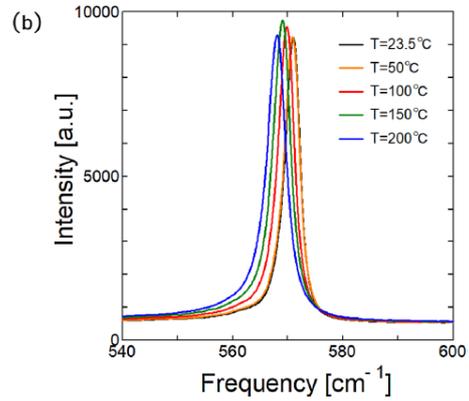
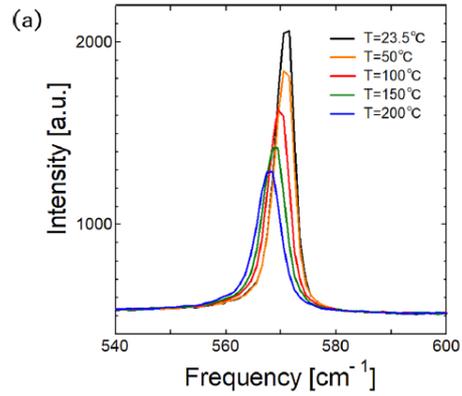


Fig.2: Temperature dependence of Raman spectra for the  $E_2^H$  mode near the interface in comparison with those far from the interface in n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr film electrode. (a): near the interface; (b): far from the interface.

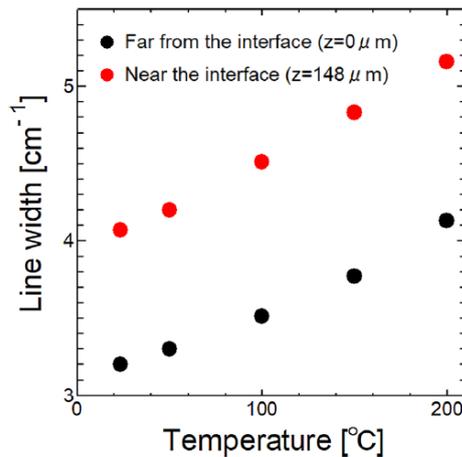


Fig.3: Temperature dependence of Raman linewidth for the  $E_2^H$  mode near the interface in comparison with those far from the interface in n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr electrode film.

次に Table I に電極付 GaN の界面熱応力の FEM 計算で用いた入力データを示す。Fig.4 に示す様に、解析モデルは Au/Ti/Cr 電極付 GaN の構成は縦型 GaN MOS-FET のドレイン電極と n 形半導体基板[3]である。サンプルの Au 薄膜側は、Ag ヒータ上に接触し、固定されていない。サンプル全体は xy 方向に自由膨張及び伸縮する。ここで GaN のヤング率、ポアソン比は Ahmad ら[3]の場合と一致している。また、GaN に関しては温度依存性をもつ線膨張率の値[4]を用いて界面熱応力を計算した。高温ラマンイメージング実験による界面熱応力の値と FEM 解析による計算値は Fig.5 に示す様に非常に良く一致し、界面熱応力は温度にほぼ比例することがわかる。

**Table I.** Input parameters for FEM analysis in n-type GaN in contact with the Au/Ti/Cr electrode film. The elastic modulus, the Poisson's ratio, the density, and the temperature dependent linear expansion coefficient are denoted by E,  $\nu$ ,  $\rho$ , and  $\alpha$ , respectively. Each value of those parameters is referred to in [3-8].

Substance	E(GPa)	$\nu$	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\alpha$ ( $\times 10^{-6}$ °C)
GaN	290 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	6.15 <sup>c</sup>	3.1 <sup>d</sup> (26~100 °C)
				3.8 <sup>d</sup> (150~200 °C)
Cr	279 <sup>e</sup>	0.21 <sup>e</sup>	7.19 <sup>b</sup>	6.2 <sup>e</sup>
Ti	160 <sup>e</sup>	0.32 <sup>e</sup>	4.506 <sup>b</sup>	8.4 <sup>e</sup>
Au	79 <sup>e</sup>	0.44 <sup>e</sup>	19.32 <sup>b</sup>	14.3 <sup>e</sup>

<sup>a</sup> [3], <sup>b</sup> [6], <sup>c</sup> [7], <sup>d</sup> [5], <sup>e</sup> [8]

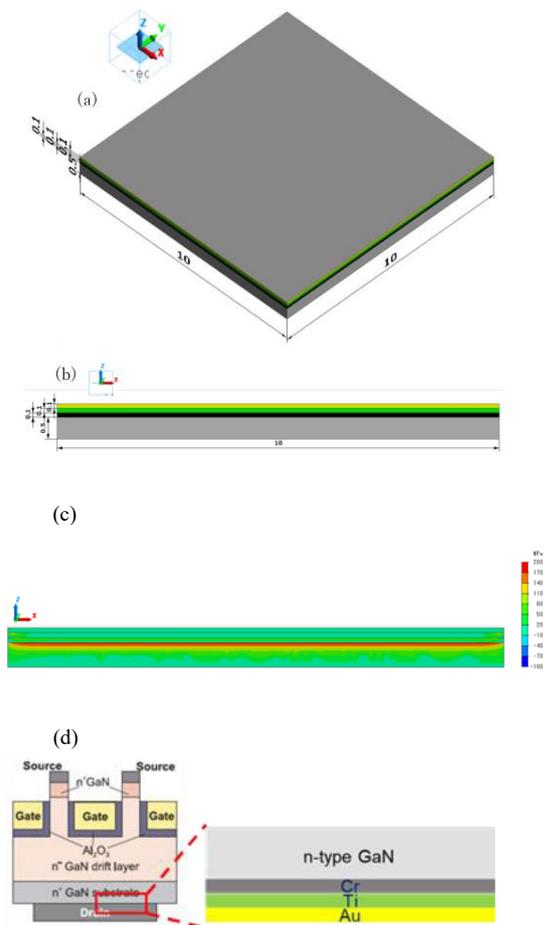


Fig.4: The n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr electrode film was used for FEM calculations.

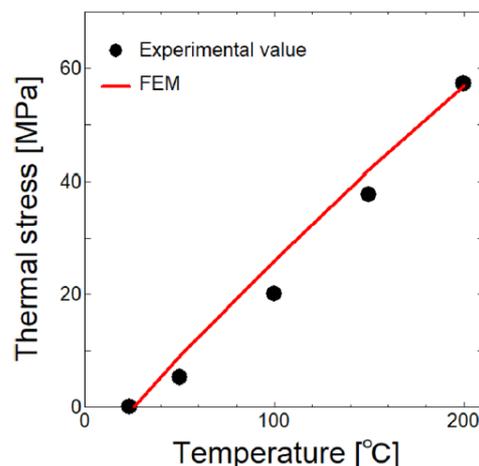


Fig.5: Temperature dependence of the experimental average values of  $\Delta\sigma_{in-plane}$  based on room temperature near the interface by 3D Raman spectroscopy and the ones calculated by FEM analysis.

また  $E_2^H$  モードのラマンスペクトルのラマンスペクトル幅と振動数シフトの相関関係を求めたところ、ほぼ直線になることがわかった。この相関関係を用いてラマン線幅から熱応力を解析することが十分に可能であると考えられる。

Fig.6 に Au/Ni 電極付 4H-SiC サンプルの場合の界面熱応力の結果を示す。本研究では他の電極付ワイドギャップ半導体について同様の研究を行った。いずれの場合についても高温ラマンイメージング実験による界面熱応力の値と FEM 解析による計算値は良く一致し、界面熱応力は温度にほぼ比例することがわかった。

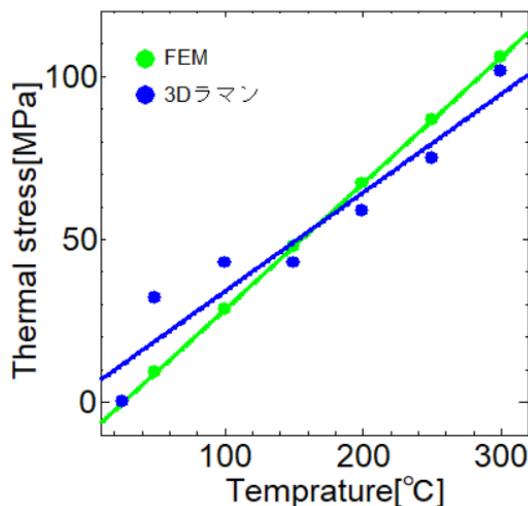


Fig.6 Temperature dependence of the experimental values of thermal stress near the interface the n-type 4H-SiC crystal in contact with the Au/Ni film electrode by Raman spectroscopy and the ones calculated by FEM analysis.

(2) ラマンイメージングによる電極付半導体の電極界面の高温電子物性解析結果

電極付 GaN サンプルで  $E_2^H$  モードのラマンスペクトルと同時に測定された LOPC モードのラマンスペクトルを解析し、LOPC モードのラマンスペクトルの実験結果を再現できた (Fig.7). これより電極近傍と電極遠方の電子密度、電子移動度、比抵抗の温度依存性を求めることができた。これらの高温電子物性の解析結果を Fig.8 に示す。電極遠方の高温電子物性は電極が蒸着されていないサンプルの場合とほぼ一致し、高温電子物性値はホール効果の温度依存性の実験値に近い値となった。

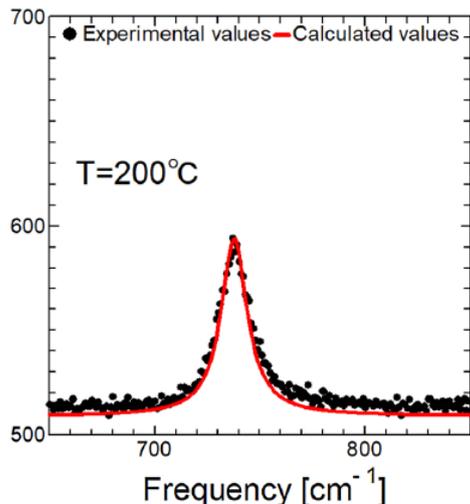


Fig.7: An example of the calculated spectra for the LOPC mode and experimental spectra near the interface of the n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr film electrode (200 °C).

電極遠方の電子密度の温度依存性 (Fig.8(a)) は温度に対してほぼ一定となり、ワイドギャップ半導体の出払い領域を示す。それに対して電極近傍の電子密度は温度上昇とともに低下する特性となった。電子移動度の温度依存性 (Fig.8(b)) は電極近傍、遠方ともに、 $T^{-3/2}$  に比例し、格子散乱に起因した特性を示す。電極近傍の比抵抗の温度変化 (Fig.8(c)) は、電極遠方の特性に対して大きくなり、室温の比抵抗に対して約 3.8 倍なった。Ahmad ら [3] の GaN の格子欠陥密度と熱応力の関係の報告と比較すると、我々の熱応力の温度変化の値と同じ条件で格子欠陥密度が増大する。従って電極近傍の GaN で転移による格子欠陥密度が高温で増大し、電極近傍の比抵抗が温度上昇により増加したと考えられる。本研究で得られた知見を用いて、大電力 PE システムの高温熱応力による半導体の格子欠陥に起因したスイッチング損失を予測できると考えられる。

(参考文献)

- [1] N. Sugiyama *et al*, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **1963**, (2014) 107.  
 [2] J. Suda, S. Suwa, S. Mizuno, K. Togo, Y. Mastuo, *Spectrochimica Acta Part A* **193** (2018) pp.393-396.

- [3] I. Ahmad, M. Holtz, N.N. Faleev, H. Temkin, J. Appl. Phys. **95** (2004) pp.1692–1696.  
 [4] J. Hu, Y. Zhang, M. Sun, D. Piedra, N. Chowdhury, T. Palacios, Mater. Sci. Semicond. Proc. **78** (2018) pp.75-84.  
 [5] M. Leszczynski, T. Suski, H. Teisseyre, P. Perlin, I. Grzegory, J. Jun, S. Porowski, J. Appl. Phys. **78** (1994) pp.4909–4911.  
 [6] H. Eisenmann, K-H. Schäfer, A. M. Hellwege, eds. Landolt-Börnstein-Group III Condensed Matter 14A, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998.  
 [7] O. Madelung, U. Rössler, M. Schulz, eds. Landolt-Börnstein - Group III Condensed Matter 41A1β, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002.  
 [8] National Astronomical Observatory of Japan. Chronological Scientific Tables, Maruzen **218** (2021) p.221.

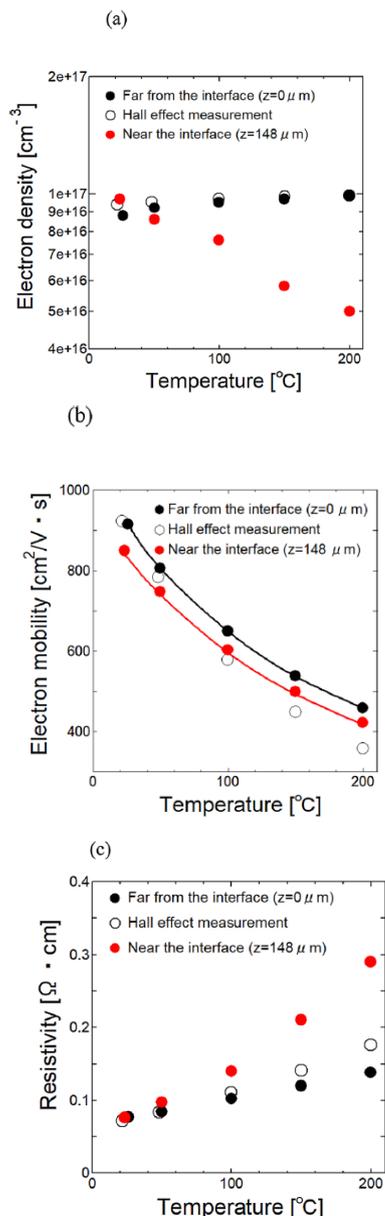


Fig.8: Temperature dependence of (a) electron density, (b) electron mobility, and (c) resistivity near the interface of the n-type GaN crystal in contact with the Au/Ti/Cr film electrode by spectral analysis in the LOPC mode in comparison with those far from the interface.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kawase Motoki, Suda Jun	4. 巻 60
2. 論文標題 Temperature dependence of the local electronic properties of n-type GaN crystals by micro-Raman spectroscopy and dielectric dispersion at high temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 048002 ~ 048002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abec10	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Kawase, J. Suda	4. 巻 -
2. 論文標題 Temperature Dependence of Local Electronic Properties of N-type GaN Crystals by Micro-Raman Imaging and Dielectric Dispersion at High Temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Extended Abstracts of The 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials	6. 最初と最後の頁 285 ~ 286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 川瀬 幹貴, 須田 潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法とスペクトル解析による多層電極付n形GaN結晶の高温電子物性に関する研究
3. 学会等名 MES2021 (第31回マイクロエレクトロニクスシンポジウム)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 聖也, 須田 潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法による多層電極付n形4H-SiC結晶の高温状態における熱応力解析に関する研究
3. 学会等名 MES2021 (第31回マイクロエレクトロニクスシンポジウム)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加悦 港人、須田 潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法とスペクトル解析による多層電極付n形ZnO結晶の高温電子物性に関する研究
3. 学会等名 MES2021 (第31回マイクロエレクトロニクスシンポジウム)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤聖也, 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法による多層電極付n形4H-SiC結晶の高温電子物性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 各務 良哉 , 鳥本 祐 , 須田 潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法による多層電極付n型 -Ga2O3結晶の高温電子物性の熱応力効果
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマン分光法による積層電極付ワイドギャップ半導体の高温電子物性・熱応力の非破壊評価の取り組み
3. 学会等名 日本機械学会 第15回 RC287「新時代の電子デバイスと電子機器における信頼性設計評価と熱設計に関する研究分科会」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 各務 良哉 , 鳥本 祐 , 須田 潤
2. 発表標題 ラマン分光法による多層電極付n型 - Ga2O3結晶の熱応力に関する研究
3. 学会等名 令和3年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Kawase, J. Suda
2. 発表標題 Temperature Dependence of Local Electronic Properties of N-type GaN Crystals by Micro-Raman Imaging and Dielectric Dispersion at High Temperatures
3. 学会等名 the 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加悦港人, 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングとスペクトル解析によるn形ZnO 結晶の高温電子物性に関する研究
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川瀬幹貴, 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる高温状態のn形GaN 結晶の電子物性に関する研究
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤豪紀, 山田孝治, 須田潤, 上木雄也
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる電極付きn形 -Ga203 結晶の残留応力の研究
3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬幹貴, 須田潤, 今井壮輔, 藤井遼河
2. 発表標題 3Dラマンイメージング法による電極付GaN 結晶の残留応力に関する研究
3. 学会等名 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬幹貴, 今井 壮輔 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる高温領域のAu/Ti/Cr電極付n形GaN結晶のラマンスペクトルの温度依存性に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤豪紀, 山田孝治, 須田潤
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる高温領域のAu/Ti/Cr電極付n形 -Ga203結晶のラマンスペクトルの温度依存性に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須田潤, 川瀬幹貴, 今井壮輔, 藤井遼河
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる高温領域におけるAu/Ti/Cr電極付n形GaN 結晶の残留応力分布に関する研究
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須田潤, 佐藤豪紀, 山田孝治
2. 発表標題 顕微ラマンイメージングによる高温状態の電極付n形 -Ga2O3結晶の電子物性に関する研究
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 須田潤他63名	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社 技術情報協会	5. 総ページ数 405
3. 書名 ラマン分光スペクトルデータ解析事例集～高分子、電池、電子デバイス、炭素材料、ガラス、医薬品、食品、細胞・組織～	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------