

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20428

研究課題名（和文） -及び -酸化ガリウム中の深い準位の定量と結晶成長における制御

研究課題名（英文）Deep levels in gallium oxide homoepitaxial layers

研究代表者

鐘ヶ江 一孝（Kanegae, Kazutaka）

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・助教

研究者番号：30962435

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：酸化ガリウムのポテンシャルを最大限に引き出した電子デバイスを設計・作製するためには、デバイス特性に影響を与える酸化ガリウム中の深い準位に関する深い理解と制御が必須であり、深い準位の定量を精密に行うことは重要である。本研究ではまず、酸化ガリウムエピタキシャル成長層中の深い準位の定量に向けて、評価用デバイス作製と測定系の構築を目指した。深い準位の定量手法として本研究では容量過渡分光法に着目し、評価用デバイスの -酸化ガリウムSchottky障壁ダイオードの試作を行った。理想的な特性を示すデバイスを再現性良く作製することに成功した。測定系も刷新し、効率よくより高精度に測定することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体結晶中の深い準位は、半導体の電氣的・光学的性質に大きな影響を及ぼすため、その研究は学術的に重要である。また、電子デバイスにおいて、そのデバイス特性に大きく影響を与える半導体デバイス活性領域に存在する深い準位の理解を十分に深め、制御していくことは、デバイス性能の向上に直結するため、半導体パワーデバイス応用が期待される酸化ガリウム中の深い準位に関する研究は、徹底した省エネルギー社会に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：To design and manufacture devices that maximize the potential of gallium oxide, it is essential to have a deep understanding and control of the deep levels in gallium oxide that affect device characteristics. Accurate quantification of deep levels in gallium oxide is important.

In this study, development of device processes and a measurement system for quantifying deep levels in gallium oxide epitaxial layers were performed. As a method for quantifying deep levels, capacitance transient spectroscopy was focused, and prototypes of -gallium oxide Schottky barrier diodes were fabricated for evaluation purposes. We successfully manufactured devices with ideal characteristics consistently. The measurement system was also revamped, enabling more efficient and higher precision measurements.

研究分野：半導体物性評価

キーワード：酸化ガリウム 点欠陥 過渡容量分光法

1. 研究開始当初の背景

酸化ガリウムのポテンシャルを最大限に引き出した電子デバイスを設計・作製するためには、デバイス特性に影響を与える酸化ガリウム中の深い準位に関する深い理解と制御が必須であり、深い準位の定量を精密に行うことは重要である。本研究では、パワーデバイス応用が期待されている酸化ガリウム半導体[1]について、デバイス活性領域の深い準位に関する研究に取り組んだ。

過渡容量分光法にて深い準位を検出するために、所属する研究グループにて、理想的な Schottky 障壁ダイオードのプロセス環境を整えた。また、所属する研究グループにて過去に使用されていた過渡容量測定装置について、装置の老朽化に伴い、運用が不可能であったため、最先端の研究用途に実用可能な状態となるよう、測定装置の大幅改修を行った。

2. 研究の目的

深い準位の定量手法として本研究で用いる容量過渡分光法では、接合容量のごくわずかな過渡変化から深い準位の物性や密度を定量する。このため、精密な定量には、理想的な Schottky 界面の形成が必須である。本研究ではまず、酸化ガリウムエピタキシャル成長層中の深い準位の定量に向けて、 β -酸化ガリウム Schottky 障壁ダイオードの試作検討と測定装置の大幅改修を目指した。

3. 研究の方法

ハイドライド気相成長法により成長した β -酸化ガリウムホモエピタキシャル成長層に有機及び無機洗浄を施し、ホモエピタキシャル成長層表面のパーティクル等を除去した。次に、表面に Ni-Schottky 電極を、裏面にオーミック電極を、抵抗加熱蒸着法によってそれぞれ形成し、図 1 に示す縦型 Schottky 障壁ダイオードを試作した Schottky 障壁ダイオードのデバイス特性を評価した。試作した Schottky 障壁ダイオードが理想的な特性を示すことを確認した後、試作したデバイスを標準試料として、測定系の改修に取り組んだ。

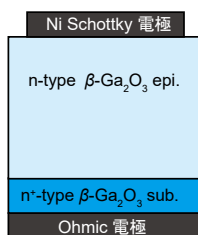


図 1 試作した縦型 Ni/ β -Ga₂O₃ Schottky 障壁ダイオードの断面模式図。

4. 研究成果

試作した Schottky 障壁ダイオードは、理想的な電流-電圧特性(図 2)及び接合容量-電圧特性を示した。接合容量-電圧特性から、図 3 に示すようにホモエピタキシャル成長層の実効ドナー密度・接合の拡散電位等の基本的な物性値を得られた。Schottky 障壁ダイオードの試作検討で得られたプロセスレシピ・知見により、 β -酸化ガリウム中の深い準位の定量のためのデバイスを再現性良く作製することが可能となった。

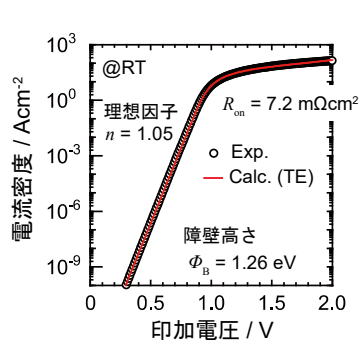


図 2 試作した Ni/ β -Ga₂O₃ Schottky 障壁ダイオードの順方向電流電圧特性。

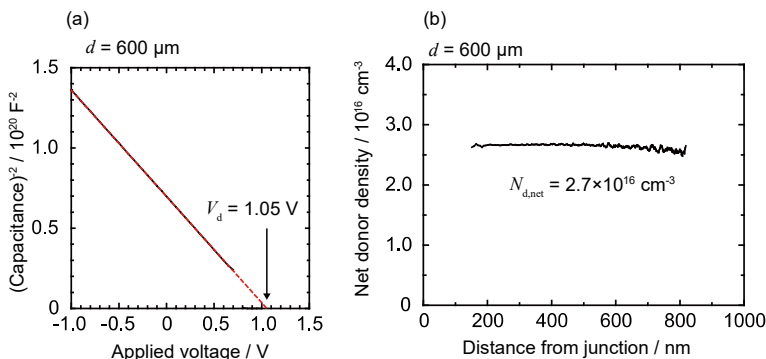


図 3 試作した Ni/ β -Ga₂O₃ Schottky 障壁ダイオードの接合容量-電圧特性から得られた(a) $c^{-2} - V$ プロットと (b) ホモエピタキシャル成長層中の実効ドナー密度の深さ方向分布。

デバイスプロセスの再現性の確認も兼ねて、実効ドナー密度と Ni Schottky 障壁高さのウェハマッピング測定を実施した。結果を図 4 に示す。深い準位の定量測定に前提となる理想的な評価デバイスを高い再現性で作製するノウハウの構築と、物性値の評価体制が整った。

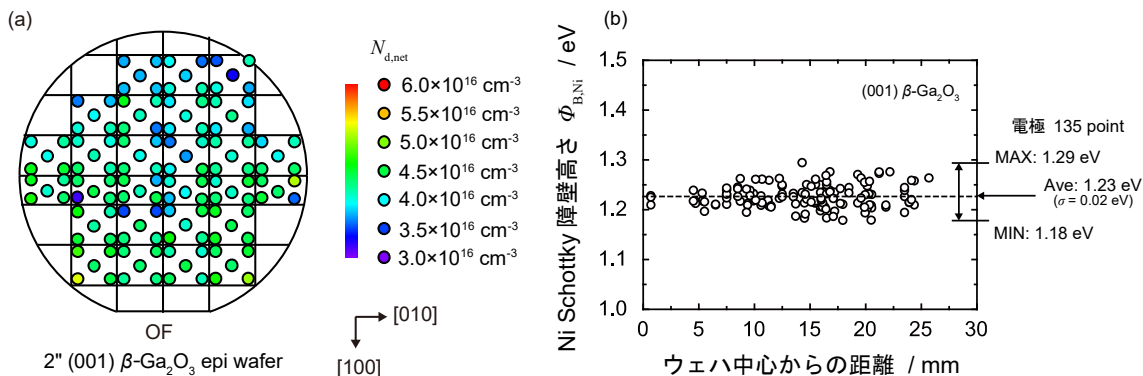


図 4 Ni/ β -Ga₂O₃ Schottky 障壁ダイオードを用いた(a) ホモエピタキシャル成長層の実効ドナー密度のウェハマッピングと(b) Ni Schottky 障壁高さのウェハ内分布のデモンストレーション結果。

より精密な測定を可能にするために、容量過渡分光法に用いる測定装置の大幅な改修を行った。具体的には、キャパシタンスメータ以外の各計測機器や温度制御器をほぼすべて刷新し、これらを自動で制御するシステムを独自開発した。この改修により、測定精度の向上・測定時間の短縮に成功した。作製した β -酸化ガリウム Schottky 障壁ダイオードを標準試料として、改修した測定装置を用いた等温過渡容量分光測定を実施した。等温過渡容量分光スペクトルの例を図 5 に示す。測定温度 300 K では、接合容量の 1/1000 程度の微小過渡容量成分から深い準位 E2* の検出に成功した。また、室温付近の測定温度にて検出された β -酸化ガリウム中の深い準位 E2* ($E_C - 0.74$ eV, $\sigma_n = 3 \times 10^{-14}$ cm²) と E2 ($E_C - 0.78$ eV, $\sigma_n = 3 \times 10^{-15}$ cm²) のアレニウスプロットを図 6 に示す。本研究で得られた知見は、基礎的な知見にとどまるが、評価デバイス作製から測定・データ解析のノウハウの着実な構築に成功した。今後、構築した環境・体制を活用し、酸化ガリウム中の深い準位について、より詳細な研究を遂行することができる。

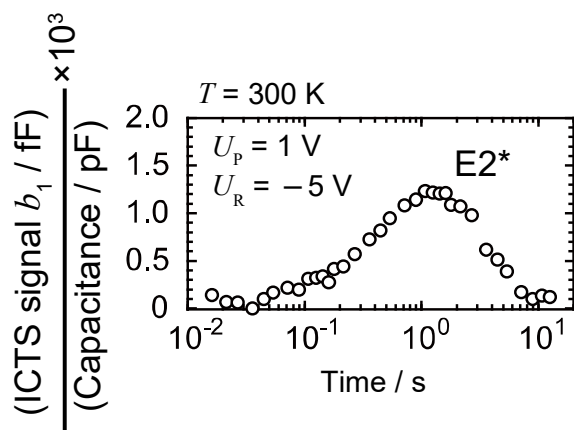


図 5 試作した Ni/ β -Ga₂O₃ Schottky 障壁ダイオードを用いて測定した等温過渡容量スペクトルの例。

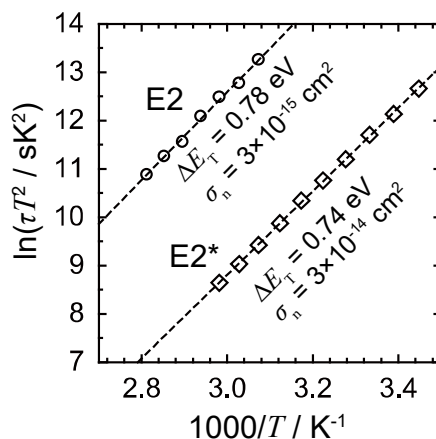


図 6 室温付近の等温過渡容量分光スペクトルにて検出された深い準位 E2* と E2 のアレニウスプロット。

引用文献

[1] M. Higashiwaki, et al., Semicond. Sci. Technol. 31, 034001 (2016).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鐘ヶ江 一孝, 堀田 昌宏, 西中 浩之, 木本 恒暢, 須田 淳
2. 発表標題 ワイドバンドギャップ半導体の点欠陥の定量
3. 学会等名 第16回ナノ構造エピタキシャル成長講演会（招待講演）
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------