

機械研磨した GaN 表面の格子欠陥評価

[研究代表者] 澤木宣彦 (工学部電気学科)

[共同研究者] 岩田博之、梅村 樹、隅田憲吾 (工学部電気学科)

研究成果の概要

世界的な気候変動をうけ、地球温暖化対策としての GX が取り上げられている。ワイドギャップ半導体 GaN を用いるデバイスは SiC デバイスとともに電気機器の省エネルギーにかかるキーデバイスとしての貢献が期待され、各所で研究開発が進められている。本研究では、パワーデバイス作製のために必須の基板形成工程の一つである機械的研磨によって導入される格子欠陥（転位）が電子的特性に及ぼす効果を光学的手法によって明らかにすることを内容としている。

まず、転位密度の低い MOVPE 成長 GaN エピタキシャル膜に粒度#8000 による機械的研磨を施し、PL 強度の変化を評価した。その結果、N 形、P 形を問わず PL 強度は著しく減衰した。次いで、PL 強度の励起強度依存性を評価したところ、全ての試料で線形的変化が見られた。これらの試料では、研磨による転位導入に伴って、キャリア寿命が短縮されることが検証された。他方、ドーピング濃度の低い試料では非線形的な励起強度依存性が示され、PL 強度の減衰には多数キャリア濃度の減少も寄与していることが示唆された。

ラマン散乱測定を行ったところ、機械的研磨によるフォノンエネルギーの強いブルーシフトが観測された。ブルーシフト量と PL 強度との関係性を評価したところ、ドーピングした試料では N 形、P 形を問わず線形的に変化したが、ドーピング濃度の低い試料では PL 強度は強い非線形的変化が見られた。この強い非線形的変化は PL 強度の励起強度依存性に見られた非線形性と対応しており、研磨によって多数キャリア密度が減少し、試料表面で空乏層厚さが増加した結果であることを簡単なポテンシャルモデルで説明することができた。

以上の結果、機械的研磨により導入される格子欠陥（転位）は、非輻射再結合センターとしての少数キャリア寿命の短縮効果のみならず、多数キャリアの捕獲・蓄積効果に直接的寄与をすることが明らかになった。

研究分野：半導体材料物性

キーワード：ワイドギャップ半導体、GaN、格子欠陥、光学特性、GX、地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

GX（グリーントランスフォーメーション）の施策に伴い、電気機器の省エネルギー化に貢献するデバイスとして、GaN、SiC などを用いる電力デバイス開発が精力的に進められている。GaN 電力デバイスに必須の厚膜結晶作製技術は未だに完成しておらず、その製造工程では、機械的・化学的研磨が行われている。機械的研磨では結晶表面に転位の導入を伴う塑性変形が誘起され結晶品質を著しく損なうことが分かっているが、転位の導入と電子・光特性との関係については理解が十分進んでいるとは言い難い。本研究は、GaN 結晶表面に導入さ

れる転位が、キャリア寿命に与える影響を光学的手法によって明らかにすることを内容としている。

2. 研究の目的

機械的研磨を施した GaN エピタキシャル膜の断面 TEM 像の解析から、表面の 500nm 程度の深さにまで転位が導入されることが分かってきた。この転位は成長中に導入される転位とは異なり、不純物導入などの付随的な要素が無いにもかかわらず光学的特性に大きな影響を与えるという特徴がある。本研究では、ホトルミネセンス（PL）強度変化を解析・評価することで、転位導

入による電子・正孔密度ならびにキャリア寿命の変化を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 試料

機械的研磨による転位導入効果を明確に識別するために、転位密度が低い MOVPE 成長 GaN エピタキシャル膜を供試試料に用いた。研磨には #8000 ラッピングフィルム（粒度 1 ミクロンのアルミナ砥粒）を用いた。

試料としては、不純物ドーピング濃度の異なる Si ドープ N 形と Mg ドープ P 形試料を用意した。

(2) PL スペクトルとラマン散乱スペクトル測定

He-Cd レーザ(325nm)を励起光源とする紫外線励起 PL/Raman 法において、顕微鏡対物レンズを介して試料上に集光し発光・散乱スペクトルを室温で測定した。励起光の GaN への浸入深さは 75 ミクロン程度で、PL 測定ではキャリア拡散長でできる深さ 200nm(N形)あるいは 600nm(P形)程度の領域の特性が得られ、ラマン散乱測定では励起光源の浸入深さ 75 ミクロン以下の情報が選択的に得られると期待される。これまでの TEM 観察では、200 ミクロン程度の深さまで高密度の C 面上転位が、さらに深い部位には {1-101} 面上または {11-22} 面上の転位が観測されていることから、ラマン散乱では主に最表面の C 面上転位の情報が得られると考えられる。

4. 研究成果

(1) PL 強度の変化と励起強度依存性

従来の結果と同じく、全ての試料について PL 強度は研磨によって著しく減衰した。そこで、PL スペクトルの励起強度依存性を精査した。全ての試料で 362nm にバンド端発光が見られ、P 形試料では 425nm にマグネシウム準位を介する発光が見られた。P 形試料では、図 1 に示すように前者は励起強度に比例して増加し、後者は高励起領域で飽和傾向が見られた。図 1 にはラマン散乱線の強度も併せて示したが、これも励起強度に比例して増加した。一方、N 形試料ではバンド端発光強度とラマン線が観測され、共に励起強度に比例して増加した。

以上の結果は、光励起された過剰キャリアの寿命が研磨によって短くなるモデルで説明できた。他方、ドーピング濃度の低い試料では、PL 強度は励起強度に対して

スーパーリニア的变化を示し、多数キャリア濃度の変化が関与していることが示唆された。

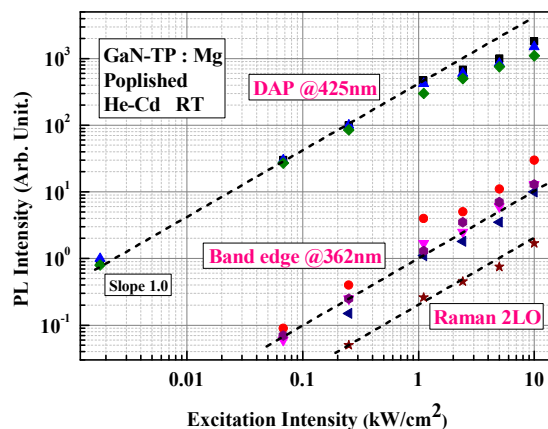


図 1 P-GaN の PL 励起強度依存性

(2) ラマンシフトと PL 強度との関係

研磨による LO フォノンエネルギーのブルーシフトが観測されたが、シフト量と PL 強度との関係は図 2 に示すように、試料へのドーピング濃度によって異なることが分かった。即ち、ドーピング濃度が高い場合には、シフト量と PL 強度とは線形的に変化したが、ドーピング濃度が低い場合は PL 強度は指数関数的に変化した。

後者の指数関数的変化は PL の励起強度依存性に非線形的変化が見られたことに対応し、研磨によって多数キャリア密度が減少し、表面空乏層が増加するポテンシャルモデルで説明できた。

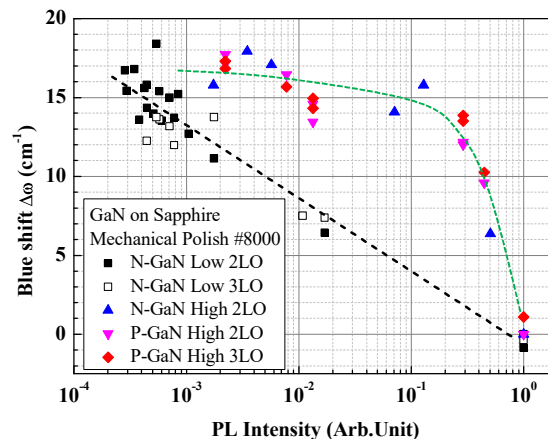


図 2 ラマン線のブルーシフトと PL 強度との関係

5. 本研究に関する発表

(1) Itsuki Umemura, Kengo Sumita, Masahiko Demachi, Kentaro Osakabe, Hiroyuki Iwata and Nobuhiko Sawaki " Degradation of Photoluminescence Intensity Induced by Mechanical Polish in a GaN Epitaxial Layer", ISPLasma2023, Gifu Univ., 07aD06O, 2023 年 3 月