

GaN エピタキシャル膜の光学的特性

[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、水谷大輝、大谷雅也、前原秀伍 (工学部電気学科)

研究成果の概要

ワイドギャップ半導体 GaN は、白色 LED 用材料として広く用いられているが、低炭素社会実現のための省エネルギー技術革新への貢献が期待され、特にパワーデバイスへの応用が注目されている。高電圧・大電流用途に応えるため大型厚膜結晶の開拓が求められているが GaN バルク結晶育成技術が未熟なため、ヘテロエピタキシャル成長結晶を基板から剥離し表面研磨することによって調達している。研磨工程では結晶表面に欠陥の導入が避けられずキャリア寿命の大幅な低減をもたらす、デバイス性能向上の妨げとなる。本研究では欠陥密度の低い LED 作製用エピレディ薄膜に機械研磨を施すことによる生ずるキャリア寿命低下を光学的手法によって明らかにすることを目的とした。機械研磨によってフォトルミネセンス(PL)強度が低下すること、ラマン散乱法による光学フォノンエネルギーが増加することが明らかになった。さらに両者の関係を精査したところ、フォノンエネルギーの変化に対して PL 強度の変化の様相は不純物密度によって異なることが示唆された。以上の結果、機械的研磨は結晶歪みを与えるだけでなく、少数キャリアの寿命低下と多数キャリア密度の減少をもたらすことが分かった。

研究分野：半導体材料

キーワード：GaN、機械的研磨、フォトルミネッセンス、ラマン散乱

1. 研究開始当初の背景

ワイドギャップ半導体のひとつである GaN は、白色 LED 用材料として広く用いられているが、近年の省エネルギー技術革新貢献への期待からパワーデバイスへの応用が注目され、世界的に開発競争が繰り広げられている。ワイドギャップ半導体 GaN は炭化珪素 SiC とともに、ワイドギャップ由来の高い絶縁破壊電界を有し、高温でも動作可能な電子デバイスができることから、高電圧・大電流の要請に応える電子機器に適応できるが、その実現には大型厚膜結晶が必須である。しかし、GaN に関してはバルク結晶育成技術が未熟なため、ヘテロエピタキシャル成長材料を研磨によって調達している。研磨工程では結晶表面に欠陥の導入が避けられずキャリア寿命の大幅な低減を来しデバイス性能の向上を妨げる要因となる。研磨によりどのような欠陥が導入されるかについては研究報告例は少なく、ダメージレス研磨法の開拓に資するデータが欠落している。

2. 研究の目的

半導体の研磨工程で導入される結晶欠陥形成は塑性変形を伴う転位の導入が基本とされている。しかし、GaN に導入される転位と少数キャリア寿命との相関関係についての知見は少ない。本研究では欠陥密度の低い LED 作製用エピレディ薄膜に機械研磨を施すことによるキャリア寿命の低下を光学的手法によって明らかにすることを目的とした。具体的には、紫外線励起によるフォトルミネッセンスとラマン散乱スペクトルにおよぼす機械研磨の効果を詳細に測定評価することによって、結晶表面における格子歪みならびにキャリア寿命の変化との相関を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 機械研磨

現状の GaN 厚膜結晶の作製には、サファイヤなどの異種基板上にエピタキシャル成長した層を基板から剥

離し表面を機械的・化学的研磨を施すという手法が採られている。機械研磨は研磨面に転位導入など塑性変形と歪みをもたらす。一方、化学研磨は結晶表面にある欠陥部分のエッチング速度が異なることなどによる表面凹凸増強が避けられない。キャリア寿命の変化は主として前者が大きく利くと考えられることから、本研究では機械研磨手法を取り上げた。粒度 8000 番（粒径 1 ミクロン）のアルミナ研磨シートを用いて GaN エピレディエピタキシャル膜を水中研磨した。試料にエピレディエ膜を用いた理由は、できるだけ転位密度の低い材料を使うことによって研磨効果を顕在化させるためである。

(2) フォトルミネセンス (PL) とラマン散乱測定

励起光源として波長 325nm の HeCd レーザを用い、顕微分光法によりスペクトル測定を行った。光吸収係数の大きさから GaN 表面へのレーザ光浸入深さは 80nm 程度と見積もられた。本手法では、研磨等によって変化した試料最表面 40~80nm 程度の電子光物性を測定していると期待される。顕微鏡対物レンズの焦点距離などから推定されるレーザ光のスポット径は 5 ミクロン以下である。機械研磨は手動で行ったため、試料表面上での不均一が避けられないが、顕微分光法では照射レーザ光スポット周りの 5 ミクロン以下の領域の平均値を与える。このことを利用して、試料端部に現れる強く研磨された部分を連続的に変化する 1 部位としてとらえるコンビナトリアル手法を援用して研磨程度の異なる試料の評価を行った。測定はすべて室温で行った。

4. 研究成果

図 1 に p 形試料の PL 特性の変化例を示す。この試料では、Mg アクセプターを介する典型的な発光が約 420nm に見られ、約 362nm にバンド端発光がショルダとして現れている。Mg アクセプター準位がやや深いため、前者はブロードな発光ピークとなっている。362nm と 420nm のピーク強度はともに機械研磨によって減衰するものの、その程度は前者の方が著しいことが見て取れる。このことは、多数キャリアである正孔密度と、光励起された少数キャリアである過剰電子密度の双方が研磨によって減少することを示している。n 形試料では 362nm 付近に鋭いピークのみが見られたが、これも研磨により顕著に減衰した。

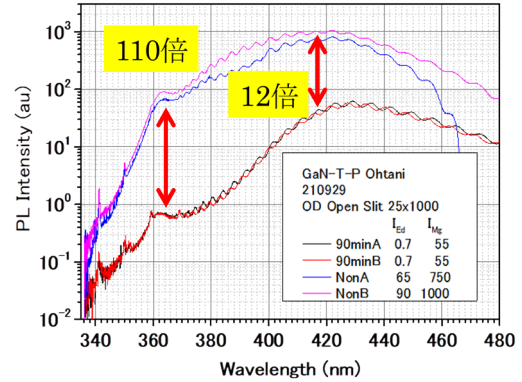


図 1 機械研磨による P 形試料の PL 特性の変化

機械研磨した試料の断面 TEM 観察に関する先行研究 [1]では、試料最表面の 50~80nm に高密度の転位が導入されることが明らかになっている。成長時に導入される転位周りには不純物の偏析が生じ、このことがキャリア寿命の劣化に寄与すると考えられているが、本実験の研磨による転位導入では不純物密度の変化は起こらないため、転位周りの歪みがポテンシャル変化をもたらし、結果として電子並びに正孔密度の低下が起こったと予想される。

事実、ラマン散乱測定ではフォノンエネルギーの増加が見出され、試料表面には圧縮歪みが導入されることが明らかになり、機械研磨により転位周りでのポテンシャルが変化することを支持する結果となった。さらに、転位線は不對ボンドの発生により正または負に帯電する可能性も示唆されており、このことも、電子または正孔に対するポテンシャル変化を促す。転位周りでのポテンシャル変化の詳細は今後の詳細研究に委ねられる。

次に、ラマンシフトと PL 強度との関係を精査したところ、ノンドープ高抵抗試料ではフォノンエネルギーの変化に対して PL 強度が指数関数的に変化したことに対し、ドープした低抵抗試料ではほぼ線形的に変化した。これらの結果は、機械研磨によるポテンシャル変化が少数キャリアの寿命低下だけでなく多数キャリア密度の低下をもたらすことを強く示唆した

5. 参考文献

- (1) 出町雅彦、刑部建太郎、「平成 31 年度愛知工業大学卒業論文」、2019 年 2 月