

研究ノート

シリコン基板上窒化ガリウム半導体のナノ分析とバルク評価

杉本貴紀*1、加藤正樹*2、中尾俊章*1、杉山信之*1、鈴木陽子*1、加納廣和*3

Nano Analysis and Bulk Evaluation for GaN transistor Grown on Si Substrate

Takanori SUGIMOTO*1, Masaki KATOU*2, Toshiaki NAKAO*1
Nobuyuki SUGIYAMA*1, Yoko SUZUKI*1 and Hirokazu KANOU*3

Research Support Department *1~3

シリコンに代わる次世代半導体材料の一つとして注目されているシリコン基板上窒化ガリウム半導体について、透過電子顕微鏡 (TEM)、X 線光電子分光装置 (XPS) によるナノ分析を試みた。また、同半導体を用いて作製した LED デバイス構造を、光学顕微鏡により非破壊評価することを試みた。TEM 観察の結果、窒化ガリウムに転位と推察されるコントラストがみられ、結晶成長の状態を評価した。また、TEM 観察、XPS 分析により、シリコン基板、窒化ガリウムとシリコン基板との熱膨張係数差を補完するための超格子歪緩和層、窒化ガリウム層といったナノ～マイクロ積層構造を明瞭に観察・評価した。さらに、光学顕微鏡による落射蛍光観察により、LED デバイス作製時の不良を評価することができた。

1. はじめに

地球温暖化問題や、東日本大震災を契機とする原子力発電の稼働停止を背景に、電気エネルギーのより効率的な利用が重要な課題となっている。産業機械や自動車、電化製品等に用いられるパワーデバイスにおいては、その高性能・高効率化が求められている。

従来からのパワーデバイス材料であるシリコン (Si) に代わる高性能・高効率な半導体材料の一つとして、窒化ガリウム (GaN) が注目されている。江川は、安価な Si 基板上に、Si と GaN の熱膨張係数差を補完する超格子歪緩和層 (Strained Layer Superlattice, SLS) を介して GaN を大面積かつ高品質に成膜する技術を確立した¹⁾。

この技術開発を進め、地域企業への移転を促すためには、その性能・品質評価を支援する体制の構築が必要である。

そこで本研究では、シリコン基板上窒化ガリウム半導体のナノレベルでの分析とバルクでの評価技術を確立することを目的として、透過電子顕微鏡 (TEM) や X 線光電子分光装置 (XPS) によるナノ分析と光学顕微鏡によるデバイス観察を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材として用いたシリコン基板上窒化ガリウムの積層構造を図 1 に示す。シリコン基板上の窒化アルミニウ

ムガリウム (AlGa_N) /窒化アルミニウム (AlN) は、表面状態を改善するために成膜されるものである。その上の SLS は、GaN と AlN の多層膜から成っており、シリコン基板と窒化ガリウム半導体の熱膨張係数の差を補うためのものである。これにより、シリコン基板上に厚膜の窒化ガリウム半導体を反りなく成膜できる。最表面の AlGa_N は絶縁膜としての機能を果たす。

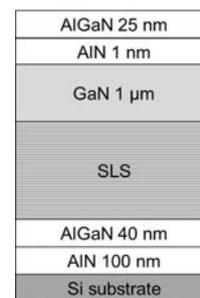


図 1 供試したシリコン基板上窒化ガリウムの構造

2.2 透過電子顕微鏡による断面微細構造観察

集束イオンビーム加工観察装置 (FIB、日立ハイテクノロジーズ製 FB2200) により、電子線が透過する厚さ約 100nm 以下にまで薄膜化した。その後、TEM (日本電子製 JEM-2100F) を用いて断面構造観察を行った。加速電圧は 200kV である。

2.3 X 線光電子分光装置による表面分析

XPS (アルバック・ファイ製 PHI 5000 VersaProbe) を用いて、試料最表面を分析した。また、アルゴンイオ

*1 共同研究支援部 計測分析室 *2 共同研究支援部 試作評価室 *3 共同研究支援部 (現食品工業技術センター)

ン銃によるスパッタリングを行いながら深さ方向に分析を行った。線源は、モノクロ化 Al-K α である。

2.4 光学顕微鏡によるデバイスの非破壊観察

図1の基板を用いて作成したLEDのデバイス構造を、落射式光学顕微鏡（ニコンインステック製 LV150N）を用いて明視野・蛍光観察した。蛍光観察における励起波長は 330~380nm である。

3. 結果及び考察

3.1 透過電子顕微鏡による断面微細構造観察

TEM 観察結果を図2に示す。左側の像では、図1に示した断面構造を確認することができた。右側の拡大像では、GaN の内部に転位と推察される黒い線状のコントラストが観察された。転位の有無やその数は結晶性材料の品質を左右するものである。また、SLS は GaN と AlN の多層膜から成っているが、その様子が白黒の横縞模様コントラストにより観察された。

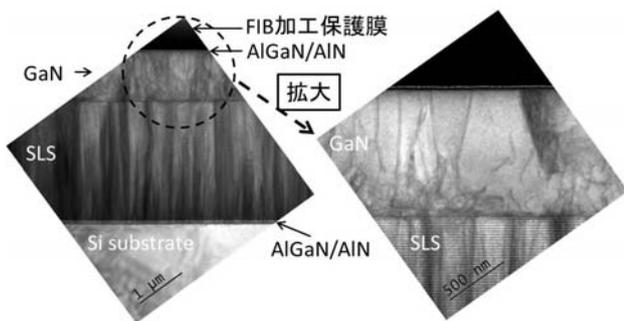


図2 TEM 観察結果

3.2 X線光電子分光装置による表面分析

XPS を用いて試料最表面 AlGaIn を分析したところ、Al、Ga については測定スペクトルを当該元素で帰属でき、妨害元素は見られなかった（図3）。一方、N については、Ga のオーজে電子による妨害ピークが近傍に見られたため、定量的な分析は行えないことが分かった。深さ方向分析による定性的な評価では、最表面に Al、Ga、N が検出され、スパッタ時間とともに Ga の原子数濃度値がやや小さく、Al、N の値が大きくなり、その後 Ga、N のみとなった。すなわち、最表面から AlGaIn/AlN/GaN の積層構造であることが示唆され、図1で示したとおりに積層していることが明らかとなった。

3.3 光学顕微鏡によるデバイスの非破壊観察

光学顕微鏡により明視野観察を行うと（図4）、正方形の電極に黒い点状のコントラストが見られ、電極形成の工程において不良が生じたと考えられる。不良部を拡大して蛍光観察を行うと、電極以外の領域が蛍光励起

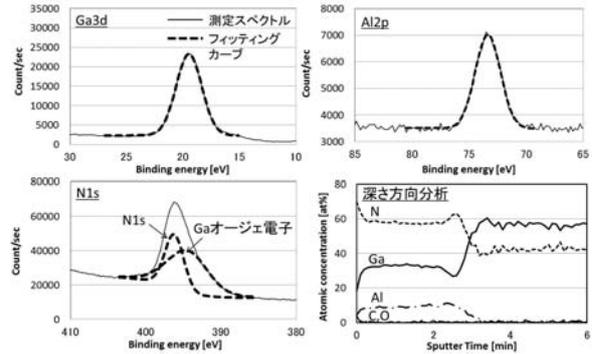


図3 XPS による表面・深さ方向分析結果

され、白いコントラストで観察された。白破線で囲った部分は、励起光による白いコントラストが少し現れていることから、電極形成でのリソグラフィにおいて過度に露光されたか、絶縁保護膜が薄いことが推察される。また、白実線で囲った部分に見られる点状の励起は、有機系異物の残留と推察される。

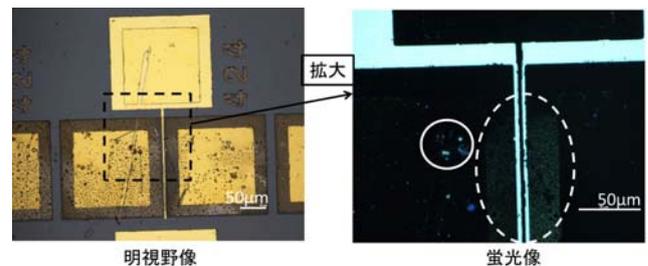


図4 光学顕微鏡による明視野・蛍光観察結果

4. 結び

本研究により、シリコン基板上窒化ガリウム半導体について、TEM、XPS を用いたナノ分析評価技術を確立した。これらの手法は、産業界で幅広く用いられているナノ積層薄膜の分析に応用できる。また、光学顕微鏡を用いた明視野観察、蛍光観察を併用することで、非破壊でデバイス観察を可能とした。

付記

本研究の一部は、(公財) 科学技術交流財団「平成 24 年度愛知ナノテクものづくりクラスター成果活用促進事業(技術開発推進支援事業)」により実施した。試料提供、分析に関するアドバイスなど、多岐にわたりご協力いただいた名古屋工業大学の江川孝志教授、久保俊晴助教に謝意を表します。

文献

- 1) 江川：J. Vac. Soc. Jpn., 54(6), 381 (2011)