

時間分解 PL 測定を用いた AlGa_{0.2}N/AlN ヘテロ構造の臨界膜厚評価

Investigation of Critical Thickness for AlGa_{0.2}N/AlN Heterostructures

using Time-resolved Photoluminescence Spectroscopy

京大院工 ○市川 修平, 岩田 佳也, 船戸 充, 川上 養一

Kyoto Univ., ○S. Ichikawa, Y. Iwata, M. Funato, Y. Kawakami

E-mail: kawakami@kuee.kyoto-u.ac.jp

はじめに AlGa_{0.2}N/AlN ヘテロ構造は、深紫外発光デバイスへの応用が期待されている。一般に、量子井戸(QW)をはじめとするヘテロ構造を作製する際には、臨界膜厚を考慮した構造設計が必要になる。これまでに、X 線逆格子空間マッピング(RSM)測定に基づいて報告されてきた AlGa_{0.2}N/AlN ヘテロ構造の臨界膜厚は非常に厚く、膜厚 522 nm の Al_{0.79}Ga_{0.21}N 薄膜が AlN 上にコヒーレントに成長したという報告例も存在する[1]。しかしながら、Matthews らや Fischer らのモデルを適用して計算される臨界膜厚の値はこれらよりも一桁程度小さく、実験結果とは著しい解離があるのが現状である。そこで本研究では、より詳細に臨界膜厚を評価する手法として時間分解 PL(TRPL)測定を使用し、RSM 測定との比較を行ったので報告する。

実験と結果 有機金属気相成長法(MOVPE)を用いて、c 面 AlN 基板上に AlN ホモエピタキシャル膜を 1 μm 程度成長した。その後、温度を下げて AlGa_{0.2}N/AlN QW を成長した。成長後の試料表面(RMS~0.1 nm)および QW 界面は非常に良好であり、高品質な量子井戸構造を実現している[2]。つづいて、作製した QW に対して弱励起条件下で TRPL 測定を行った(温度: ~6.5 K、励起初期キャリア密度: $0.95 \sim 5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$)。励起光には Ti-S 4 倍高調波レーザ(波長 210 nm)を用い、AlGa_{0.2}N 層のみを選択励起した。図 1 に、膜厚を変えて作製した Al_{0.8}Ga_{0.2}N/AlN QW のピーク波長付近の TRPL 減衰曲線を示す。図より、井戸幅を 1.4 nm→4.7 nm と変化させた場合には、見積もられるキャリア再結合寿命が 63.4 ns→277 ns と長くなることが分かる。これは広い井戸では内部電界の影響を強く受けるために輻射再結合寿命が長くなったことに由来する[2]。一方で、井戸幅を 4.7 nm→6.8 nm と変化させた場合には、再結合寿命が 277 ns→6.01 ns と急激に短くなることが分かる。これは先に述べた内部電界の影響とは全く逆の傾向である。この井戸幅 6.8 nm の試料においても、ピークエネルギーの井戸幅依存性から、内部電界は殆ど変化していないことが判断できるため(図は不出)、この再結合寿命の短寿命化は、格子緩和に伴って新たな欠陥が生じたことによるものであると考えられる。このような再結合寿命の短寿命化を目安に、さまざまな組成や井戸幅の試料について格子緩和の有無を見積もり、その結果を図 2 に示す。図 2 の横軸には、井戸層および障壁層をまとめて単層膜とみなした場合の実効的な Al 組成を用いている[3]。図 2 より、これまでの報告とは逆に、計算値よりも薄い膜厚での格子緩和が示唆された。また、図 2 中に矢印で示した試料の(1015)面付近の RSM 像を図 3 に示す。図より、TRPL 測定で格子緩和が示唆された試料においても、RSM 像では一見コヒーレントに AlGa_{0.2}N 層が成長している様に観察されることが分かる。つまり、RSM 像に基づいた格子緩和の判断は TRPL 測定に比べて感度が鈍く、実際の AlGa_{0.2}N/AlN ヘテロ構造の臨界膜厚は従来報告されてきた値よりも非常に薄いことが示唆された。

[1] R. Dalmau et al., *J. Electrochem. Society* **158**, H530 (2011).

[2] S. Ichikawa et al., *Appl. Phys. Lett.* **104**, 252102 (2014).

[3] J. Nishinaka et al., *J. Appl. Phys.* **112**, 033513 (2012).

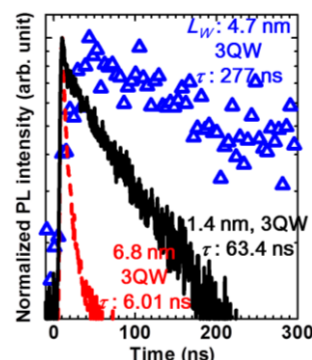


図 1: 各種 c 面 Al_{0.8}Ga_{0.2}N/AlN QW の TRPL 減衰曲線

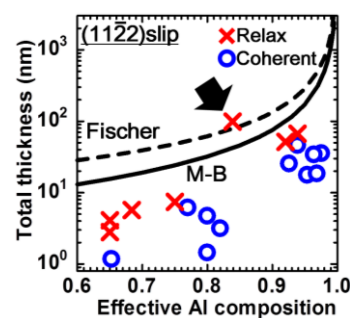


図 2: TRPL を用いて判断した AlGa_{0.2}N/AlN QW の格子緩和の有無

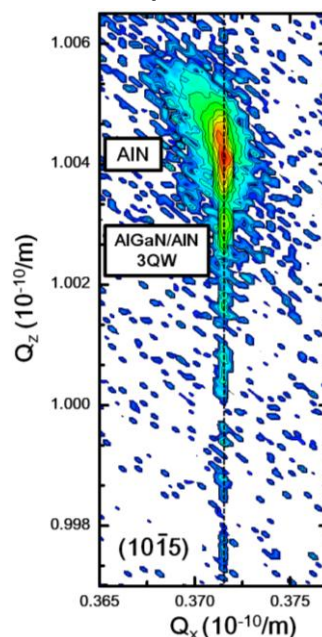


図 3: TRPL 測定で格子緩和が示唆された QW の (1015)面付近の RSM 像