

原料ガス断続供給法を用いて異なる成長温度で作製した GaAs ナノワイヤの光学的評価

仲川豪志* 吉留寛貴* 鈴木秀俊* 境健太郎** 前田幸治*
(宮崎大学 *電気電子工 **産学・地域連携センター)

1 はじめに

ナノワイヤ(NWs)とは1次元細線構造の材料のことで、工学的応用の観点から注目されている。中でもIII-V族半導体NWsは高い電子移動度と発光効率を有し、高感度センサーや発光素子への応用が期待されている。GaAs-NWsは分子線エピタキシー法(MBE)や有機金属気相成長法(MOCVD)での研究報告が多く、原料ガス断続供給法を用いた研究はほとんどない。この成長法では、有機金属原料ガスを交互に供給することで、高品質なNWs作製が期待できる。我々は、原料ガス断続供給法を用いた気相-液相-固相(VLS)成長で、Si基板上にGaAs-NWsの作製を目標としている。本研究では、最適な作製条件を研究するために、NWsの成長温度(Tg)を変化させ、NWs形状及び光学的特性を評価した。

2 実験方法

GaAs-NWs成長は原子層エピタキシー(ALE)装置を用いた原料ガス断続供給法で行った。Si(111)基板に触媒としてAuを10nmスパッタした後、装置内でアニール処理を550℃で5分間行ない、原料ガスTMGa((CH₃)₃Ga)、TDMAAs((CH₃)₂N)₃As)を断続的に供給しVLS成長させた。NWsのTgは480~540℃として作製し、走査型電子顕微鏡(SEM)によりNWs形状を観察した。また、フォトルミネッセンス(PL)法により、発光エネルギーの温度依存性や、励起光強度依存性を評価した。励起光には波長532nm、強度14mWのYAGレーザーを用いた。測定温度は17~290Kの範囲とした。励起光強度依存では、1~60%のNDフィルターにより励起光強度を変化させ測定した。

3 結果と考察

Tgの異なる条件でNWs直径は0.23±0.03μm程度で一定の値となった。NWsの長さは、Tg480℃で2.7μm、530℃で3.7μmと増加傾向となり、それ以上の温度では減少した。Tgの上昇でGa原料の拡散長が伸びたことで、成長速度が速くなり長さが増加したと考えられる。しかし、Tg530℃以上ではAsの脱離が顕著になり、逆に長さが減少したと思われる[1]。成長方向に関しては、Tg530℃から基板と90~100°の角度に集中して成長し、Si(111)基板における理想的な成長方向である垂直方向に優勢となる結果となった。500℃以下では拡散長が短いため、原料が触媒へ届かずNWs側壁での結晶化し横方向成長したと考えられる。

図1に17Kで測定した各TgのPL結果を示した。Tg480~530℃においてA~Dのピークが観測された。ピーク位置はそれぞれ1.473、1.482、1.501、1.495eVであった。また、スペクトル形状が異なり、Tg530℃のPLスペクトルでは、1.515eVにショルダーが確認され、低温のみで観測された。図2に各ピークの温度依存性及び、Varshniの式から算出したGaAsバルクのバンドギャップの温度依存性を示した。C、Dピークは室温まで、A、Bピークは低温でのみ

観測された。また、C、Dピークは温度の上昇に伴いバンドギャップと同様の温度依存性を示した。A、Bピークは、温度の上昇に伴いピーク位置が高エネルギー側へシフトし、80K以上から低エネルギー側へシフトした後150Kで消滅した。

Tg530℃で観測された1.515eVのショルダーは、GaAsのバンドギャップである1.518eVと近いので、励起子等に起因する発光であると考えられる[1]。A~Dピークは、不純物準位を介した発光であると判断した。作製に用いた原料にはCH₃が含まれており、結晶成長においてカーボンが不純物として取り込まれる可能性がある。ChoらによるとC、Dピークはカーボンアクセプター準位を介したバンド端発光であり[2]、高温域ではキャリアが価電子帯に熱励起され、バンドギャップと同様の温度依存性を示したと考えられる。A、Bピークの励起光強度依存性を測定した結果、両ピークとも励起光強度の増加に伴い、発光エネルギーが増加した。従って、A、Bピークはドナー・アクセプター対による発光が考えられる。530、540℃成長では結晶中の不純物が減少したことにより、バンド端に付随した発光が室温まで観測されたと考えられる。

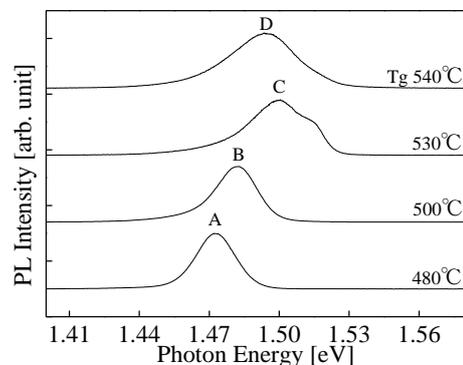


図 1. 測定温度 17K における各成長温度の PL スペクトル

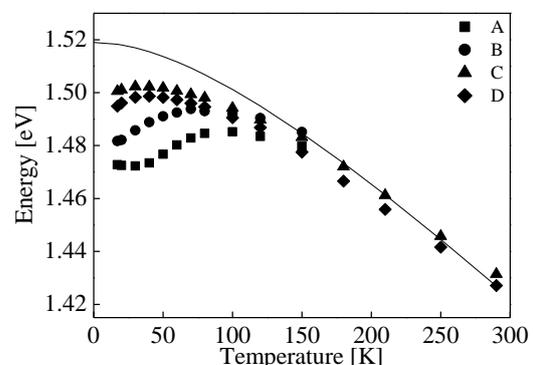


図 2. 各 PL ピークの温度依存性

参考文献

- [1] Pingping Chen, et al, Journal of Luminescence 152 (2014) 258–261
- [2] Shinho Cho, et al, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 32, No. 4, April 1998, pp. 584-587