

GaNのイエローミネッセンスの温度変化

早瀬 亮、中田 博保

大阪教育大学教育学部教養学科

Temperature dependence of yellow luminescence in undoped GaN

R.Hayase and H.Nakata

Department of Arts and Science, Faculty of Education, Osaka Kyoiku University

We measured photoluminescence (PL) in undoped GaN epitaxial layers at 4~300K by a He-Cd laser and N₂ laser. Yellow luminescence was observed around 2.2eV. PL intensity of this peak decreases with increasing temperature, and especially drops suddenly near 150K. Furthermore, We measured time-resolved PL by N₂ laser.

1. はじめに

GaNは、Si系の半導体と比べ、バンドギャップが大きく、高耐圧、高耐熱、低損失なため、デバイスへの応用が期待されている。また、既に光学応用としては青色発光素子が製品化され、電子デバイス応用としては情報通信基地局に用いられる高周波高出力素子(HEMT)が実用化されている。

GaNでは、2.2eV付近でイエローミネッセンスが観測され、不安定性が知られている。例えば、Reshchikov等は紫外線照射によりイエローミネッセンスの強度が増加することを報告している。[1] Macht等はイエローミネッセンスが点欠陥の形で試料に幅広く分布したものによるとしている。[2] Zanardi Ocampo等はバンドギャップより低いエネルギーを持つ光の照射で発光強度が減少しその光の照射を停止した後回復するのに28秒かかることを報告している。[3]

また、イエローミネッセンスの発光起源についていくつかのモデルがあるが、まだ確定していない。例えば、OginoとAokiは浅いドナーと深いアクセプターの準位の間の

遷移が原因だとしている。[4]Glaser等は深いドナーと浅いアクセプターの遷移モデルを提唱している。[5]Hoffmann等は浅いドナーと深いドナー間遷移だとしている。[6]

本研究では、ノンドープGaNを対象とし、イエローミネッセンスとバンド端の発光強度の温度依存性の測定を行った。その結果、150K付近でイエローミネッセンスの急激な発光強度の変化を見出した。

2. 試料と実験方法

本研究で用いた試料NTU-10は、サファイア基板上にAlNを700 Åで15nm、GaNを1000 Åで約1μm、有機金属気相成長法(MOCVD法)で成長させた薄膜である。

この試料でのPLの分光測定には、励起光源としてHe-Cdレーザー(325nm、20mW)を用いた。検出器には光電子増倍管(浜松ホトニクス R980)を用い、ロックインアンプで処理した。また、寿命測定には、励起光源としてパルス幅5nsのN₂レーザー(337nm、500kW)を用いた。検出器には光電子増倍管を用い、デジタルオシロスコープで処理し

た。

温度変化も測定し、冷却にはヘリウム冷凍機を用い、4Kから室温までのPL、寿命を測定した。

3. 実験結果と考察

図1は試料NTU-10のHe-Cdレーザー励起と窒素レーザーによるPLの発光スペクトルを示している。

図1から、バンド端発光よりも、2.2eV付近のYLの方が強い。よって、この試料には多くの不純物が含まれていることがわかる。また、複数のピークからなるスペクトルであることから、いくつかの不純物準位が存在すると考えられ、それにより様々な再結合過程が考えられる。また、窒素レーザー励起の場合と、He-Cdレーザー励起の場合のどちらにも同様のYLが見られる。また、バンド端の発光も同様に見られる。しかし、窒素レーザーの方がスペクトルの幅が広い。これは、レーザーの励起強度が強いためと考えられる。

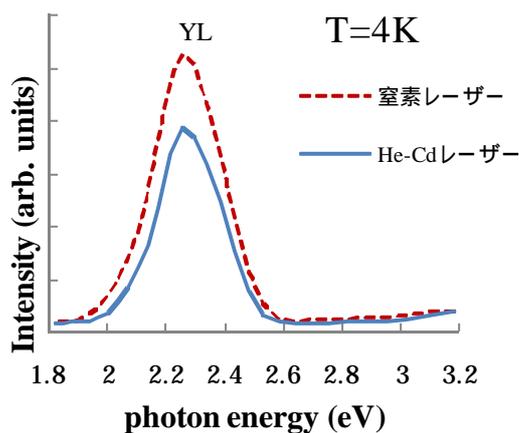


図1 4Kでの発光スペクトル(1.8eV~3.2eV)

2.2eV付近のYLが測定された。3.2eV付近に測定されるPLは図3で詳しく示す。

図2は窒素レーザー励起によるPLの発光スペクトルの時間変化を示す。

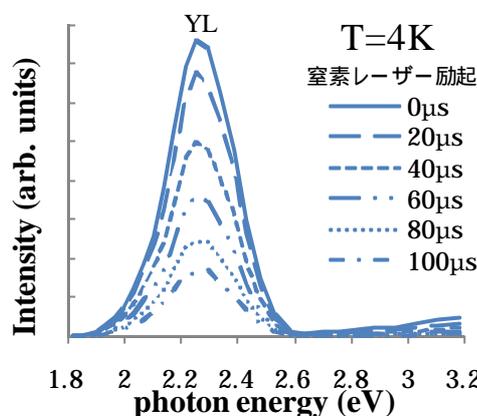


図2 イエロールミネッセンスの時間分解スペクトル

図3は、バンドギャップ付近の発光を示す。3.5eV付近に束縛励起子のピークBEが見られる。また、3.27eV付近にもDA発光のピークDAが見られる。また、3.27eVよりも低エネルギー側にある2つのピーク(3.09eV、3.18eV)は3.27eVの発光にLOフォノンが介在したピークと考えられる。このエネルギー差からLOフォノンのエネルギーは約90meVとわかり、文献値の92meVとほぼ一致する。また、3.27eV、3.09eV、3.18eVのピークは4~80Kの間では大きな温度依存性は見られなかった。

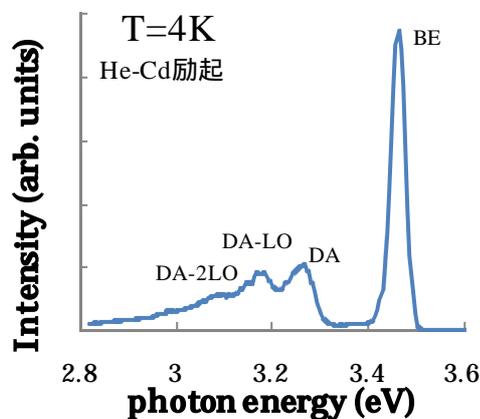


図3 4Kでの発光スペクトル

3.4eV付近のHe-Cdレーザー励起による発光を図4に示す。図4から発光ピークは約3.466eVであり、これは浅いアクセプターに束縛された励起子再結合による発光で、文献値と一致する。[2]また、この浅いアクセプターはマグネシウムによって作られている可能性が高い。そして、このスペクトルの温度変化を測定すると、温度が高くなると、約3.460eVのピークが観測された。このピークは別の浅いアクセプターに束縛された励起子再結合による発光である。[2]また、温度が上がることにより、ピークが低エネルギー側へシフトしたのは、最初浅いアクセプターにつかまっていた励起子が、温度が上昇したために自由励起子になり、より束縛エネルギーの大きい束縛励起子による低エネルギー側で、発光が起こるようになったと考えられる。このことから、この試料には浅いアクセプターが2種類存在し、不純物が多く含まれることを示す。また、温度を4Kから80Kまで変化させると、発光強度は大きく低下した。

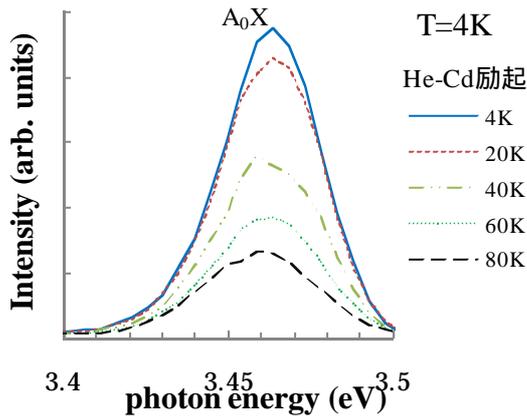


図4 アクセプタ束縛励起子の発光スペクトル

図5は2.2eVでの発光強度の温度依存性である。He-Cdレーザーによって励起した場合、150K付近で急激な発光強度の変化が

見られた。この変化の活性化エネルギーは約82meVである。これは深い不純物準位がYLの原因となっており、その準位に存在する電子が150K付近で消滅したためと考えられる。それに対し、窒素レーザーで励起した場合、He-Cdレーザーを用いた場合に150K付近で見られた急激な発光強度の変化は見られなかった。

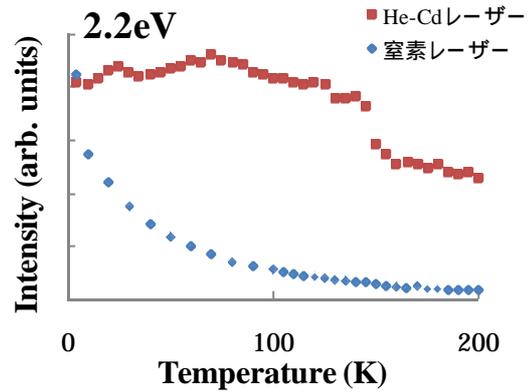


図5 イエロールミネッセンスのピーク発光強度の温度依存性(2.2eV)

図6は2.2eV(YL)でのPLの時間変化を示したものである。図に示すように発光強度は時間と共に減衰する。また、非指数関数となっている。

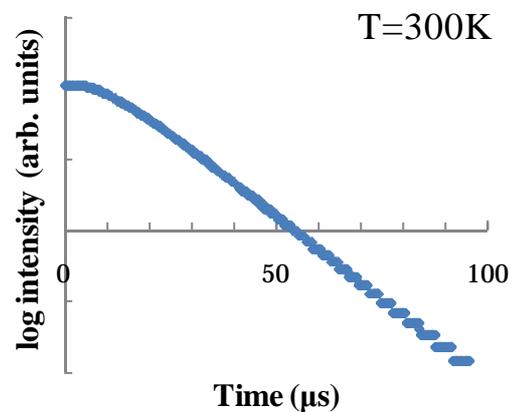


図6 イエロールミネッセンスの発光強度の時間変化

図7は2.2eVのYLの寿命の時間変化を示す。低温でばらつきが見られるものの全体的に一様に減衰しているように見える。また、寿命は発光強度がピーク強度の1/eになる時間として求めた。

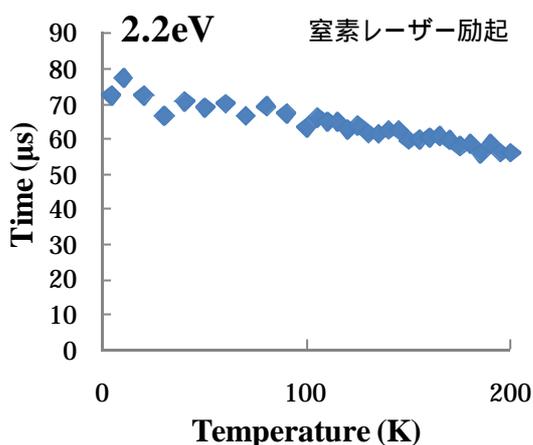


図7 イエロールミネッセンスの発光寿命の温度変化

また、Hoffmann等の研究では、YLの発光強度は、130K付近まではほぼ変化がなく、そこから、一様に減衰していくというデータがある。[6]このデータと、図6のデータを部分的に重ね合わせると、図5のHe-Cdレーザー励起で得られたようなデータが得られる。つまり、複数の発光の過程が存在し、その複数の過程が合わさって、YLのスペクトルが形成されているものと考えられる。

4.まとめ

本研究では、ドーピングしていないGaNを用い、He-Cdレーザーによる発光強度の温度依存性、N₂レーザーによる寿命、発光強度の温度依存性について測定した。その結果、この試料NTU-10は、数種類の不純物を含み、2種類の浅いアクセプター、2種類の浅いドナー、そして深いアクセプターなど、いくつか

の不純物準位が存在すると考えられる。YLについてはいくつかの複合ピーク、いくつかの発光過程が合わさっているものである事ということがわかった。また、He-Cd励起での150K付近の発光強度の落ち込みは、異なるピークによる複合的な変化であると考えた。さらに図6から、寿命の変化が非指数関数となっていることから、YLはDA発光であると考えられる。

参考文献

- [1] M.A.Reshchikov, Y.T.Moon and H.Morko Phys.Stat. Sol. (c) 2 2716 (2005).
- [2] L.Macht, J.L.Weyer, A. Grzegorezyk and P.K. Larsen, Phys. Rev. B 71 073309 (2005).
- [3] J.M. Zanardi Ocampo, N. Kamata, W.Okamoto, K.Yamada, K. Hoshino, T. Someya and Y. Arakawa, Phys. Stat. sol(b) 228 433 (2001).
- [4] T.Ogino and M.Aoki, Jpn.J. Appl. Phys. 19 2359 (1980).
- [5] E. R.Glaster et al. Phys.Rev.B 51 13326(1995).
- [6] D.M. Hoffmann et al. Phys.Rev. B52 16702 (1995).