

InGaN単一量子井戸における 時間分解フォトルミネセンススペクトルの温度依存性

○新保樹¹ 土佐宏樹¹ 山口敦史¹ 岩満一功² 富谷茂隆²

¹ 金沢工業大学 ² 奈良先端科学技術大学院大学

研究背景

窒化物材料の特徴

- 幅広い発光波長に対応可能
- 熱的・化学的・機械的に堅牢

キャリアダイナミクスが未解明

- バルク結晶の成長困難
- 析出しの欠陥・組成揺らぎ
- 系統的实验が難しい

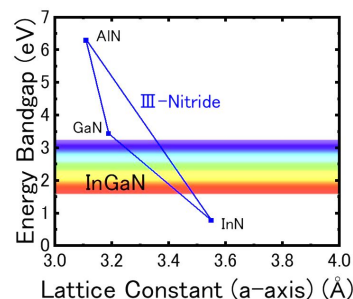
シミュレーティングの精度向上が課題

- デバイス開発にはシミュレーションが効果的
- 本質的な物理モデルの解明で、デバイス開発促進へ

本研究の目標

- InGaN量子井戸のキャリアダイナミクスを解明する
- 物理モデルを構築し、シミュレータの精度向上に貢献

	Si, GaAs系, InP系	窒化物半導体
転位密度	なし	$10^{10} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 程度
ポテンシャル揺らぎ	数 meV	100 meV以上
ピエゾ電界	基本なし	数 MV/cm
励起子束縛エネルギー	数 meV	26 meV
物性定数	完全に決定	一部不明



研究内容

時間分解PLスペクトル

- PLの減衰曲線を測定
- 単一光子計数法を用いる
- PL寿命からキャリアダイナミクスを考察

InGaN-SQW with UL

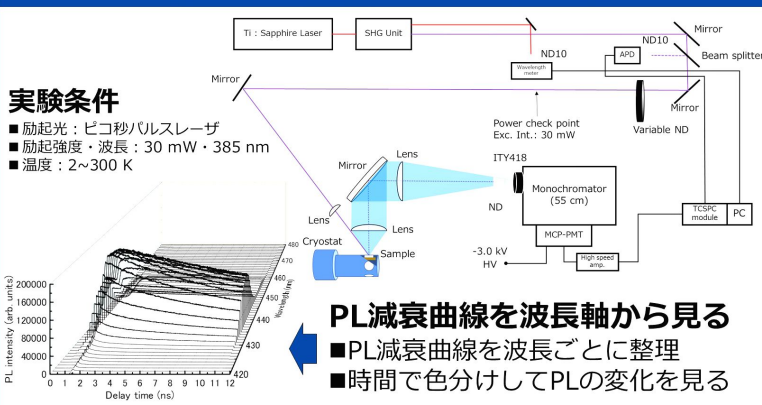
- ULによる高品質量子井戸^[1]
- 本質的なキャリアダイナミクスが期待できる

[1] C. Haller et al. Appl. Phys. Lett. **113**, 111106 (2018)

GaN (120nm)
InGaN-SQW
GaN (25nm)
In _{0.03} GaN-UL (50nm)
GaN (100nm)
GaN (3 μm)
LT-GaN (~30nm)
Sapphire substrate

InGaN-SQW with ULの層構造

時間分解PLスペクトル測定



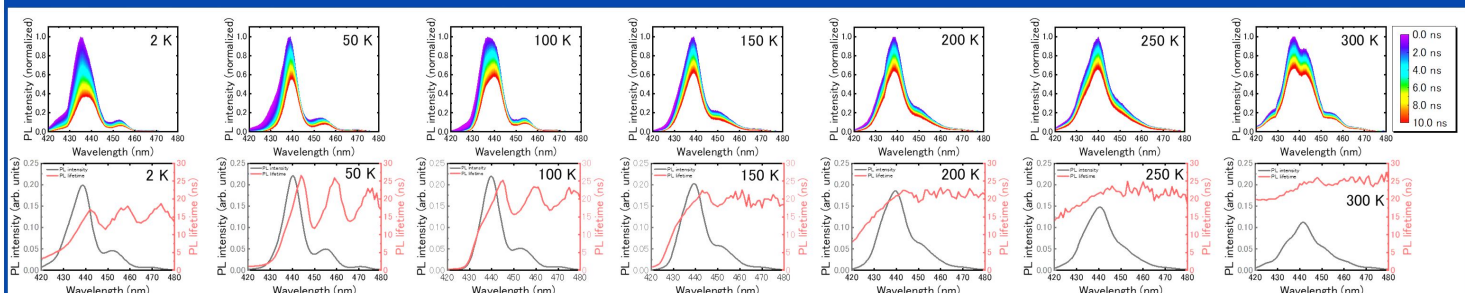
実験条件

- 励起光：ピコ秒パルスレーザ
- 励起強度・波長：30 mW・385 nm
- 温度：2~300 K

PL減衰曲線を波長軸から見る

- PL減衰曲線を波長ごとに整理
- 時間で色分けしてPLの変化を見る

時間分解PLスペクトル測定の結果



キャリアダイナミクスの考察

励起子のバンド内エネルギー緩和^[2]

短波長側のPL寿命が減少

- 高エネルギー準位の励起子が原因
- 励起子がバンド内の低エネルギー準位に遷移
- 高エネルギー準位のキャリアが急速に減少

$$T(E) = \frac{\tau_{\text{eff}}(E)}{1 + \exp\left(\frac{E - E_{\text{me}}}{E_0}\right)}$$

輻射再結合寿命の波長依存性

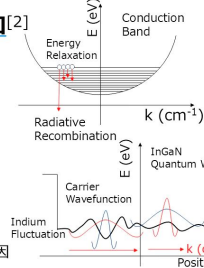
長波長側のPL寿命が増加

- InGaN-QWのIn組成揺らぎ or ピエゾ電界が原因
- 量子ディスクによる輻射再結合寿命の増加^[3]
- ピエゾ電界によるキャリアの空間的分離^[4]

LOフォノンレプリカ

- メイン発光ピークのレプリカ
- フォノン分ピークが長波長化
- PL寿命のレプリカが周期的に現れる

[2] C. Gourdou et al. Phys. Stat. Sol. (B) **153**, 641 (1989)
[3] M. Sugawara Phys. Rev. B **51**, 10743 (1995)
[4] T. Takeuchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **36**, L382 (1995)

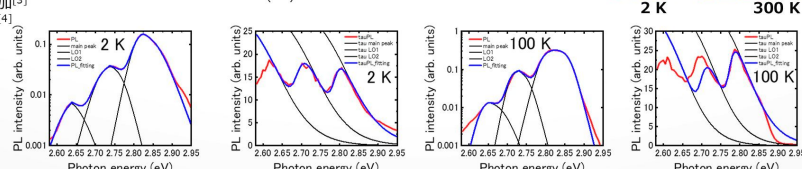
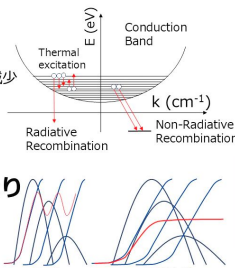


非輻射再結合と熱励起

- 欠陥に捕まるキャリアが増加
- 熱励起によるキャリアの再結合確率の減少
- PL寿命の波長依存性が減少

LOフォノンレプリカの重なり

- 発光ピーク幅が増加
- PL寿命の波長依存性がなだらかに



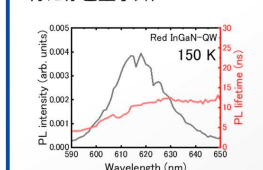
今後の展望

ULなしQWで測定

- 低品質量子井戸との違い

In組成違いと比較(Th2-9)

- 特に赤色量子井戸



PL立ち上がり時間

- 熱励起 or 遷移時間を求める

