

InGaN 量子井戸における PL スペクトル温度変化の理論モデル解析

Theoretical modeling of temperature-dependent PL spectra in InGaN quantum wells

金沢工業大学¹, ソニーグループ株式会社²○(M2) 袴田 舜也¹, 藤田 貴志¹, 山口 敦史¹, 草薙 進², 蟹谷 裕也², 工藤 喜弘², 富谷 茂隆²
¹, Sony Group Corporation²,○S. Hakamata¹, T. Fujita¹, A. A. Yamaguchi¹, S. Kusanagi², Y. Kanitani², Y. Kudo², S. Tomiya²

E-mail: c6000648@planet.kanazawa-it.ac.jp

InGaN 量子井戸(QW)では QW 面内で In 組成が空間的に大きく揺らいでいることが知られている。これに伴い、PL ピークの温度依存性が S 字カーブを描くなど、PL スペクトルとその温度依存性が特徴的なものとなっている。しかしながら、PL ピーク形状やその温度変化を、様々な In 組成や品質の InGaN 量子井戸試料に対して、包括的に説明する理論モデルはまだ提案されておらず、そうした理論モデルの構築が InGaN 量子井戸における電子状態やキャリアダイナミクスの理解につながると考えられる。そこで本研究では、In 組成が系統的に異なる InGaN 量子井戸試料の PL スペクトルの温度変化を測定し、その結果を説明する理論モデルの構築を試みた。実験に用いた試料は a, b, c, d, e の 5 枚で、In 組成は a から e に向かうにしたがって徐々に大きくなっている。室温での PL ピーク波長は a: 450 nm, b: 530 nm, c: 560 nm, d: 590 nm, e: 630nm である。これらの試料の PL スペクトルの温度変化を測定し、それらのデータをすべて同じ理論モデルの下でパラメータだけを変えることにより、フィッティングすることを試みた。理論モデルとしては、過去の我々が提案している [1]モデル (バンドギャップが正規分布の従って空間分布し、その場合の誤差関数で表される状態密度にキャリアがフェルミ分布にしたがってエネルギー分布するという考え方) をまず採用した。このモデルでは、各試料において平均のバンドギャップ E_{go} とその標準偏差 σ の 2 つだけがパラメータとなる (ただし、バンドギャップの温度変化は文献に基づいて情報を別途与える)。このモデルを用いて PL スペクトルの全データをフィッティングすると、低温の領域でのスペクトルのフィッティングが難しく、In 組成の大きな試料ほど状況が悪化することがわかった。この不一致は、理論モデルにおいて擬フェルミ準位が空間的に一定であると仮定していることに起因していると考えられる。そこで、擬フェルミ準位が空間的に不均一である場合に理論モデルを拡張し、擬フェルミ準位の不均一性に関する新たなパラメータ W を導入した。 $0 \leq W \leq 1$ であり、 $W=0$ は擬フェルミ準位が一定の場合に相当し、 $W=1$ は擬フェルミ準位が局所的なバンドの揺らぎに完全に追従する (すなわち、キャリアは空間移動しない) 場合に相当する。この拡張したモデルを用いると、すべての試料のすべての温度の PL スペクトルをきれいにフィッティングできる。例として、図 1 に試料 a の PL スペクトルのフィッティング結果を示す。また、図 2 にはフィッティングで得られた W の値の温度依存性を各試料に対して示す。この結果より、In 組成の大きい試料ほど、かつ、低温ほど W の値が大きい (すなわちキャリアの空間的移动が抑制されている) ことがわかる。また、この図では、擬フェルミ準位が空間的に一定とみなせる温度範囲 ($W=0$ の領域) も各 In 組成に対して示されている。

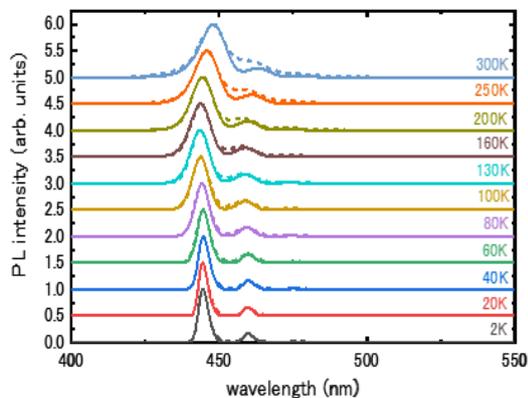
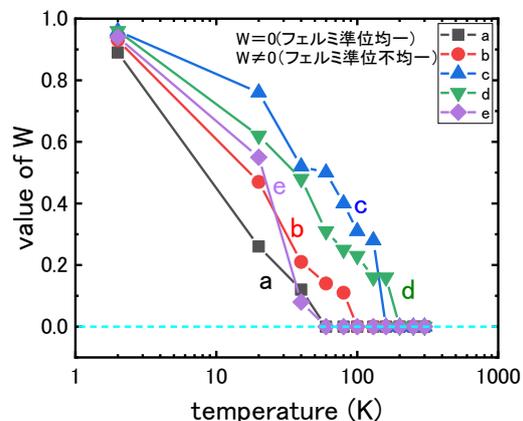
参考文献 [1]A. A. Yamaguchi *et al*, Semicond. Sci. Technol. **16** (2001) 763–769.

図 1 試料 a の PL スペクトルのフィッティング結果 (実線が実験結果、点線が理論フィッティング)

図 2 各試料における W の温度変化