

近接場走査型顕微鏡による 不安定点滅現象（窒化物半導体）の観測



Local evidence of optical instabilities in the
photoluminescence of InGaN by SNOM real-time investigation

及川 虎太郎, ルジエロ・ミケレット

横浜市立大学生命ナノシステム科学研究科, 横浜市立大学

Kotaro Oikawa, Ruggero Michletto

Graduate School of Nanobioscience Yokohama City University,
Yokohama City University

Abstract

Recent advances in studies for InGaN/GaN have led to high-brightness green and blue light emitting diodes (LED). InGaN/GaN are currently used for many applications, for example, full color display, white (RGB) lighting or illumination and the creation of shorter wavelength devices for optical data storage. We observed a previously unknown optical instability blinking phenomena in the photoluminescence of InGaN single quantum well. We investigated this by scanning near-field optical microscope (SNOM) and studied time/intensity signal of this phenomena in local area by SNOM for analysis of the blinking behavior. We found a characteristic peak in the signal analyzed by Fast Fourier Transform (FFT).

1、はじめに

近年、窒化物系化合物 (InGaN/GaN) 半導体を用いた青色発光ダイオードの開発成功は半導体発光デバイス研究に大きな結果をもたらした。実用化の進む InGaN 系発光ダイオードのさらなる改良 (発光効率など) には発光プロセスや材料物性の研究が必要である。また、InGaN 系発光ダイオードの発光表面では空間的な光学強度の不均一性だけでなく、時間的に光学強度が変化する現象が観測されている[5]。この時間的に光学強度が変化する現象を不安定点滅現象と言い、その時間的周期は平均して1秒間に数回程度であるものが多いが、詳しくは複雑な現象であると考えられている。この点滅現象にはその強度に関して大きく分けて2つの種類が観測されている。一つは、強度のレベルが二値化されていて時間によりその二つのレベルが切り替わる点滅現象である (図1)。それに対して、強度のレベルが複数存在し、

様々な強度レベルをとりながら点滅する現象が観測されている[6]。一般に InGaN 系発光ダイオードは多量の構造欠陥を含んでいるのにも関わらず、単一量子井戸構造によって高輝度化を実現していると考えられている。また、InGaN 系発光ダイオードの不安定点滅現象は構造欠陥との関係性が指摘されている。しかし、その物理的解釈の全てが明らかというわけではない。以上のことから、本研究では不安定点滅現象観測には実空間、実時間で測定可能な近接場走査型光学顕微鏡（Scanning Near-field Optical Microscopy : SNOM）を用いた。本研究ではこの現象に着目し、3nmの発光層を持つ InGaN 系発光ダイオード発光表面の局所領域におけるの時間的な光学強度の測定することで、不安定点滅現象の定量化を試みた。

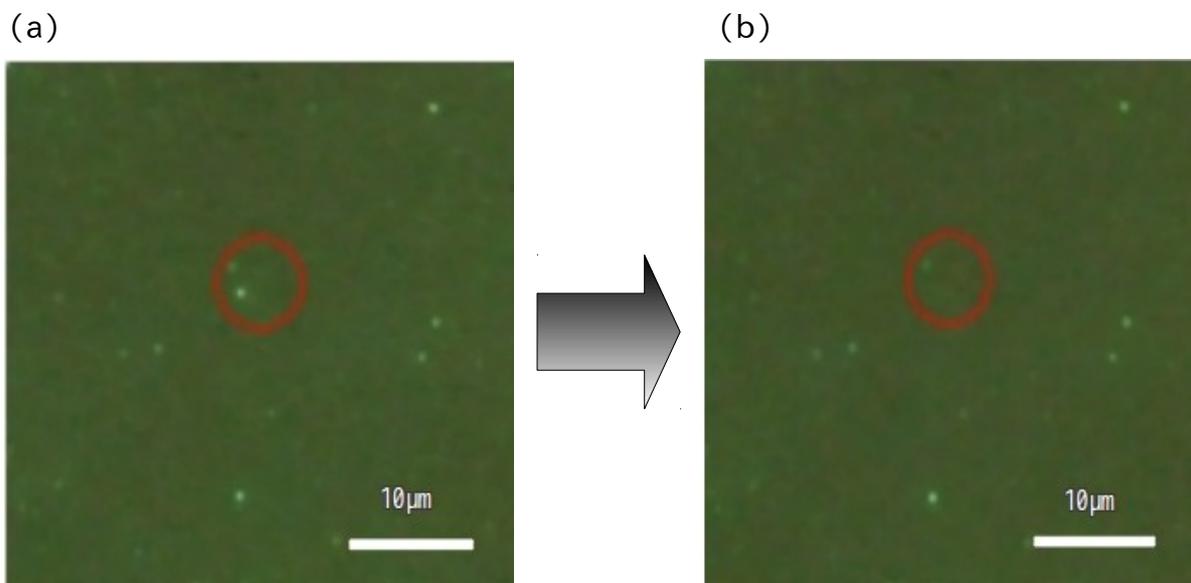


図 1 CCD カメラによる InGaN 発光ダイオードの蛍光像 不安定点滅現象：時間的に光学強度が変化する点を観測（図の円中）。(a) on 状態から (b) off 状態へと時間的に変化。

2、実験方法、実験装置（SNOM）

2-1 実験 a

本研究の測定に SNOM 装置を使用した（図 2）。室温でレーザー（325 nm；UV 光）を直接試料に照射することで特定波長の選択励起を行った。また、測定にはメニスカス・エッチング（ふっ酸緩衝溶液）によるオリジナルのペンシル型プローブを使用した。次に本研究で使用したサンプルを示す（図 3）。サンプルの発光波長は 540 nm である。一般に、GaN のバンドギャップは約 3.4eV であり、発光波長に関わる発光層（InGaN）のバンドギャップは In ドープ量により決定する。

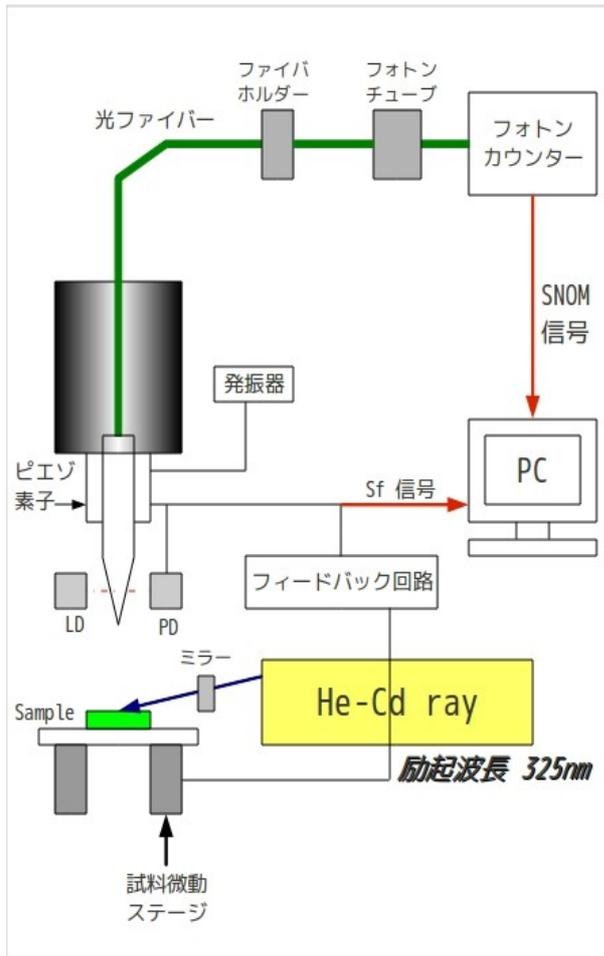


図2 SNOM装置の概略図



図3 実験試料 (InGaN/GaN系発光ダイオード)の構造 サファイヤ基板上に結晶成長させたGaN/InGaN/GaNの3層構造で、発光層はInGaN層(3nm)である。

SNOMを利用し、局所領域におけるInGaN/GaN系発光ダイオードの光学強度をマッピングした(図4)。

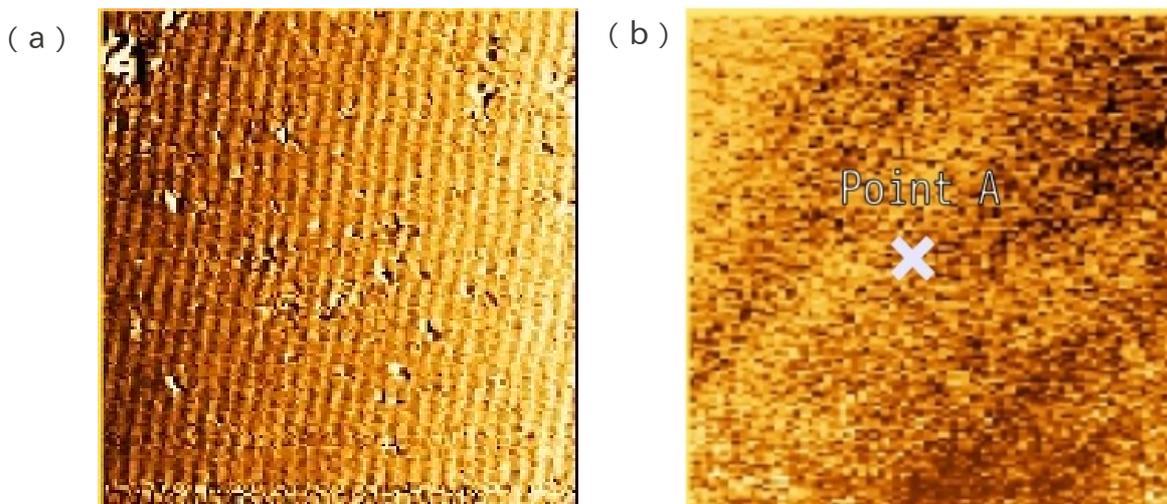


図4 InGaN/GaN系発光ダイオードの (a) SNOM像 (b) Shear force像

Scale : 128 × 128 pixels 15 × 15 μm²

Shear Force (Sf) 像は試料表面の形状を示している。Sf 像から試料表面に大きな凹凸はなく、かなりフラットな状態であることがわかる。また、発光強度分布をマッピングした SNOM 像から発光の不均一性を確認することが出来る。これにより、局所領域においても InGaN 層の発光は不均一であることがわかった。

2-2 実験 b

また、試料上にプローブを固定し、時間による光学強度の変化を測定することで、局所領域において時間的による発光強度のシグナルデータを得ることに成功した。得られたシグナルデータの周期性を調べるため高速フーリエ変換 (FFT) による解析を行った (図 5)。

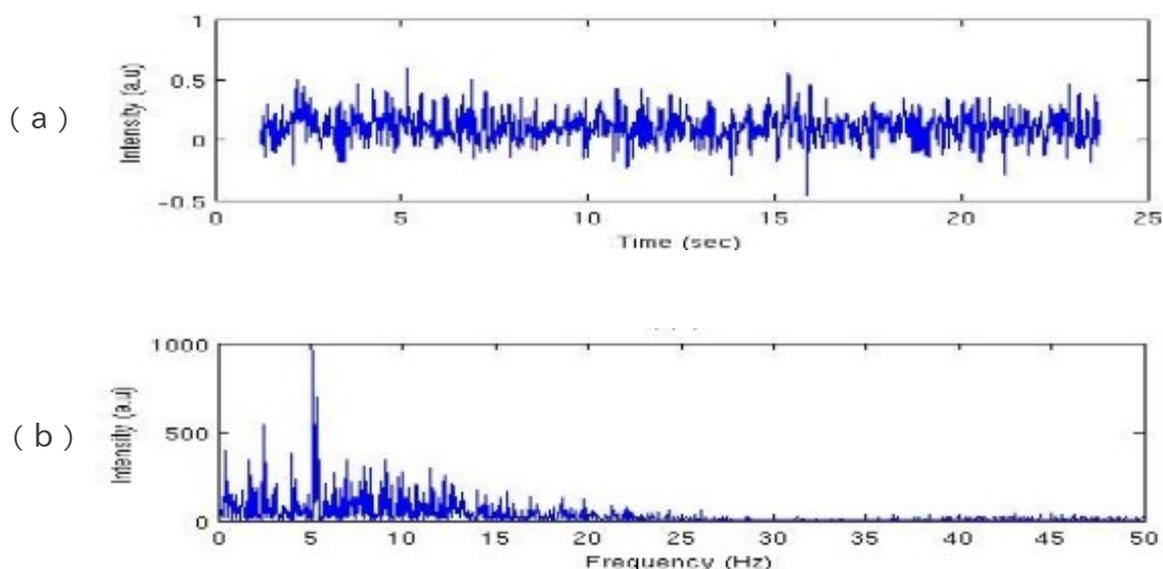


図 5 (a) SNOM によるシグナルデータの時間、光学強度図 (b) シグナルデータの周波数特性 (図 4) Point A 上で 20 秒間、光学強度を測定し、FFT 解析を行った。

5、まとめ

本研究では、まず UV 光 (325nm) で励起した InGaN 系発光ダイオードの発光表面の SNOM 像を得ることに成功した。次に局所領域において時間的な光学強度の変化を測定しシグナルデータを得ることに成功した。そして、得られたシグナルデータを解析した結果、1 秒間に数回程度 (5 Hz 程度) の強度変化周期が存在することがわかった (図 5)。これは、不安定点滅現象を CCD カメラで観察した点滅周期とほぼ一致する。今後、励起波長、温度依存による SNOM 像や時間的な光学強度を測定することで、不安定点滅現象の更なる定量化を実現したい。

6、参考文献

- [1]ナノ・フォトンクス～近接場光で光技術のデットロックを乗り越える
著者 大津元一 米田出版
- [2]STM/SNOM 複合装置の開発に関する研究
横川雅俊 京都大学大学院 工学研究科 材料化学専攻 修士論文
- [3]走査型近接場光学顕微鏡による窒化物半導体の研究
吉松伸起 京都大学大学院 工学研究科 材料化学専攻 修士論文
- [4]NEAR-FIELD NANO-OPTICS ~From Basic Principles to Nano-Fabrication
and Nano-Photonics~
MOTOICHI OHTSU AND HIROKAZU HORI 1999
Kluwer Academic/Plenum Publishers
- [5]Observation of optical instabilities in the photoluminescence of InGaN
single quantum well
Ruggero Micheletto, Masayoshi Abiko, Akio Kaneta, Yoichi Kawakami,
Yukio Narukawa and Takashi Mukai
APPLIED PHYSICS LETTERS 88,061118(2006)
- [6]Blinking Phenomena in InGaN Quantum Wells
Christian Feldmeier University Regensburg