単一 InAs/InP ナノワイヤ発光ダイオードの動特性評価

Dynamic property of single InAs/InP nanowire light emission diodes

日本電信電話株式会社 NTT ナノフォトニクスセンタ [1], NTT 物性研 [2]
°滝口雅人 [1,2], 章国強 [1,2], 佐々木智 [2], 野崎謙悟 [1,2], E. Chen[2], 俵毅彦 [1,2], 後藤秀樹 [2], 納富雅也 [1,2]
Nanophotonics Center[1], NTT Basic Research Labs.[2], NTT Corporation
°M. Takiguchi[1,2], G. Zhang[1,2], S. Sasaki[1,2], K. Nozaki[1,2], E. Chen[2], T. Tawara[1,2], H. Gotoh[2], M. Notomi[1,2]
E-mail: takiguchi.masato@lab.ntt.co.jp

ナノワイヤ（NW）は様々な材料特性を有するため、光チップ内に集積することで新しいデバイス応用が期待できる。これまで我々はフォトニック結晶中に NW を導入することで微小共振器を形成させ光励起でレーザ発振を達成したが[1]、電流注入構造は実現できていなかった。本研究ではチップ内光源を念頭に、単一 NW の電流注入構造を作製し(図 1(a))、発光ダイオード(LED)の特性を評価した。

InP NW は p 型 InP 基板に In 粒子を用い有機金属気相成長法で成長した。Zn-dope:InP と S-dope:InP の NW 中央には InAs/InP 量子井戸 5 層（~160 nm）を埋め込んだ[2]。この NW の径は 1 μm 程度で、長さは 8 μm 程度である。NW は硫酸と過酸化水で表面を処理し、酸化膜 Si 基板に転写後、マイクロマニピュレータで所望の位置に配置した。NW は基板から数 100nm ほどを無機ポリマーで埋め込み、導電性を取る為に NW と金属が接触する一部分をドライエッチングで削った。n 側を Ti/Al で、p 側を Au/Zn/Ni で蒸着し、リフトオフを経て電極パッドを作製した。図 1(b)は NW-LED の電流-電圧特性（I-V）、図 1(c)は電流-光出力特性（I-L）である。図のように、発光は電流値が 10 μA から確認できた。10 μA 以下の電流は発光に寄与せず、逆バイアス側でも 10 μA 程度電流が流れることから（I-V 特性）、リーク電流であることを示唆している。図 1(d)は同じ測定条件で、フォトルミネッセンス（PL）とエレクトロルミネセンス（EL）を測定し比較したものである。図のように PL スペクトルと EL スペクトルは良く一致し、電流注入でも光励起と同様にキャリア注入ができていることを確認した。次に動特性を調べた。変調信号は、バイアス電圧を 5.5 V にし 0.5 V の周波数の異なる正弦波信号を入力した。図 1(e)は、得られた変調信号(0.3 GHz, 1 GHz, 3 GHz)で、図 1(d)はこの結果をまとめたものである。この結果から 3dB 帯域は 1.5 GHz 程度であった。I-V 特性の線形領域で NW の微分抵抗値を求めると 30 kΩ 程度で、電極キャパシタンスを 20 fF と仮定すると、RC 時定数は 1.5 GHz 程度となり、実験結果とも一致した。

本発表では、初めて室温での単一 NW の LED 動作を確認し、さらにナノワイヤ素子では初めて、電流注入で GHz 程度の動特を確認した。講演では光励起と電流注入の注入キャリアの評価、疑似ランダム信号を使った動特性の詳細を報告する。今後は電極構造の改善を行い、さらにナノ構造を導入することで、単一 NW による電流注入レーザの実現を目指す。本研究は JSPS 科研費 15H05735 の助成を受けたものである。

[1] M. Takiguchi, *et al*, APL photonics, **2**, 046106 (2017)　[2] G. Zhang 他 応物 2017 秋

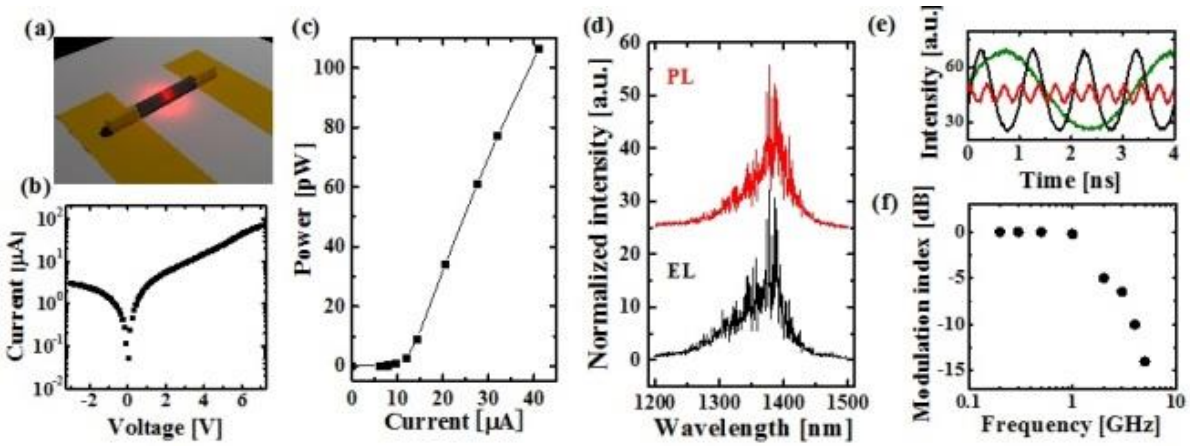

図 1. (a) 単一ナノワイヤ発光ダイオード (NW-LED) の概念図 (b) NW-LED の I-V 特性 (c) NW-LED の I-L 特性 (d) NW-LED の PL スペクトル（上）と EL スペクトル（下）の比較(e) 正弦波変調 (0.3 GHz, 1 GHz、3GHz)された出力信号 (f) NW-LED の変調度