テラヘルツ分光による単一カーボンナノチューブ量子ドットの電子状態の評価

Electronic states in individual carbon nanotube quantum dots studied by terahertz spectroscopy

東大生研／ナノ量子機構 [1]，東京理科大理 [2]　○(M2)鶴谷拓磨 [1]，吉田健治 [1]，矢島史彬 [2]，清水麻希 [2]，本間芳和 [2]，平川一彦 [1]

IIS/INQIE, Univ. of Tokyo,[1] Tokyo Univ. of Science [2]　°Takuma Tsurugaya[1], Kenji Yoshida[1], Fumiaki Yajima[2], Maki Shimizu[2], Yoshikazu Homma[2], Kazuhiko Hirakawa[1]　E-mail: churuya@iis.u-tokyo.ac.jp

カーボンナノチューブ量子ドット(CNT-QD)は、核スピンによる電子スピンのデコヒーレンスの影響が小さく、多重量子ドットなどより複雑な素子構造への展開が容易であるといった特長から、量子情報素子の構成要素として期待を集めている。従来、CNT の物性評価には、トンネル分光や可視・近赤外分光が主に用いられてきたが、今回我々はテラヘルツ分光[1]をCNT 単電子トランジスタ(SET)に適用することで、単一 CNT-QD の電子状態を評価した。

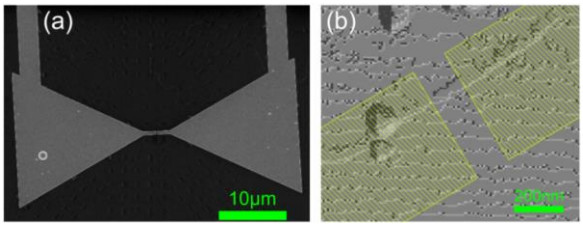

Fig. 1. (a) SEM image of a fabricated CNT-SET sample. (b) AFM image of the CNT and the CAD pattern for the nanogap electrodes. The diameter of the CNT was 0.5nm.

図１のように、ナノギャップ電極（電極間隔: 150 nm）に挟まれた金属型 CNT に対してボウタイアンテナ構造によりテラヘルツ電磁波を集光し、それによって誘起される光電流を分光することで CNT 内の電子遷移に関する情報を得た。測定した試料のクーロン安定化ダイアグラム及びテラヘルツ誘起光電流スペクトルを図２に示す。図２(a)のように、明瞭なクーロンダイヤモンドや CNT 中の量子化された電子軌道に対応した励起状態を表すラインが現れていることから、確かに量子ドットが形成されていることがわかる。この試料にテラヘルツ電磁波を照射し、その光誘起電流を分光した結果、図２(b)に示す光誘起電流スペクトルを得た。約 10 meV 付近に CNT-QD 内のサブレベル間の遷移に由来する急峻なピークが観測された。観測された 10 meV という値は、金属型 CNT のフェルミ速度から期待される量子化エネルギーにほぼ一致し、プラズモン的な振る舞いは見られなかった。このことより、CNT 内の電子間相互作用は、金属電極や基板バックゲートにより強くスクリーンされていると考えられる。

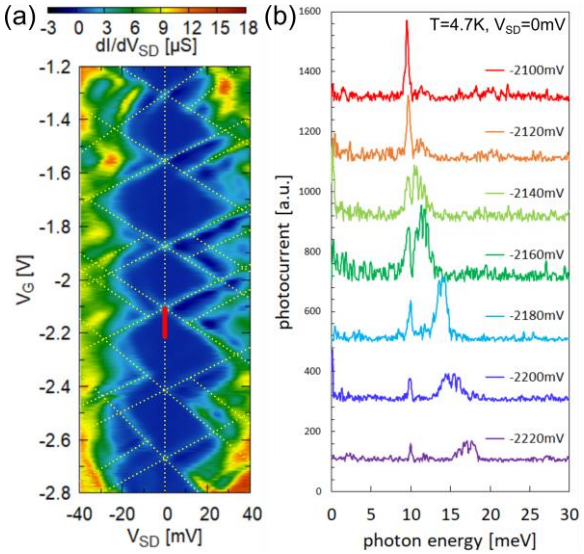

Fig. 2. (a) Coulomb stability diagram of the CNT-SET measured at 4.7K under dark condition. (b) THz-induced photocurrent spectra measured along the region marked by the red line in (a).

また、図２(b)のように、ゲート電圧に依存してシフトする比較的ブロードなピークも同時に観測された。その起源は明らかではないが、この遷移は電極形成あるいは CNT 上の欠陥により意図せずに形成された寄生的な閉じ込め状態によるものと思われる。以上から、テラヘルツ分光により、従来のトンネル分光では評価が難しかった量子ドットの電子閉じ込めに関して、有用な情報が得られることがわかった。

[1] Y. Zhang, K. Hirakawa, et al., Nano Lett. **15**, 1166 (2015).

© 2018年 応用物理学会