

印加電場による高次高調波発生の特ネリング過程の制御

Control of tunneling process for high-harmonic generation by a static electric field

都立大理¹, 京大理², 理研³, 九大 GIC⁴, 九大 IGSES⁵, iCeMS⁶, ○西留 比呂幸¹,
大元 幹人¹, 永井 恒平², 内田 健人², 村上 雄太³, 河原 憲治⁴, 枝 淳子¹, 大久保 瞳¹,
蓬田 陽平¹, 吾郷 浩樹⁴, 田中 耕一郎^{2,3}, 柳 和宏¹
TMU¹, Kyoto Univ.², RIKEN³, Kyushu Univ.⁴, IGSES⁵, iCeMS⁶, ○Hiroyuki Nishidome¹,
Mikito Omoto, Kohei Nagai², Kento Uchida², Yuta Murakami³, Kenji Kawahara⁴, Junko Eda¹,
Hitomi Okubo¹, Yohei Yomogida¹, Hiroki Ago^{4,5}, Koichiro Tanaka^{2,6}, Kazuhiro Yanagi¹

E-mail: yanagi-kazuhiro@tmu.ac.jp

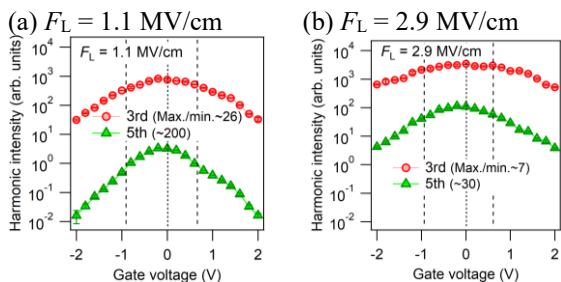
はじめに: 高強度中赤外レーザーの登場により、非摂動な高調波である高次高調波発生(HHG)が固体でも観測可能になった¹。固体系における HHG のプロセスは、高強度光電場によるバンド間でのキャリアの特ネリング過程、バンド内駆動、および再結合からなると考えられている。これまで我々は、半導体型の単層カーボンナノチューブ(SWCNT)における HHG がフェルミレベル(E_F)制御により桁で変化することを実験と計算の両面から明らかにしてきた²。本研究は、この E_F のシフトにより、レーザー電場で駆動されるキャリアの波数空間分布が、制限されることに着目した。これにより、バンド最近接点近傍でのみ支配的に起こる特ネリング過程に対し、キャリア数を制限することで影響すると考えられた。そこで、トンネル過程に影響するレーザー強度に加え、 E_F も制御した際の、高調波発生の変化を調査した。

方法: 試料として、バンドギャップが 0.7 eV の半導体型 SWCNT が一方向に並んだ配向膜を用意し、電解質ゲーティング法を用いることで、電圧 V_G によるフェルミレベル制御を行った。試料に 4.8 μm (0.26 eV)の中赤外レーザーを照射することで、HHG を発生させ、 V_G とレーザー強度を変えつつ、HH 強度の変化を測定した。また、密度行列の時間発展から数値計算的にも HHG プロセスを検証した。

結果: 図 1 にレーザー強度が弱い場合((a) $F_L = 1.1$ MV/cm)と強い場合((b) 2.9 MV/cm)での HH 強度の V_G 依存性を示す。この V_G 依存性に対する HH 強度の変化量が、レーザー強度を変えることにより大きく変化していることが分かる。レーザー強度が強い場合は、弱い場合と比較して 3 次や 5 次高調波の変化量が約 1/5 まで小さくなっている。計算結果(図 1c, d)も同様の傾向を示している。さらに計算における発生プロセスの解析から、レーザー強度が弱い場合は、 E_F シフトによりトンネル過程が制限されることで、HHG が強く抑制するのに対し、強度が強い場合は、電場駆動も強いいため、特ネリングが高効率で起こり、HHG があまり変化しないことが示唆されている。

- [1] S. Ghimire *et al.*, Nat. Phys., **7**, 138 (2010)
[2] H. Nishidome *et al.*, Nano. Lett., **20**, 6215 (2012)

実験



計算

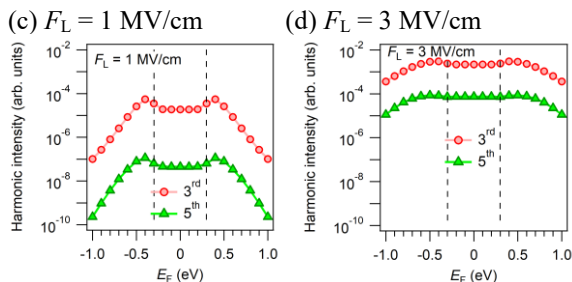


図 1 (a-b)高調波強度とゲート電圧の関係
(c-d)計算した高調波強度とフェルミレベル E_F の関係