

帯電電荷によるカーボンナノチューブ機械共振の高Q値化

High Q-factor mechanical resonance of carbon nanotube by electric charge

大阪府大工, °安田正明, 竹井邦晴, 有江隆之, 秋田成司

Osaka Pref. Univ., °M.Yasuda, K. Takei, T. Arie, S. Akita

E-mail: yasuda-4@pe.osakafu-u.ac.jp

はじめに カーボンナノチューブ(CNT)機械共振器は超高感度質量・熱量センサ[1, 2]等の応用が期待される。一方、室温ではQ値が1000以下とSi機械共振器などに比べて低いことが問題であった。本研究では、絶縁体で支持した片持ち梁CNTの支持体表面を帯電することで高いQ値が得られることを発見したので報告する。

実験 Si基板上にSU-8 3010、CNT分散層、SU-8 3010の順に3層構造を作り、リソグラフィによりCNT分散層を露出させることでSU8の絶縁体層に支持された片持ち梁CNTを得た(図1挿入図)。用いたCNTはCVD合成後、高温アニールした直径75 nm、長さ8 μ mのものである。帯電の影響のない振動検出は光-機械ヘテロダイン検波により行った[2]。CNTの加振には圧電体を用いた。走査型電子顕微鏡(SEM)の加速電圧 V_{acc} およびエミッション電流 I_e を変化し支持部の帯電制御を行った。この時、振動振幅の周波数依存性はSEM映像の解析から得た。

結果と検討 帯電の影響のない光学顕微鏡による測定では室温・真空における1次振動の共振周波数は1781.2 kHz、Q値は568であった。一方SEM内では I_e を増加すると共振周波数 f_0 が2078 kHzから2084 kHzまで上昇した(図1)。さらに、 I_e を増加することでQ値が約700から1700と約2.5倍向上した(図2)。また異なるCNTではQ値が10000を超えるものも見られた。これらの f_0 およびQ値の変化は帯電により共振器に張力が発生したことを示している。さらに別のCNTにおいて V_{acc} を増加することで図3のように振動特性にソフトニング型の非線形性を誘起することが出来た。これは絶縁体支持部と片持ち梁に働く静電気力が V_{acc} を増加することで増強され、さらに静電気力が距離に対して一定ではなく依存性もつためと考えられる。このようにCNT支持体表面の帯電電位制御はCNT片持ち梁の高Q値化や共振周波数、非線形性制御を可能にすることを示した。

謝辞 本研究は科学研究費補助金で行われた。

文献[1] S. Hiroshima et al., JJAP. 52, 06GH02(2013) [2] A. Yoshinaka et al., APL. 98, 133103 (2011).

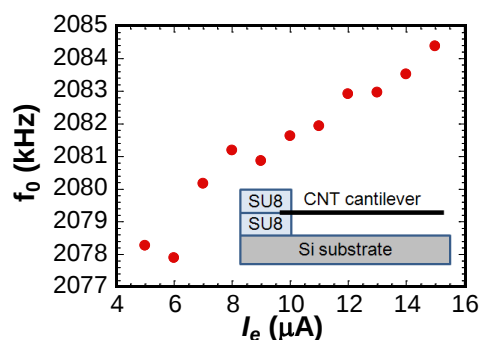


図1 共振周波数 f_0 の I_e 依存性

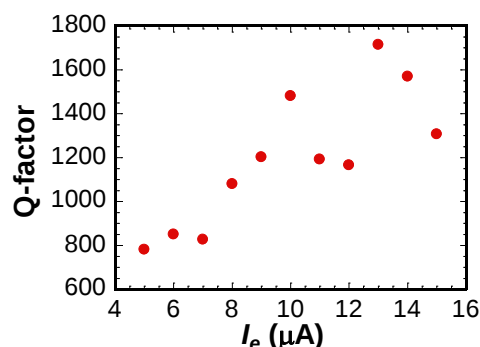


図2 Q値の I_e 依存性

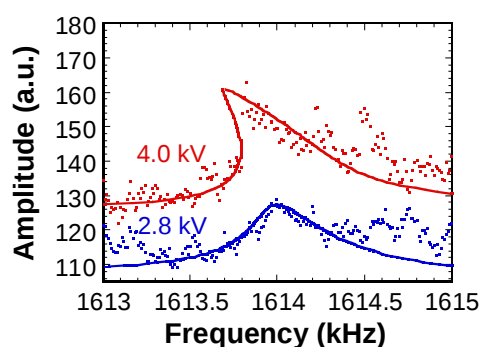


図3 共振特性の V_{acc} 依存性