原子層膜機械共振器の積層による振動制御

Resonance control of atomic layers mechanical resonators by stacking atomic layers

大阪府大工，°八十島和輝, 井上太一, 竹井邦晴, 有江隆之, 秋田成司

Osaka Pref. Univ., °K.Yasoshima, T. Inoue, K. Takei, T. Arie, S. Akita

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

はじめに　二次元材料はその優れた電気的・機械的特性により機械共振器（NEMS）や単光子源(SPE)への応用が期待されている。また、その積層により高機能化がはかれる。例えば単光子源となる h-BN と電気的特性に優れたグラフェンを積層することで、電気的な制御が容易な SPE-NEMS が期待できる。本研究では、グラフェン/h-BN の 2 層積層およびグラフェン/h-BN/グラフェンの 3 層積層 NEMS を作製し、安定な動作で重要となる共振周波数の温度依存性について調べた。

実験　Si/SiO_2 基板上にフォトリソグラフィを用いて電極を作製した後、CVD 法で合成したグラフェン（下）を転写し成形した。次に CVD 法で合成した h-BN を転写し、続けてグラフェン(上)を転写し CF_4 プラズマで成形した。ここでグラフェン/h-BN/グラフェン部分直下の SiO_2 を BHF によりエッチングし、超臨界乾燥を用いることで架橋構造を形成し、直径が 6 μm のドラム型積層グラフェン/h-BN/グラフェン機械共振器を作製した(図 1)。このように、h-BN をグラフェンで積層することで、通常のグラフェン単膜の試料と同様に、容易に電界で加振でき、振動振幅もグラフェンに流れるソース・ドレイン電流により測定できる (図 2)。なお、h-BN 単膜でも電界による振動は可能であるが、電気的な振動の検出は不可能である。このように、積層することで、絶縁体である h-BN 振動を容易に計測することを可能とした。

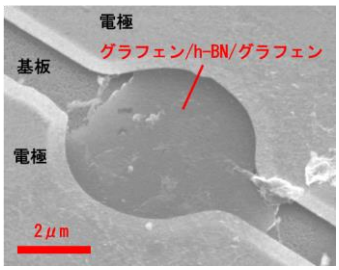

Fig. 1 SEM image of the device

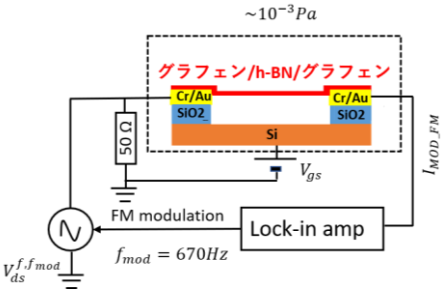

Fig. 2 Measurement setup.

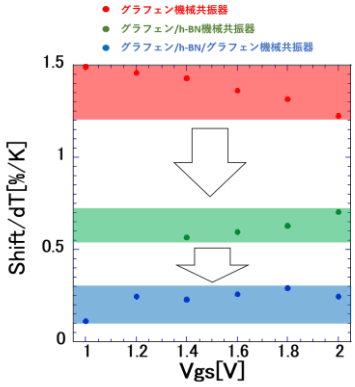

Fig. 3 V_{gs} dependence of the temperature coefficients of the resonance frequency shift.

結果と検討　積層による共振周波数の変化を図 3 にまとめる。h-BN を積層し二層構造にすることで共振周波数の温度変動を単層グラフェン機械共振器の約 1.4 %/K から約 0.7 %/K に低減することが出来た。さらにグラフェンを積層し三層構造にすることで共振周波数の温度変動を約 0.7 %/K から約 0.2 %/K に低減することが出来た。ただし、グラフェン機械共振器の場合では 1K あたりの共振周波数シフトがV_{gs}の増加とともに減少するのに対し、h-BN/グラフェン 2 層共振器ではV_{gs}の増加で温度依存性が正の方向に増加する。さらにグラフェン/h-BN/グラフェン 3 層機械共振器の場合では、その依存性が減少した。このように積層数により、周波数の制御性や温度変化特性が変化することを明らかにした。

謝辞　本研究は科学研究費補助金で行われた。