

グラフェン状物質 h-BCN をチャネルとした FET における 電気伝導特性ばらつきの統計的解析

Statistical analysis of electronic transport variability in h-BCN channel FET

神戸大院工 [○]生水出 浩斗, 小川 真人, 相馬 聡文

[○]Hiroto Shozude, Matsuto Ogawa, Satofumi Souma

Department of Electrical and Electronic Engineering Kobe University

IoT 社会の発展のためには、高速な情報処理を可能にする電界効果型トランジスタ (FET) の性能向上が不可欠である。従来のムーアの法則に従った微細化による性能向上は限界を向かえつつあるが、その打開策の一つとして新材料の模索がなされており、中でもグラフェン等の二次元原子膜を用いた FET が、優れたゲートスイッチングへの期待から注目を集めている。グラフェンはその電子移動度の高さから FET のチャネル材料として注目されている一方で、バンドギャップがないため電流のオンオフ比が小さいという欠点がある。これに対する解決策として、h-BN とグラフェンを混在させたグラフェン状物質である新材料 h-BCN により適度なバンドギャップを作り出す事が期待されている。これまで、図 1 に示すような h-BC₆N を始めとする様々な原子配置を持つ h-BCN の電子状態についての理論解析から、B:N:C の原子数の比率によって異なるバンドギャップを持つことが報告され、特に B:N:C=1:1:6 の場合に 1 eV 程度のバンドギャップが得られる事が分かっている[1]。しかしながら、この原子数比率においても様々な原子配置が考えられる (図 1 参照) 一方で、これらの原子の配置の仕方が、その h-BCN をチャネルとした FET の特性にどのような影響を与えるかについては十分明らかにされていない。

そこで本研究では、原子配置の違いが FET の特性に与える影響、特に、電流値やしきい値電圧の統計的ばらつきを明らかにすることを目的とし、強束縛近似法と障壁高さモデルに基づく FET のシミュレーションを行った。チャネルにおける電荷蓄積の影響は、キャパシタンスモデルを用いた自己無撞着計算によって考慮に入れられている。仮定する具体的な原子配置に関しては、最近、グラフェンの中に h-BN 領域が島状に存在する h-BCN の作成事例が報告されているため[2]、本シミュレーション研究においても、例えば図 1 (b) のように、広いユニットセルの中で B、N 原子が六員環構造を持って存在している数種類の h-BCN に特に焦点を当てた。それらの電流特性を解析した結果、原子配置、及び、材料の向きによって異なる電流特性を示すことが明らかとなった。また、h-BCN を実際に作成する際、原子配置を制御することは難しい。そこで、ばらつきの傾向を明らかにするため、得られた 30 種類の電流特性を統計的に解析した。図 2 は、得られた電流特性をひとつのグラフにプロットしており、オン電流 I_{on} は平均値から大きくばらついていることが見て取れる。講演では、ドレイン電圧や比誘電率などのパラメータなどを変化させたときのオン電流やしきい値電圧の平均値や標準偏差の変化の結果に加え、これらの結果に対する物理的解釈についても報告する。

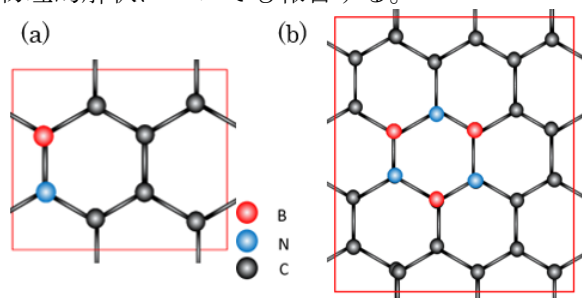


Fig. 1. Atomic arrangement of two different h-BC₆N structures. (a): one BN pair is included in a 8 atoms unit cell. (b): one six-membered-ring type BN is included in a 24 atoms unit cell. Red rectangular region means a unit cell.

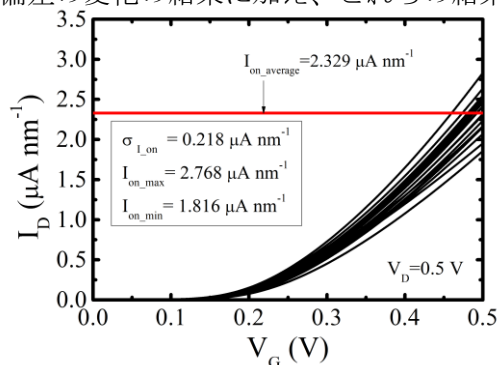


Fig. 2. Gate voltage dependence of drain current in h-BCN FETs for 30 different atomic arrangements. Drain voltage was set to 0.5 V and on-current was defined as the drain current at $V_g=0.5$ V.

[1] G. Fiori et al., ACS Nano **6**, 2642 (2012).

[2] S. Beniwal et al., ACS Nano **6**, 8136 (2017).