

六方晶系 BN 基板上グラフェンの電子輸送特性

Electron transport characteristic of graphene on hexagonal boron nitride substrate

神戸大工, °外田 祐也 平井 秀樹 相馬 聡文 小川真人

Kobe Univ. °Yuya Sotoda, Hideki Hirai, Satofumi Souma, and Matsuto Ogawa

E-mail: 168t228t@stu.kobe-u.ac.jp

Si に代わる二次元材料として注目されるグラフェンは実際のトランジスタに用いる際、基板の上に乗せられることが想定される。この基板の影響で電子の平均速度を低下する可能性があるため基板の選択は重要となる。そこで注目されているのが h-BN (六方晶窒化ホウ素) である。SiO₂ 基板よりも基板表面の荷電不純物密度が h-BN の方が 1~2 桁程度小さく、基板として注目される。本講演では h-BN 基板上のグラフェンにおける電子輸送特性をモンテカルロシミュレーションによって解析した結果について報告する。

シミュレーションにおいて、電子の散乱はグラフェン中の音響フォノン散乱と光学フォノン散乱、基板表面における光学フォノン散乱 (非有極) を考慮した。表 1 にパラメータをまとめる。ここで基板表面における光学フォノン散乱の変位電界 D_f については、h-BN では確かな実験値が確認できなかったため、HfO₂、SiO₂ の値を上限、下限として範囲を設定した。h-BN 基板上グラフェンの電界-平均速度特性を図 1 に示す。 D_f の値が大きいとき、つまり基板表面における非有極性光学フォノン散乱の影響が強いとき、高電界時の平均速度が上昇するという結果が得られた。これは前述した予想に反したもののだが、有極性光学フォノン散乱でも同様の結果が得られているため、妥当であると考えられる。これを考察するために、グラフェン内の電子について平均エネルギーを図 2、光学フォノン散乱の散乱回数を図 3 に示す。この二つの結果からわかるように、高電界時にグラフェン内の電子の平均エネルギーが低下し、散乱の回数も減少している。このことが平均速度増加の要因になっていると考えられる。

参考文献 [1] J. K. David et al., IEEE TED **59**, 976 (2012). [2] T. O'Regan et al., Jpn. J. Appl. Phys. **46**, 3265 (2007). [3] D. K. Ferry et al., 12th IEEE-NANO, Birmingham, August 2012. [4] R. Rengel et al., Appl. Phys. Lett. **104**, 233107 (2014)

substrate	D_f (eV/cm)	$\hbar\omega_{op}$ (meV)
SiO ₂	5.14×10^7 [1]	55 [2]
HfO ₂	1.29×10^9 [1]	12.4 [2]
h-BN	$5.14 \times 10^7 \sim 1.29 \times 10^9$	200 [3]

TABLE 1. Parameters for SiO₂ HfO₂ and h-BN. D_f is deformation field of the surface optical phonon scattering. $\hbar\omega_{op}$ is optical phonon energy.

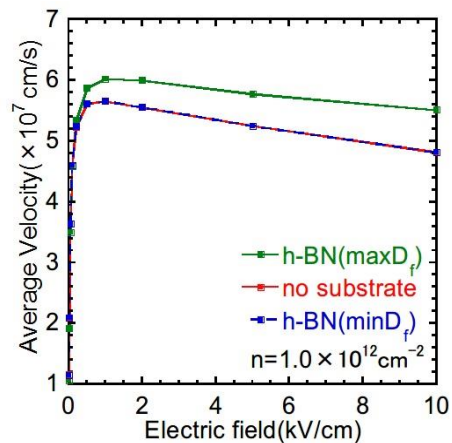


Fig. 1. Electric field dependence of average velocity in graphene on h-BN. Results for max D_f (1.29×10^9 eV/cm), min D_f (5.14×10^7 eV/cm) and no substrate are compared.

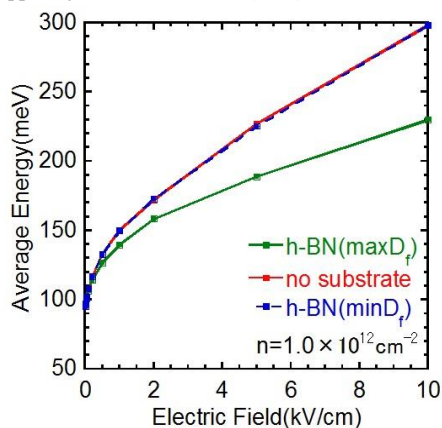


Fig. 2. Electric field dependence of average energy in graphene on h-BN. Average energy decreases by increasing D_f especially in high electric field

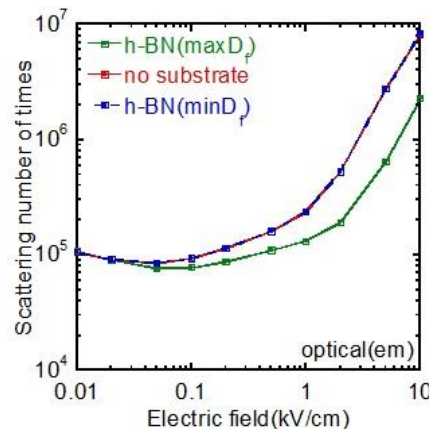


Fig. 3. Electric field vs the number of times of optical phonon scattering of electrons in graphene. Scattering number of times decreases by increasing D_f especially in high electric field.