

Black phosphorus FET の異方的電気伝導特性における トンネル効果の影響

Influence of the tunnel effect on

anisotropic electrical conduction characteristics of black phosphorus FET

神戸大院工, °外田 祐也 小川真人 相馬 聡文

°Yuya Sotoda, Matsuto Ogawa, and Satofumi Souma

Department of Electrical and Electronic Engineering Kobe University

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

近年、IoT 社会実現に向けて、デバイスの低消費電力化が求められている。従来、シリコンを材料としたFET が用いられてきたが、デバイスの高性能化を目指し、新材料を用いたFET の研究が多く行われている。本研究の対象としている黒リン(Black Phosphorus)はバンドギャップを有する元素半導体であり、同様に注目されているグラフェンに代わる半導体材料として注目されている。黒リンはバンド構造の異方性から黒リンFET において電流方向依存性が懸念される。さらにFET におけるトンネル電流にも方向依存性の考慮が必要となると考えられる。これは十分な解析が行われていないため、本研究では、黒リンFET における電流の方向依存性、特にトンネル電流が方向依存性に与える影響を明らかにすることを目的とする。

黒リンの特徴であるバンド構造の異方性から生じる電流の結晶方向依存性を検証した。Fig.1(b)が示すように、電流値はArmchair 方向に流した際、若干大きな値を取ることが分かった。次にバンドの異方性を有効質量の違いで取り込む有効質量近似という手法で計算を行う。Fig.2 のバンド構造を求め[1]、有効質量を抽出し、講演ではこれを用いた計算の結果を報告する。

またFET において、チャネル内の電荷の蓄積によりスイッチングに影響を及ぼすことが考えられる。そこで、ゲート、ソース、ドレインをキャパシタンスとして扱うキャパシタンスモデルでFET を再現し、ゲート電圧由来の電荷の蓄積を考慮した。電荷の蓄積を無視した場合と比較すると、電流値が著しく低下することが分かった。これは蓄積された電荷によるポテンシャル障壁が電子の流れを妨げていることが要因と考えられる。講演ではポテンシャル障壁のトンネル電流を考慮した電流特性を報告する。参考文献: [1]A. N. Rudenko and M. I. Katsnelson Phys. Rev. B89, 201408 (2014)

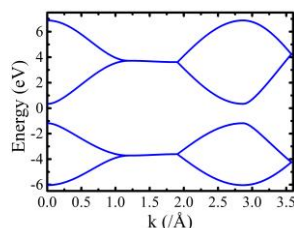


Fig. 2. 2D band structure of phosphorene calculated with tight binding method.

Table 1. Effective mass for valence and conduction bands in the armchair and zigzag directions

	Valence band	Conduction band
$\Gamma - X$ (Armchair)	0.203	0.152
$\Gamma - Y$ (Zigzag)	1.220	0.872

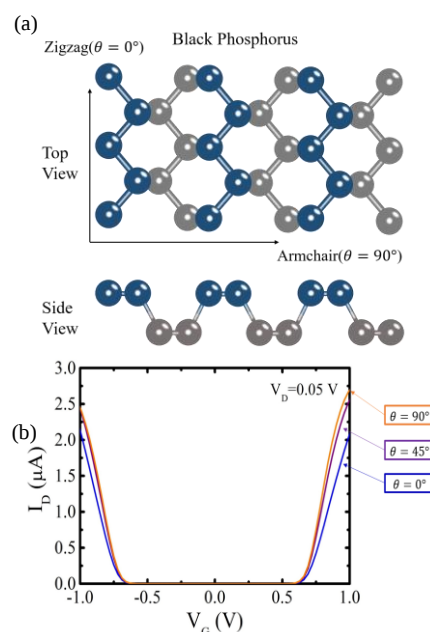


Fig. 1. (a) Atomic structure of phosphorene. (b) Black phosphorus crystal directional dependence of current. The current value becomes larger in the armchair direction.

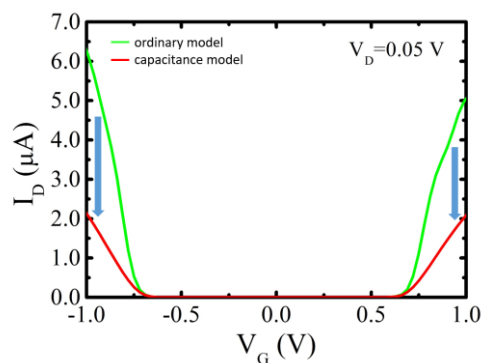


Fig. 3. I_D - V_G characteristic of phosphorene in zigzag direction. Due to the potential barrier caused by accumulation of electric charge (capacitance model), the current value decreases.