

課題番号 : F-18-IT-0034  
 利用形態 : 技術代行  
 利用課題名(日本語) : 黒リンをチャンネルとした電気二重層トランジスタの輸送特性  
 Program Title (English) : Preparation of electric double layer transistors with black phosphorus flakes  
 利用者名(日本語) : 荒木友輔, 片山裕美子, 上野和紀  
 Username (English) : Y. Araki, Y. Katayama, K. Ueno  
 所属名(日本語) : 東京大学大学院総合文化研究科  
 Affiliation (English) : Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo  
 キーワード/Keyword : 黒リン、輸送特性、リソグラフィ・露光・描画装置

### 1. 概要(Summary)

二次元層状物質の一つである黒リンは、その層数によってバンドギャップが 0.3 eV から 1.5 eV へと増加することが報告されている直接遷移半導体である。厚膜においても 1000 cm<sup>2</sup>/Vs を超える移動度が報告されており、次世代材料の一つとして極薄膜の輸送特性を明らかにすることが期待されている。本研究では、黒リンの大気劣化を抑えながら膜厚を制御し輸送特性を評価する手段として、電気二重層トランジスタ(EDLT)に着目した。本件では、黒リンを EDLT デバイス化し、電気化学的手法により黒リン膜厚を制御し、各膜厚でのバンドギャップ算出および Hall 測定によりキャリア濃度および移動度を算出した。

### 2. 実験(Experimental)

#### 【利用した主な装置】

電子ビーム露光装置、電子ビーム露光データ加工ソフトウェア、触針式段差計

#### 【実験方法】

東京工業大学の電子ビーム露光装置の支援を受け、SrTiO<sub>3</sub> 基板上に基準パターン作製、および転写黒リン剥片上に 6 端子を作製した。黒リン剥片への描画後、電子ビーム蒸着により Ti/Au, Cu 電極、イオン液体 DEME-TFSI を用いて EDLT を作製し、物理特性測定装置 PPMS を用いて輸送特性の測定を行った。

### 3. 結果と考察(Results and Discussion)

Figure 1 に黒リン EDLT のドレイン電流のゲート電圧依存性から見積もった閾値電圧および、2 つの閾値電圧から見積もられたエネルギーギャップを示す。閾値電圧間のエネルギーギャップは、黒リンのバンドギャップを表し、電気化学的エッチングにより極薄膜化することで、バンドギャップエネルギーが増加する様子が観測された。また、Ti 電極を用いた EDLT では、ホール側で 410 cm<sup>2</sup>/Vsec、電子側で 18 cm<sup>2</sup>/Vsec の電界効果移動度を得た。Cu

電極を用いたデバイスでは、Hall 測定で両側動作を確認し、ホール側で 780 cm<sup>2</sup>/Vsec、電子側で 75 cm<sup>2</sup>/Vsec という高い電界効果移動度を得た。

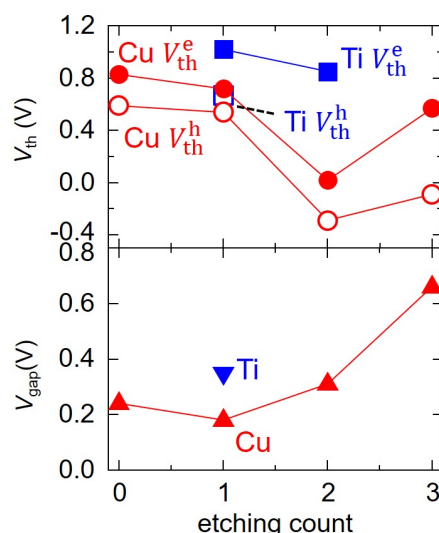


FIG.1 Threshold voltages estimated from the gate voltage dependence of drain current of black phosphorus EDLTs and energy gap estimated from threshold voltages.

### 4. その他・特記事項(Others)

本研究は、東京工業大学科学技術創生研究院フロンティア材料研究所 笹川研究室との共同研究により行われた。本研究の一部は、CREST-JST および村田学術財団の助成を受けたものである。

### 5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

[1] 荒木友輔, 佐藤洋平, 片山裕美子, 高橋敬成, 笹川崇男, 上野和紀, 電気化学エッチングによる黒リンの輸送特性制御, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 19p-437-3 名古屋 2018 年 9 月.(口頭発表)

[2] 電気化学的手法による層状化合物の物性制御, 荒木友輔(東京大学大学院総合文化研究科), 2018 年. 62 頁, 修士論文.

### 6. 関連特許(Patent) なし。