

MBE 法によって傾斜 6H-, 4H-SiC ナノ表面上にエピタキシャル成長したグラフェンナノリボンによるバンドギャップ形成

Bandgap opening on graphene nanoribbons grown on vicinal 6H- and 4H-SiC surfaces by molecular beam epitaxy

九大院工¹ 東大物性研² 東工大院総理工³ ○梶原 隆司¹, ビシコフスキー アントン¹, 中辻 寛³

飯盛 拓嗣², 小森 文夫², 田中 悟¹

Kyushu Univ.¹, Univ. of Tokyo², Tokyo Inst. Tech³ ○T. Kajiwara¹, A. Visikovskiy¹,

K. Nakatsuji², T. Imori², F. Komori², and S. Tanaka¹

E-mail: kajiwara@nucl.kyushu-u.ac.jp

グラフェンナノリボン(GNR)は、そのエッジの種類(ジグザグ・アームチェア)によって物性が異なり[1]、エッジ物性への興味や電子デバイス応用を目的としたバンドギャップの形成など多くの注目を集めている。これまでに様々な GNR 作成法が報告されている[例えば 2, 3]。我々はこれまでに、傾斜 SiC 基板に特有のナノ表面[4]をテンプレートに用い、固体カーボンを用いた MBE 法による GNR の作製を行い、傾斜 6H-SiC 基板(4° off toward [1-100])を用いて 10nm 幅のリボンアレイを作製し、角度分解光電子分光(ARPES)によって K 点にバンドギャップを観察している[5]。

SiC ナノ表面は、傾斜 SiC 基板を高温水素ガスエッチングすることによって得られるテラス/ファセットが周期的にオーダリングした表面であり、ポリタイプの違いによってオーダリング周期が変化する。例えば 6H-SiC の場合、10nm 幅の(0001)テラス面と 10nm 幅のファセット面が周期的に配列するのに対して、4H-SiC の場合、5nm のテラス/ファセットが配列する。SiC ナノ表面へ MBE 法によってグラフェンを成長させると、テラス(0001)面へ選択的にグラフェンが成長するため、テンプレートとして用いる SiC 基板によって異なる幅の GNR が作成可能である。本報告では 6H および 4H-SiC 基板を用いて 10nm および 5nm 幅の GNR を作製し、バンドギャップサイズのリボン幅依存性について観察した結果について報告する。

実験は傾斜 SiC 基板を高温水素ガスエッチングし、SiC ナノ表面を作製した後に MBE チャンバー($<10^{-9}$ torr)に導入し固体カーボン源を用いた MBE 法によってバッファ層(6 $\sqrt{3}$ 層)を作製する。その後、水素インターカレーション処理によって単層 GNR を作製した。作製した GNR の評価には AFM、顕微ラマン分光、角度光電子分光(ARPES)を用いた。

実験結果を図 1 に示す。図 1 (a), (d)はそれぞれ 6H および 4H-SiC 基板の GNR 成長後の AFM 像を示している。6H-SiC を用いた場合には均一な 10nm 幅のテラスが観察されたが、4H-SiC を用いた場合には 5nm 幅のテラスの他に、グラフェン成長中に生じたステップパンチングによって 10nm 幅のテラスが観察された。図 1(b)および(e)に示す ARPES 観察結果では、6H-SiC を用いて作製した場合(図(b))ではシャープなピークが観察されたのに対して、4H-SiC を用いた場合(図(e))ではブロードなピークが観察された。図(f)に示す EDC(Energy Distribution Curve)図を解析すると、このブロードなピークは 2つのピークによって構成されていることが示唆され、価電子帯の頂点がフェルミエネルギー(E_F)から -150 meV と -280 meV に位置している。この 2つのピークは AFM によって観察された 5nm 幅および 10nm 幅の GNR に対応していると考えられる。水素インターカレーション処理による疑似フリースタンディンググラフェンは約 100

meV p-type にドーピングされているという報告[6]と ARPES 観察結果からバンドギャップのサイズを推定すると、それぞれ 280~780 meV、および 150~500meV である。参考文献[7]と我々の実験結果比較すると図 2 のようになり、リボン幅とバンドギャップサイズの関係について、これまでに報告されている実験や理論計算の値と比較しておおむね一致する結果であった。

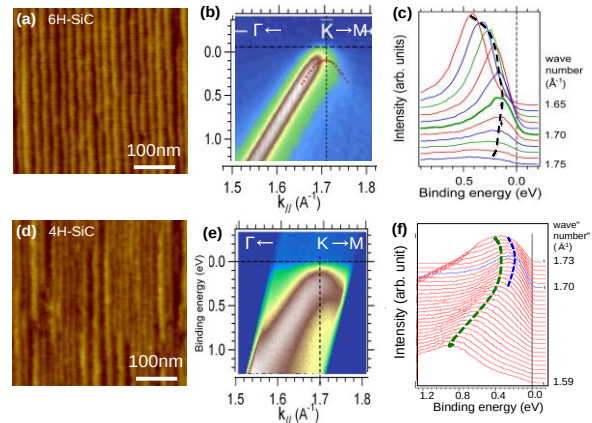


図 1 実験結果 (a), (d)AFM 像、(b), (e)ARPES 像、(c), (f)EDC

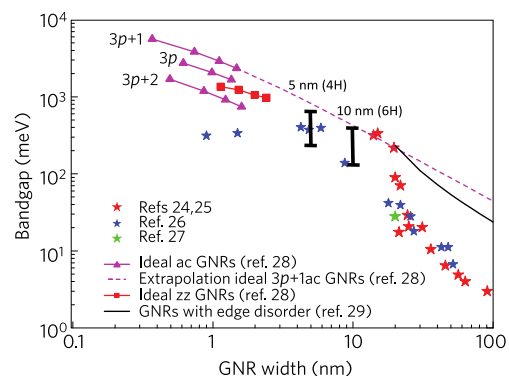


図2 バンドギャップサイズとリボン幅の対応
参考文献[6]との比較図

References

- [1] K Nakada *et al.*, Phys. Rev. B, **54**, 17954 (1996).
- [2] L. Jiao *et al.*, Nature **458**, 877 (2009).
- [3] J. Cai *et al.*, Nature **466**, 470 (2010).
- [4] H. Nakagawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 226107 (2003).
- [5] T. Kajiwara *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 121407 (2013).
- [6] C. Riedl *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 246804 (2009).
- [7] F. Schwierz, Nature Nanotech. **5**, 487 (2010).