

$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -グラフェンヘテロ構造における非対角熱電効果Transverse thermoelectric voltage in  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -graphene heterostructures

大阪府大院工 ○望月 裕太, 竹井 邦晴, 秋田 成司, 有江 隆之

Osaka Pref. Univ. Y. Mochizuki, K. Takei, S. Akita, and T. Arie

E-mail: mochizuki-4@pe.osakafu-u.ac.jp

はじめに グラフェンは高いキャリア移動度とパワーファクタを有しているため、フレキシブルな熱電変換素子としての応用が期待されている。一方で熱伝導率が非常に高いため無次元性能指数(ZT)は小さい。本研究室ではこれまで、グラフェンに同位体炭素原子や欠陥を導入することで熱伝導率を低下させ、ZTを向上させる研究が行われてきた[1-3]。熱電変換性能を向上させるもう一つの方法として非対角熱電効果が挙げられる[4]。これは電氣的・熱的性質の異なる2つの物質を接合させることで現れ、温度差方向と垂直な方向に起電圧が生じる。本研究では等方性物質であるグラフェンに対し、同位体炭素原子を用いることでヘテロ構造を作製し、二次元材料において面内に非対角熱電効果の発現を試みたので報告する。

**実験** まず、 $^{12}\text{C}$ と $^{13}\text{C}$ を50%の比で混合したグラフェンを $^{12}\text{CH}_4$ と $^{13}\text{CH}_4$ を炭素源として化学気相成長法(CVD)で作製した。その後、フォトリソグラフィでグラフェンのパターンニングを行い、再度 $^{12}\text{CH}_4$ を炭素源としてCVDを行うことでエッチングした部分に $^{12}\text{C}$ のみから成るグラフェンを作製し、ヘテロ構造を作製した。

**結果と検討** 非対角熱起電圧は

$$|\Delta V| = \left| \frac{\Delta T}{2} \frac{l}{d} (S_{\parallel} - S_{\perp}) \sin 2\theta \right| \quad (1)$$

で表される。ここで $\Delta T$ は温度差、 $l/d$ はデバイスのアスペクト比、 $\theta$ はヘテロ界面の傾斜角度、 $S_{\parallel}$ と $S_{\perp}$ はそれぞれグラフェンヘテロ構造の界面に対して平行方向と垂直方向のゼーベック係数である。図1(a)は本研究で作製した典型的なデバイスの光学顕微鏡像とグラフェンのラマンマッピング像であり、グラフェンのヘテロ周期は $5\mu\text{m}$ 、傾斜角度は $45^\circ$ である。図1(b)は非対角熱起電圧の傾斜角度 $\theta$ の依存性を測定したものである。熱起電圧は $\theta=45^\circ$ で最大値 $12.0\mu\text{V}$ を示し、これは式(1)と一致する。また、式(1)で示したように、デバイスのアスペクト比に対し、熱起電圧が比例して大きくなることも確認した。これらからグラフェンのような二次元材料でも非対角熱電効果が発現することが確認でき、この効果が熱電変換性能を向上させる可能性があることを示した。

**謝辞** 本研究の一部は科研費により行われた。

**参考文献**

- [1] Y. Anno, K. Takei, S. Akita, T. Arie, Phys. Status Solidi RRL 8, 692 (2014).
- [2] Y. Anno, K. Takei, S. Akita, T. Arie, Adv. Electron. Mater. 1, 1500175 (2015).
- [3] Y. Anno, Y. Imakita, K. Takei, S. Akita, T. Arie, 2D Mater. 4, 025019 (2017).
- [4] T. Kanno, S. Yotsuhashi, A. Sakai, K. Takahashi, H. Adachi, Appl. Phys. Lett. 94, 061917 (2009).

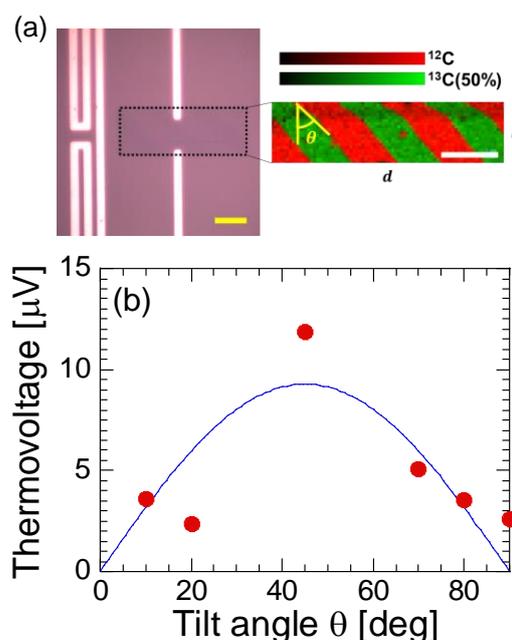


Fig. 1 非対角熱起電圧の傾斜角度依存性 ((a)のスケールバーは $10\mu\text{m}$ )