

反磁性力で湾曲するグラフェンカンチレバーの安定形状

Stable Shape of a Graphene Cantilever Bent by a Diamagnetic Force

兵庫県大工, (M1) 前渕一徳, 盛谷浩右, 乾 徳夫

Graduate School of Engineering, University of Hyogo,

Kazunori Maebuchi, Kosuke Moritani, Norio Inui

E-mail: ej22g018@steng.u-hyogo.ac.jp

グラフェンは軽量かつ強靱で、伝導性があるため、メカニカルスイッチをはじめとする MEMS 部品としての利用が期待されている。通常、グラフェンの駆動には静電気が用いられるが、グラフェンには強い反磁性があるため、磁性による駆動も可能と考えられる。しかし、グラフェンに磁気力については十分には研究されていない。そこで、本発表では一端を固定したグラフェンナノリボン（以下カンチレバーと略す）を均一磁場に配置したときの形状を求める。

まず、非拘束状態のグラフェンを円柱磁石表面と平行になるように配置した場合について考える。磁場は表面に近い程大きいので、表面から遠ざかることで磁気エネルギーが減少する。つまり、磁石はグラフェンに対して斥力を及ぼし、この力による浮揚は反磁性浮揚として知られる [1]。この効果は磁場が一様である場合には生じない。しかし、カンチレバーのように一端を固定すると磁場が一様であっても屈曲が生じる。その要因はグラフェンの磁気異方性にある。磁場をグラフェン表面と垂直に印加した場合と比較して、平行に印加した場合、生じる磁化は極めて小さい。したがって、カンチレバーは磁場と平行になった場合の方が磁気エネルギーが減少する。しかし、一端が固定されているので、湾曲することで磁気エネルギーを下げようとする。一方、曲げエネルギーは増大するので、平坦に戻ろうとする。よって、磁場中におけるカンチレバーの安定形状はこれら二つのエネルギー和が最小になる形状として求められる。

グラフェンに作用する力は、磁場により誘導された電流の寄与とスピンによる寄与があるが本研究では前者のみを考慮し、タイトバインディングモデルを用いて室温における磁化率のサイズ依存性を計算した。次に、カンチレバー

の形状が四分の一円である場合について、Ter-soff ポテンシャルを用いて曲率半径と曲げエネルギーの関係から曲げ剛性を求めた。これら二つの方法が適用できるのはカンチレバーが短い場合に限られるため、長いカンチレバーの計算には連続体近似を導入した。

連続体近似で得られたエネルギーは次式で表される。

$$U = \int_0^{x_{\max}} \left[\alpha \frac{(f'')^2}{\{1 + (f')^2\}^{5/2}} + \beta \frac{1}{\sqrt{1 + (f')^2}} \right] dx$$

ここで、 $f(x)$ はグラフェンの断面形状を表し、 α と β は磁化率と剛性率および印加した磁束密度から定まる定数である。このポテンシャルエネルギーは形状の汎関数であり、安定形状はポテンシャルエネルギー U を最小にする形状となる。よって、Euler-Lagrange 方程式を解くことにより安定形状を求めた。その際、境界条件として $f'(0) = 0$ を課した。 α と β で定まる長さで規格された安定形状の一例を図 1 に示す。

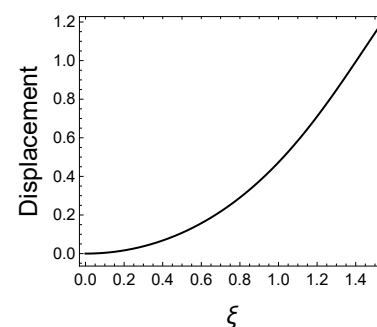


Fig. 1 Displacement of a graphene cantilever.

講演では、形状の近似式ならびに長さ依存性についても述べる。

本研究は JSPS 科研費 21K04895 の助成を受けたものです。

[1] M. D. Simon, and A. K. Geim, J. Appl. Phys. **87** 6200 (2000).