

強磁性電極によるカーボンナノチューブへのスピン注入

(京大院工) ○加藤良隆、笛野博之、田中一義

【緒言】

電子は電荷に加え、磁性を司る「スピン」という属性を持つ。従来の電子デバイスではこれらのうち主に電荷の性質のみを利用してきたが、近年、電荷に加えスピンの性質も利用した「スピントロニクス」の研究が盛んに行われている。その一つとして磁気抵抗効果 (MR 効果) が挙げられる。これは、両電極の磁化方向が相対的に平行あるいは反平行であるときに抵抗の大きさが変化する現象である。このような性質を持つスピントロニクスの分野では、新たな機能を持つ電子デバイスの開発が期待されている。

一方、カーボンナノチューブ (CNT) はグラフェン、ダイヤモンド、フラーレンに次ぐ第四の炭素系材料であり、グラフェンシートを筒状に巻いた構造を持つ (Fig. 1)。CNT は構造により電子状態が変化する性質や、電子輸送の際に、格子散乱を受けないバリスティック伝導を示す性質が示唆されていることから、電子材料への応用が期待されている。

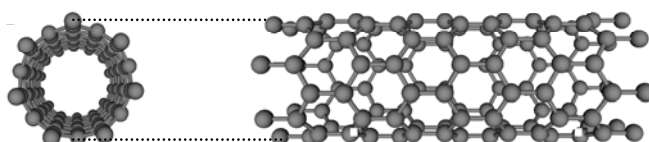


Fig. 1 Structure of carbon nanotube.

本研究ではスピントロニクスへの応用を視野に、強磁性電極から CNT へのスピン注入について理論的に考察することによって、その電気的性質を解析した。

【方法】

本研究では、非平衡グリーン関数法と密度汎関数法 (density functional theory :DFT) を用いるプログラムパッケージ ATK (Atomistix Tool Kit) を使用した。DFT 計算は一般化密度勾配近似 (Generalized gradient approximation :GGA) に基づいて行い、基底関数には Single Zeta Polarized function を採用した。

スピン注入源である強磁性電極として Fe を、スピン注入対象としては半導体的性質を持つ (7,0)CNT を選択した (Fig. 2)。両電極の磁化方向が相対的に平行であるときと反平行であるときのそれぞれにおける電流 - 電圧特性を計算し、MR 効果について評価した。

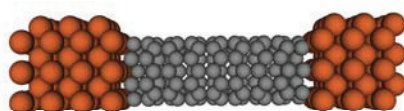


Fig. 2 CNT bridged between Fe ferromagnetic electrodes.

【結果】

計算によって得られた、電流 - 電圧特性を Fig. 3(a)、(b) に示す。電極磁化方向が平行であるときには、Up-Spin 電流の方が Down-Spin 電流より大きな値を示し、そのスピン偏極率 (Polarization) は最大で 65 % となった (Fig. 3(a))。この結果から、強磁性体である鉄電極から注入されたスピン

偏極電流は、磁性を持たない CNT 中をスピン散乱されることがなく流れることがわかった。一方、反平行であるときには、Up-Spin、Down-Spin それぞれの電流値には平行時ほどの大きな差は見られず、スピン偏極率は最大でも 18% であった (Fig. 3(b))。なお、スピン偏極率は以下のように定義している。

$$P = \frac{I_{\uparrow} - I_{\downarrow}}{I_{\uparrow} + I_{\downarrow}} \times 100$$

I_{\uparrow} : Up-Spin 電流値
 I_{\downarrow} : Down-Spin 電流値

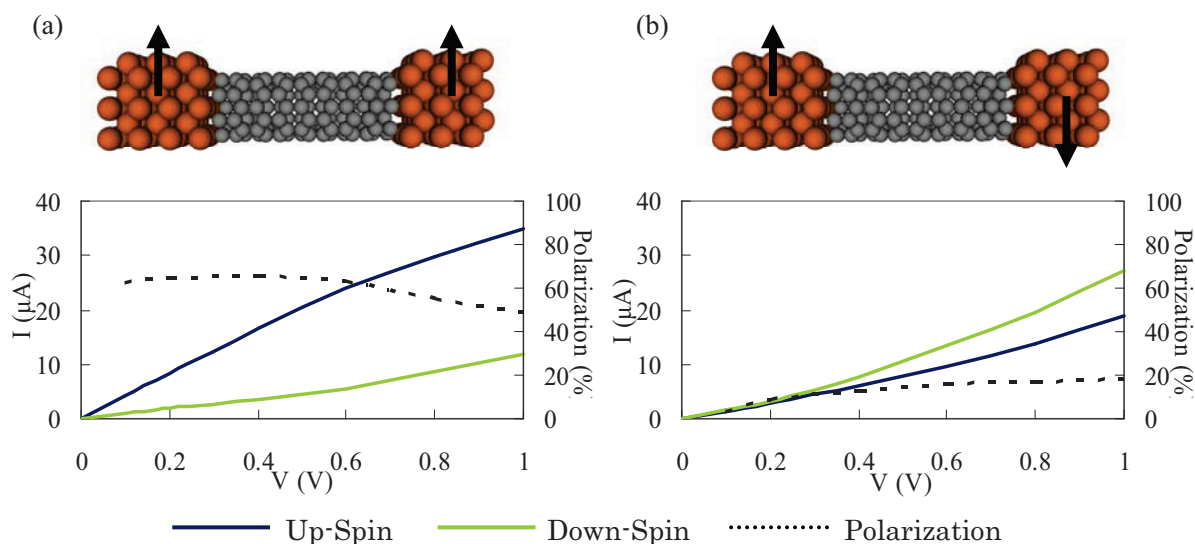


Fig. 3 I-V characteristics for each spin type and polarization:
 (a) Parallel magnetization and (b) Anti-parallel magnetization

また、電極磁化方向が平行時、反平行時それぞれにおける Up-Spin と Down-Spin の全電流値 ($I_{\text{total}} = I_{\uparrow} + I_{\downarrow}$) 及び MR 比を Fig. 4 に示す。ここで MR 比は以下のように定義されるもので、スピンデバイスの評価にしばしば用いられる。

$$MR = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \times 100 = \frac{I_P - I_{AP}}{I_{AP}} \times 100$$

I_P : 平行時の全電流値

I_{AP} : 反平行時の全電流値

平行であるときより反平行であるときのほうが大きな抵抗値を示すことがわかり、MR 効果が確認された。またこのとき最大で 84% の MR 比が得られた。

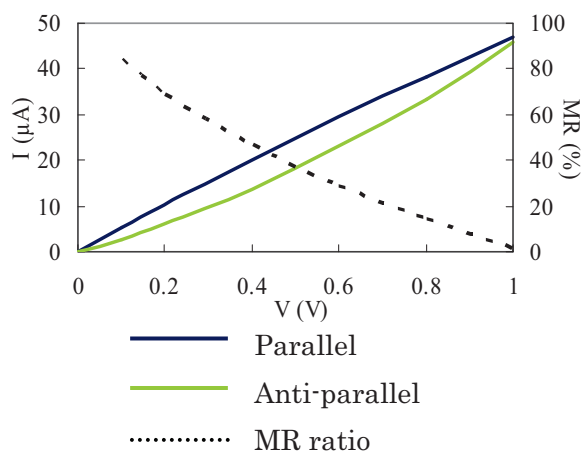


Fig. 4 I-V characteristics for the total current ($I_{\text{total}} = I_{\uparrow} + I_{\downarrow}$) and MR ratio.