

進捗報告 (Silicon Nanowire スピンバルブデバイスの作製)

研究背景

ここ数年、シリコンにおけるスピン注入が実現され[1]、シリコンを用いたナノスケール材料である Silicon Nanowire (SiNW) におけるスピントロニクスが注目を集めている。Mn⁺イオンをドーパした室温強磁性の Si を電極として用いると[2]、Si 一つでナノスケールスピントロニクスデバイスを作製できることが期待される。現在は、MnSi をスピン電極として用いた SiNW でのスピン注入が報告されているが[3]、大きな磁場が必要となり、保磁力差は同じ条件では出せないといった課題も残っている。

目的

Co (電極) で保磁力を決める事ができれば毎回同じ条件で狙ったスピンバルブを得る事ができ、小さな磁場でもスピンバルブが出現すると考えられる。また、前回までの SOI スピンデバイスでゲートリークのような現象を抑える事ができなかったが、エッチングにより SiNW のみにすることで、上部 Si が取り除かれ、ゲートリークを防ぐことができると考えた。

実験方法

本実験では、基板に p 型 SOI を用いた。KOH 水溶液を用いた異方性エッチングにより SiNW を作製した。電極には Co/Au を用いている。以前までは絶縁層であるアルミナを介していたが、100 nm の凹凸 (SiNW) の上にアルミナを膜状にするのは難しいと判断し、絶縁層は使用していない。スピン輸送に効く左右の電極の大きさを変えることで、保磁力に差がつくことを狙っている。以下にデバイスの構造を示す。一つのデバイスに 30 本の SiNW を用いている。

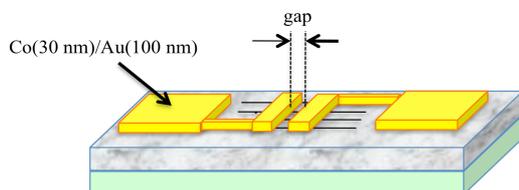


図1 デバイス構造

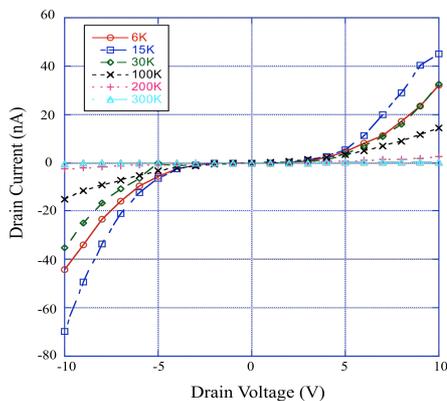
異方性エッチングによる SiNW の作製を行っていた梶原氏のデバイス構造とは異なり、SiNW だけが基板に残った状態で電極を蒸着している。

このデバイスの両電極をソース・ドレインとして測定を行った。

測定結果

(1) 図 2 (a)、(b)に 200 nm ギャップにおける直径 100 nm、200 nm の SiNW デバイスの電流-電圧特性の温度依存性を示す。

(a)



(b)

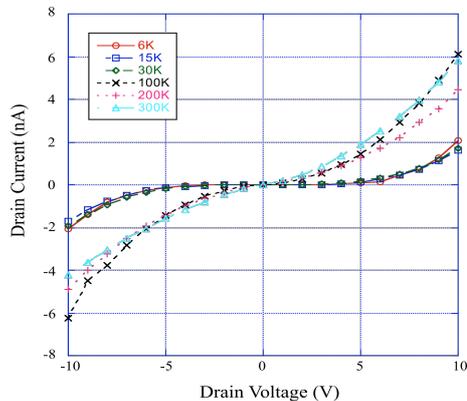
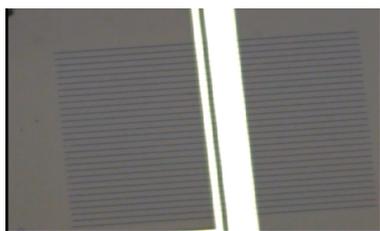


図 2 200 nm ギャップにおける(a)直径 100 nm SiNW デバイス、(b)直径 200 nm SiNW デバイスの電流-電圧特性

(a),(b)とも半導体の特性である温度上昇に対する電流値の上昇が見られなかった。また、同一基板上に作製したデバイスであるが、(a)は低温で電流値が大きい傾向があり、(b)では高温で電流値が大きい傾向が得られた。

(2) 図 3(a)、(b)に測定後のデバイスの光学顕微鏡像を示す。

(a)



(b)

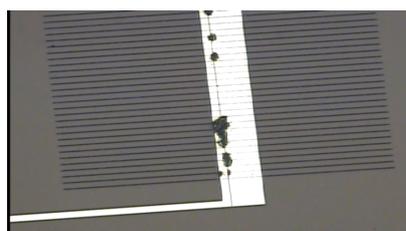


図 3 測定(a)前、(b)後のデバイスの光学顕微鏡像

測定前は(a)の状態であったが、測定後は(b)のようにマイグレーションが起きている事を確認した。測定した全てのデバイスにおいてマイグレーションが起きている。

考察

電流-電圧特性から半導体の温度特性を得る事ができなかった。SiNW の直径

が数百 nm あることから量子効果であるとは考えにくく、また、SiNW の低温測定で温度に対して電流値が下がるという報告は無かった。通常の半導体の温度特性が得られない原因として、プローブをパッドに接触の仕方が影響する、つまり毎回プローブの当て方が変化することによって電流値に影響すると考え、光学顕微鏡で測定後のパッドの観察を試みた。そこで(2)で示したようにマイグレーションを確認した。マイグレーションによって電極の状態・電流を正常に流す SiNW の本数・半導体の特性などが作用して温度に対して規則性を得られなかったと考えられる。マイグレーションの原因としては、30 本並んだ SiNW のそれぞれの接触抵抗が異なる事から、流れやすい SiNW に大電流が流れ、熱的なマイグレーションが起こったと考えられる。接触抵抗が大きいことは想定していたが、ここまで影響が出る事は想定していなかった。印可する電圧を低くする必要があるが、ある程度の電流値は確保しなければならないので印可電圧の調整をしなければならない。

また、FET 特性についても電流-電圧特性と同様バラツキが見られるものがあった。また、バラツキがないものに関してはゲートにほとんど依存しないという結果となった。これは、構造上ゲート電圧がかかりにくい状態となっている可能性がある。SOI 基板の上部 Si を用いていたときと同じ特性は得られないと考えている。

今後の予定

- SiNW の本数を一本にする。
接触抵抗を全て同一にするのは困難であり、毎回同じ条件で測定できないことから、一本のみで測定したほうが議論しやすくなるためである。
- マイグレーションが起こりにくい電極に変更
金の融点より高い金属を使う事でマイグレーションしにくくなり、電圧を極端に小さくしなくて済むようにするためである。
その他、絶縁層を介さなければいけないようであれば、どのようにするか検討する必要がある。

参考文献

- [1] I. Appelbaum, B. Huang, D.J. Monsma, *Nature* **447**, 295 (2007).
- [2] H.W. Wu, C.J. Tsai, L.J. Chen, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 043121 (2007).
- [3] Yung-Chen Lin *et al.*, *Nano Lett.* **10**, 2281 (2010).