

令和5年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：個人研究 研究期間：令和5年10月～令和6年9月（予定）

研究課題名：縦型ゲルマニウムナノワイヤスピンドバイスの開拓

ラボ長

所属：大学院基礎工学研究科 附属スピントロニクス学術連携研究教育センター

職位 特任准教授 氏名：山田 道洋

研究成果：

(概要)

将来のエネルギー消費問題の解決の鍵を握る半導体スピンドバイスの実現が期待されている。本研究では、高性能化が期待できる縦型ゲルマニウムナノワイヤスピンドバイス実現に向けた基盤技術の検討を行った。本年度は、Ge 基板上での Ge ナノワイヤの作製条件において高密度な Ge ナノワイヤの作製に成功し、さらに Ge ナノワイヤ上に高スピン偏極材料である Co_2MnSi を成長したところ形状の変化などがなく一様な膜の形成が得られた。令和6年度は、研究代表者の異動のため本研究は中断する。

(本文)

情報処理・記憶にかかるエネルギーの問題が顕在化しており、今後のさらなる IoT の推進に向けては、超低消費電力情報処理・記憶素子の実現が求められている。そこで、情報処理・記憶を単一のデバイスで実現可能なスピン MOSFET が注目されている。本研究では、従来のバルクチャネルをナノワイヤチャネルとすることでさらなる集積化やデバイス性能向上が期待される縦型ゲルマニウムナノワイヤチャネルの実現に向けた基盤技術の確立を目標とする。令和5年度は、(1)ゲルマニウム(Ge)ナノワイヤの結晶成長技術と(2)Ge ナノワイヤ上への高スピン偏極ホイスラー合金の成長の検討を行った。

本研究では、Au 触媒を用いた Vaper-liquid-solid(VLS)法により Ge ナノワイヤの成長を行った[図1(a)]。直径30nm程度のAuナノ粒子をGe(111)基板、Si(111)基板上に均一に分散させた後に分子線エピタキシー装置に投入した。超高真空中で、 450°C の加熱を行いながらGeの分子線を供給した。成長後の表面の走査型電子顕微鏡(SEM)像を図1(b)、(c)に示す。Ge基板上では高密度にGeナノワイヤが成長されており分散されたAuナノ粒子に対して効率的にGeナノワイヤが形成されている[図1(b)]。一方で、Si基板上では、Ge

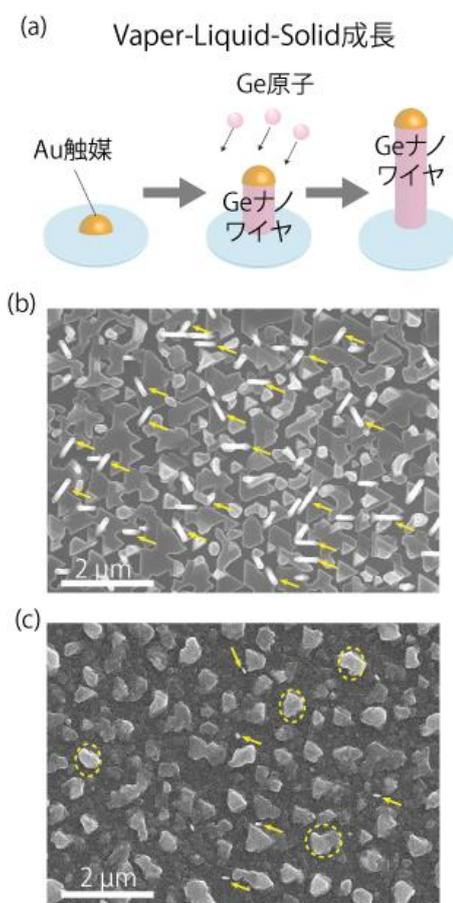


図1 (a)Vaper-liquid-solid 成長法の概略図。(b)Ge 基板上、(c)Si 基板上での Ge ナノワイヤの走査型電子顕微鏡(SEM)像。代表的なナノワイヤを黄色の矢印で示している。

ナノワイヤの密度が低く、ナノワイヤ以外に 3 次元成長による Ge のメサ形状[図 1(c)の黄色の円で囲まれた箇所]の成長が見られた。これは、基板の上に供給された Ge 原子の表面拡散が Si 基板上に比較して Ge 基板上で大きい[Phys. Rev.

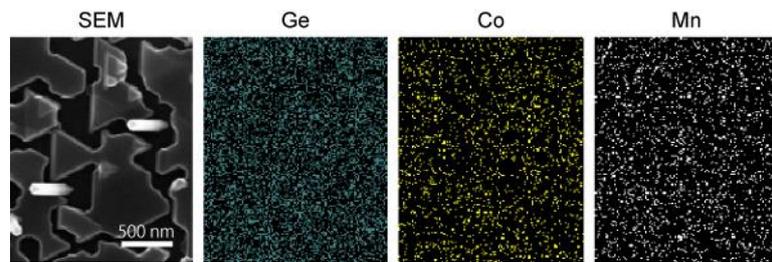


図 2 Co₂MnSi/Fe 層成膜後の Ge ナノワイヤの SEM 像と EDS 元素マップの結果。

B 69, 125331 (2004)]ことや格子不整合による歪みの影響であると考えられる。Ge 基板上に高密度に成長された Ge ナノワイヤに対して Co₂MnSi(8 nm)/Fe(0.7 nm)を低温分子線エピタキシー法により成長した。これまでの我々の知見において Ge と Co₂MnSi の相互拡散を抑制し結晶化を促進することから、ここでは Fe 層を挿入している。Co₂MnSi 成長後の Ge ナノワイヤの SEM 像を図 2 に示す。Co₂MnSi の成長後もナノワイヤ形状に大きな変化は見られない。同じ領域でのエネルギー分散型 X 線分光法(EDS)による元素マップ(図 2)からも Co や Mn の凝集や異相形成に起因するような組成の不均一さは見られなかった。さらに位置制御技術の確立に向けて図 3 に示すような直径 60 nm 程度の Au 触媒の配列技術も確立しており、今後上記の成長条件と組み合わせることで、位置制御した Ge ナノワイヤの実現が期待される。

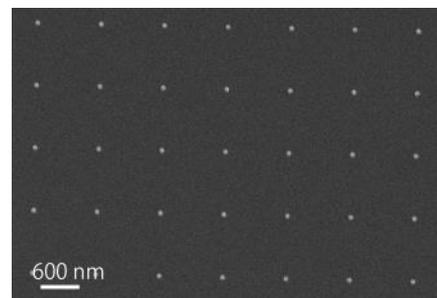


図 3 電子線リソグラフィーで形成した Au ナノドットパターンの SEM 像。

以上の結果から、縦型 Ge ナノワイヤスピンドバイス実現に必須の Ge の高密度生成のナノワイヤ成長条件を見出し、Co₂MnSi 成膜後の Ge ナノワイヤの形状や組成分布などの基礎的な知見を得た。一方で、面内での不均一さや面直に生成される Ge ナノワイヤの割合が低いなどの課題も明らかになってきており、元素分析や成長条件の詳細な検討により縦型 Ge ナノワイヤスピンドバイスに必須の高密度かつ面直成長を実現する必要がある。また、スピン注入に向けては、Co₂MnSi/Fe/Ge ナノワイヤ界面の透過型電子顕微鏡による詳細な評価を今後行う必要がある。

研究経費 (R5 年度) の内訳 :

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
800000 円	0 円	0 円	0 円	0 円	800000 円

共同研究者等 :

(1) 共同研究者 (氏名・所属)

なし

(2) 研究協力者 (氏名・所属・学年 (学生の場合))

なし

発表論文等（令和6年3月31日現在）：

〔雑誌論文〕 なし

〔著書〕 なし

〔学会発表〕 なし

〔その他〕 なし

外部資金獲得状況・申請状況：

令和6年度の挑戦的萌芽研究に申請中。

参考となるHP等：

https://csrn.es.osaka-u.ac.jp/yamada_group/