

課題番号 : F-14-NU-0019  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名(日本語) : ハーフメタルを用いたスピndeバイスの研究  
 Program Title (English) : Spin devices using half-metal  
 利用者名(日本語) : 植田 研二  
 Username (English) : Kenji Ueda  
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科  
 Affiliation (English) : Graduate school of engineering, Nagoya University

## 1. 概要(Summary)

スピントランジスタは、強磁性体の持つ不揮発性記憶機能とトランジスタの持つ演算機能が融合した不揮発性記憶演算デバイスである。その開発により不揮発性集積回路が実現すれば、未使用演算回路の電源遮断ができる超低消費電力コンピュータ等の実現が可能となる。スピントランジスタは色々な形態があるが、全て強磁性体/半導体積層構造を主要構造としており、強磁性体から半導体へのスピン注入効率がデバイスの性能を決定する。しかし、高効率スピン注入を可能とする強磁性-半導体材料界面構造や材料の組合せは未だに確立していない。

本研究で我々は、低スピン擾乱性や長スピン拡散長等、スピン伝導材料として優れた特徴を有するダイヤモンド半導体と高スピン分極率を有する強磁性ハーフメタル  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  の組合せに着目し、両者の接合界面を制御する事で、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  からダイヤモンド半導体への高効率スピン注入を試みた。

## 2. 実験(Experimental)

### ・利用した主な装置

薄膜X線回折装置、フォトグラフィー装置

### ・実験方法

$\text{Co}_2\text{MnSi}$  (CMS) 強磁性ハーフメタル薄膜は、イオンビームスパッタリング装置を用いて各種基板上 ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{MgO}$ , ダイヤモンド半導体基板) に成長させた。得られた薄膜の構造解析は薄膜 X 線回折装置により行った。

ダイヤモンド半導体薄膜の結晶成長は、ダイヤモンド (100) 基板上に、 $\text{CH}_4$  を炭素源、トリメチルボロンを B ドープ源とし、マイクロ波プラズマ CVD 法により行った。ダイヤモンド薄膜の電気特性はホール効果測定により評価しているが、キャリア濃度  $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、室温移動度  $\sim 1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を

有する p 型半導体薄膜が再現性良く得られている。

フォトリングラフィー装置を用い、上記の CMS をショットキー電極、Ni/Ti をオーミック電極とした CMS/ダイヤモンドショットキーダイオードの作製を行い、電流-電圧 (I-V) 測定を行いその界面特性について調査を行った。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

イオンビームアシストスパッタ法を用いることで基板温度 ( $T_s$ ) が  $300 \sim 500^\circ\text{C}$  の比較的低温でダイヤモンド上に CMS(110) 配向膜が作製できた。X 線回折パターンから、配向関係は CMS (110) [001] or [-110]//diamond (001)

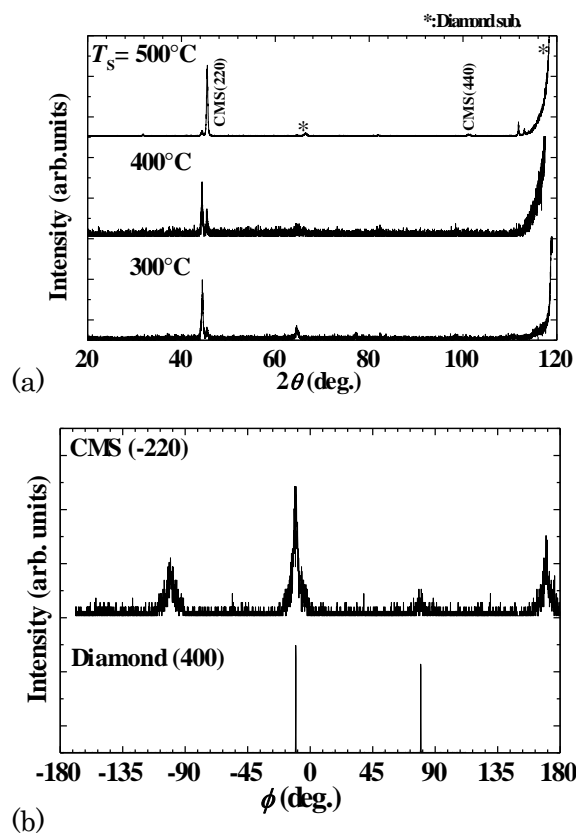


Fig. 1: (a) Out-of-plane ( $2\theta$ ) XRD patterns of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films on diamond formed at  $T_s$  of  $500^\circ\text{C}$ . (b) In-plane XRD  $\phi$ -scans for the  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  (-220) and diamond (400) of the  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films on diamond at  $T_s$  of  $500^\circ\text{C}$ .

[100]である事が分かった (Fig.1)。2回対称面である

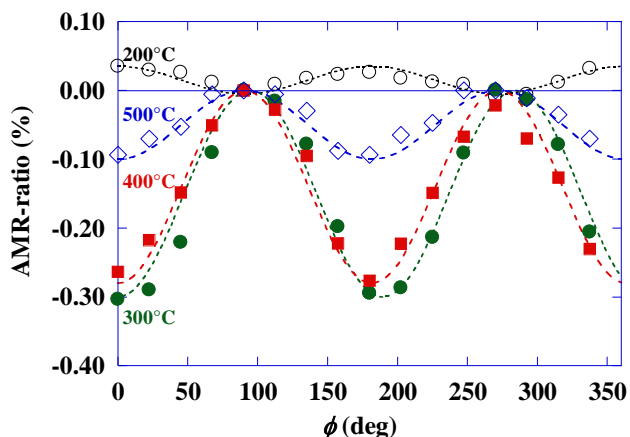


Fig. 2: Dependence of the AMR (anisotropic magnetoresistance) ratio on the in-plane relative angle ( $\phi$ ) of the magnetic field (5 kOe) to the current flow of the  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films.

(110)配向である為、2ドメイン構造となっていると思われる。磁化測定から、強磁性体特有のヒステリシス曲線が見られ、飽和磁化が $\sim 1000 \text{emu/cc}$ 程度と、バルク値と同程度となった。また、ハーフメタル特有の負の異方性磁気抵抗果 ( $-0.3\%$ 程度)が観測されたことから (Fig. 2)、 $T_s = 300 \sim 500^\circ\text{C}$ でハーフメタル CMS 薄膜が、ダイヤモンド半導体上に作製できることが分かった。

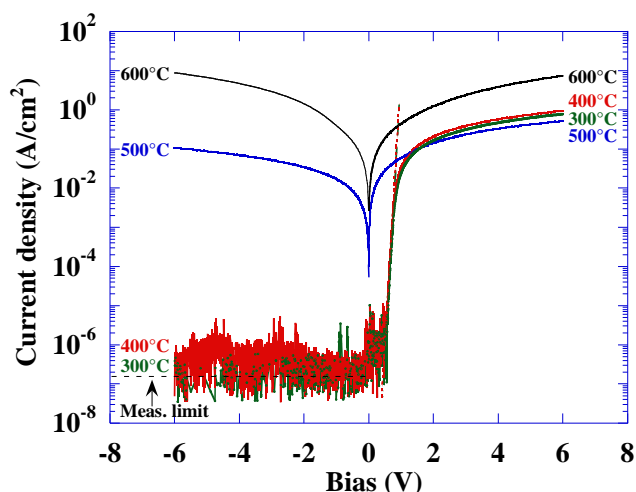


Fig. 3: Current-voltage (I-V) characteristics of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$ /diamond Schottky junctions fabricated using the  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films formed at  $T_s = 300^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$  by IBAS and  $600^\circ\text{C}$  by IBS. The dotted lines are the fitting results using equations for TE model.

次に、ハーフメタル CMS/ダイヤモンド半導体ショットキ

ー接合を作製し、I-V 特性を観測した所、 $T_s = 500 \sim 600^\circ\text{C}$ の接合では I-V 特性はオーミック的であったのに対し、 $T_s = 400^\circ\text{C}$ 以下でのサンプルでは 7 桁以上の大きな整流性が現れた (Fig. 3)。また、順方向 I-V 曲線を熱電子放出 (TE)モデルでフィッティングしたところ、理想因子( $n$ )は $\sim 1.2$ 、バリア高さ( $\phi_B$ )は $\sim 1.0 \text{eV}$ と算出された。 $n$ 値が理想値である 1 に近い事及び大きな整流性が現れた事から、CMS の低温成長により界面の急峻性が改善したと考えられる。これらの結果から  $T_s = 300 \sim 400^\circ\text{C}$ で急峻な界面を持つハーフメタル CMS/ダイヤモンド半導体接合が作製できる事が分かった。今後これらの界面急峻性が良好な CMS/ダイヤモンド接合を用い、スピン注入を行っていく。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

なし。

#### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) Fabrication of epitaxial  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films on lattice-matched  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  substrates by ion-beam assisted sputtering

K. Ueda, M. Nishiwaki, T. Soumiya, and H. Asano  
Thin solid films, 570 (2014) 134-137.

(2) Low temperature growth of  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  films on diamond semiconductors by ion-beam assisted sputtering

M. Nishiwaki, K. Ueda, and H. Asano  
J. Appl. Phys., in press.

(3) Half-metallic Heusler/diamond heterojunctions for spintronic applications”

K. Ueda, H. Asano

IUMRS-ICA 2014, Fukuoka, Aug. 25-29 (25 Aug.)  
C1-I25-001 (招待講演).

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。