

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月23日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21656005

研究課題名（和文） フレキシブル半導体上におけるスピン機能創出とトランジスタ応用

研究課題名（英文） Development of spin-function on flexible semiconductors

研究代表者

宮尾 正信 (MIYAO MASANOBU)

九州大学・大学院システム情報科学研究院・特任教授

研究者番号：60315132

研究成果の概要（和文）：

本研究では、フレキシブル半導体(擬似単結晶 SiGe/フレキシブル基板)をベースとしたスピントランジスタの創製を目指し、その基盤技術を構築した。まず、Au を用いた金属触媒成長法を開発し、結晶方位が揃いつ大粒径($\sim 100 \mu\text{m}$)を有する SiGe 結晶を低温熱処理($\leq 350^\circ\text{C}$)にて実現した。さらに、強磁性ホイスラー合金/SiGe 構造の磁気及び電気特性を解明すると共にスピン機能を実証した。

研究成果の概要（英文）：

To achieve spin-function on flexible semiconductors, a new low-temperature ($\leq 350^\circ\text{C}$) crystallization technique of SiGe has been developed. Moreover, magnetic and electronic properties of ferromagnetic Heusler alloy/SiGe stacked structures have been clarified.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	0	1,300,000
2010年度	1,200,000	0	1,200,000
2011年度	910,000	0	910,000
総計	3,410,000	0	3,410,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：フレキシブル・スピントランジスタ

1. 研究開始当初の背景

集積回路(ULSI)は、トランジスタの微細化(スケーリング)により高性能化を進めてきた。しかし、スケーリング限界が見え始め、移動度の高いIV族系ヘテロ半導体(SiGe)を用いたヘテロトランジスタの研究開発が国内外で活発に行われている。我々は、ヘテロトランジスタにスピン機能をも導入できれば ULSI 性能が飛躍的に向上すると考えている。一方、ディスプレイの分野では、ガラス基板上に形成した多結晶 Si を用いた薄膜トランジスタ(TFT)が使用されている。最近では軽くて折

り曲げる事の出来るフレキシブル・ディスプレイの実現を目指して、TFT をプラスチック上に低温形成する研究も行われている。しかし、キャリア移動度は結晶粒界散乱により低減するので、高速演算には適用できない。もし、フレキシブルなプラスチック基板上にデバイスサイズ($\geq 5 \mu\text{m}$ 径)で結晶方位の揃った SiGe を形成し、スピン機能を融合すれば、プラスチック上におけるトランジスタ性能が飛躍的に向上し、フレキシブルな次世代情報端末が実現できる。

2. 研究の目的

本研究では、フレキシブル半導体(擬似単結晶 SiGe/フレキシブル基板)をベースとしたスピントランジスタの創製を目指し、その基盤技術を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

我々独自のシーズ技術である、金属触媒誘起成長法、及び強磁性ホイスラー合金の低温エピタキシャル成長法をベースに、擬似単結晶 SiGe の低温成長、及び SiGe 結晶上におけるホイスラー合金の歪みエピタキシャル成長を検討する。

4. 研究成果

(1) 非晶質 SiGe 薄膜の金属触媒誘起成長

我々は、金属触媒誘起成長の報告例と触媒金属-SiGe 系の共晶温度との関係を検討し、低温成長($\leq 350^\circ\text{C}$)が期待できる新触媒種として Au を選択した。Au/SiGe の相互拡散を制御することにより、ランダムなバルク核発生を抑制すると共に界面核発生を顕在化する手法を検討した。その結果、(111)配向しかつ大粒径($\sim 100\ \mu\text{m}$)を有する SiGe 結晶を低温熱処理($\leq 350^\circ\text{C}$)にて実現した。

(2) 強磁性ホイスラー合金の歪み成長

エピタキシャル成長に与える歪みの影響を、格子定数の異なる単結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 膜基板(格子定数: $0.545 \sim 0.565\text{nm}$)を用いて検討した。SiGe 膜上に強磁性ホイスラー合金のヘテロエピタキシャル成長を行い、その結晶性を電子顕微鏡で観察すると共に、規則度を詳細に検討した。ホイスラー合金の規則度と組成の関係を評価し、規則度向上のプロセス指針を明らかにした。さらに、強磁性ホイスラー合金/SiGe 構造の磁気及び電気特性を解明すると共にスピン機能を実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① Jong-Hyeok Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Low temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) layer exchange crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x=1-0$) on insulator for advanced flexible devices”, Thin Solid Films, 査読有, Vol. 520, pp3293-3295 (2012))
- ② Jong-Hyeok Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Au-Induced Low-Temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) Crystallization of Si on Insulator

Through Layer-Exchange Process”, Electrochemical and Solid-State Letters, 査読有, Vol. 14, No. 6, pp. H232-H234 (2011)

- ③ T. Sadoh, M. Kurosawa, T. Hagihara, K. Toko, and M. Miyao, “Low-Temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) Cu-Induced Lateral Crystallization of Amorphous Ge on Insulator”, Electrochemical and Solid-State Letters, 査読有, Vol. 14, No. 7, pp. H274-H276 (2011)
- ④ J.-H. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Au-Catalyst Induced Low Temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) Layer Exchange Crystallization for SiGe On Insulator”, ECS Transactions, 査読有, 39-42 (2011)
- ⑤ J.-H. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Low-temperature ($\leq 250^\circ\text{C}$) crystallization of Si on insulating substrate by gold-induced layer-exchange technique”, Proceedings of TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference, 査読有, pp. 2196-2198 (2010)
- ⑥ K. Kasahara, K. Yamamoto, S. Yamada, T. Murakami, K. Hamaya, K. Mibu, and M. Miyao, “Highly ordered Co_2FeSi Heusler alloys grown on Ge(111) by low-temperature molecular beam epitaxy”, J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 107, No. 9, pp. B105-1-3 (2010)
- ⑦ Y. Ando, K. Kasahara, K. Yamane, K. Hamaya, K. Sawano, T. Kimura, and M. Miyao, “Comparison of Nonlocal and Local Magnetoresistance Signals in Laterally Fabricated $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Si}$ Spin-Valve Devices”, Appl. Phys. Express, 査読有, Vol. 3, No. 093001-1-3 (2010)
- ⑧ Y. Maeda, K. Hamaya, S. Yamada, Y. Ando, K. Yamane, and M. Miyao, “High-quality epitaxial $\text{CoFe}/\text{Si}(111)$ heterostructures fabricated by low-temperature molecular beam epitaxy”, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol. 97, No. 19, 192501-1-3 (2010)
- ⑨ Y. Ando, K. Hamaya, K. Kasahara, Y. Kishi, K. Ueda, K. Sawano, T. Sadoh, and M. Miyao, “Electrical injection and

detection of spin-polarized electrons in silicon through an Fe₃Si/Si Schottky tunnel barrier”, Appl. Phys. Lett., 査読有, Vol. 94, No. 18, pp182105-1-3 (2009)

⑩K. Hamaya, H. Itoh, O. Nakatsuka, K. Ueda, K. Yamamoto, M. Itakura, T. Taniyama, T. Ono, and M. Miyao, “Ferromagnetism and Electronic Structures of Nonstoichiometric Heusler-Alloy Fe_{3-x}Mn_xSi Epilayers Grown on Ge(111)”, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 102, No. 13, pp137204-1-4 (2009)

⑪Y. Ando, K. Hamaya, K. Kasahara, K. Ueda, Y. Nozaki, T. Sadoh, Y. Maeda, K. Matsuyama, and M. Miyao, “Magnetic properties of epitaxially grown Fe₃Si/Ge(111) layers with atomically flat heterointerfaces”, J. Appl. Phys., 査読有, Vol. 105, No. 7, pp. 07B102-1-3 (2009)

[学会発表] (計 15 件)

①朴 鍾赫, 鈴木恒晴, 黒澤昌志, 宮尾正信, 佐道泰造, “Au 誘起層交換成長法による大粒径 Ge (111) 結晶/絶縁膜の形成: 界面酸化膜挿入効果”, 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関係連合講演会, 東京, 16p-F11-5 (2012)

②M. Kurosawa, N. Kawabata, R. Kato, T. Sadoh, and M. Miyao, “Lateral-liquid phase epitaxy of (101) Ge-on-insulator from Si template by metal-induced crystallization”, 219th ECS Meeting, The Electrochemical Society, Montreal, Canada (2011)

③J. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Au-catalyst Induced Low Temperature (~250°C) Layer Exchange Crystallization for SiGe On Insulator”, 219th ECS Meeting, The Electrochemical Society, Montreal, Canada (2011)

④ M. Kurosawa, T. Sadoh, and M. Miyao, “Low-Temperature Formation of (111)Si_{1-x}Ge_x (0<x<1) on Insulator by Al-Induced Crystallization”, AWAD2011, 2011 Asia Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of advanced semiconductor devices, 2A. 9, Daejeon, Korea (2011)

⑤J.-H. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, T. Sadoh, “Low-temperature (~250°C) Crystallization of Poly-SiGe Films by Gold-Induced Layer-Exchange Technique for Flexible Electronics”, AWAD2011, 2011 Asia Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of advanced semiconductor devices, 2A. 10, Daejeon, Korea (2011)

⑥M. Kurosawa, N. Kawabata, R. Kato, T. Sadoh and M. Miyao, “Single-crystalline (110)-oriented Ge strips on insulating substrates by SiGe-mixing triggered rapid-melting-growth from artificial Si-micro-seeds”, ICSI7 2011, No. 1024, Leuven, Belgium (2011)

⑦ Jong-Hyeok Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Low Temperature (~250°C) Layer Exchange Crystallization of Si_{1-x}Ge_x (x=1-0) on Insulator for Advanced Flexible Devices”, ICSI7 2011, No. 1037, Leuven, Belgium (2011)

⑧朴鍾赫, 黒澤昌志, 川畑直之, 宮尾正信, 佐道泰造, “次世代フレキシブルデバイスの為の多結晶 Si_{1-x}Ge_x (x=0-1)/絶縁膜の極低温層交換成長 (~250°C)”, 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大学, 24a-P2-8 (2011)

⑨佐道泰造, 黒澤昌志, 川畑直之, 朴鍾赫, 都甲薫, 宮尾正信, “フレキシブルデバイス実現に向けた Si 及び Ge 結晶/絶縁膜の極低温成長 (~250°C)”, 2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 神奈川工科大学, 24p-BK-10 (2011)

⑩J. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Low-temperature (≤250°C) crystallization of Si on insulating substrate by gold-induced layer-exchange technique”, TENCON2010, T2-2, P2, Fukuoka (2010)

⑪J.-H. Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, “Gold-Induced Crystallization of Si at Low-Temperature (≤250°C) for Flexible Electronics”, Nanotech Malaysia 2010: Conference on Enabling Science and Nanotechnology, ID43, Kuala Lumpur, Malaysia (2010)

- ⑫ M. Miyao, K. Hamaya, “Low-temperature Epitaxial Growth of Ferromagnetic Silicide for SiGe Based Spintransistors”, AWAD2010, 1A-4, 6/30, Tokyo (2010)
- ⑬ 川畑直之, 黒澤昌志, 朴鍾嫻, 佐道泰造, 宮尾正信, “Al 誘起層交換法による SiGe 結晶の配向成長機構”, 2010 年 秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 15p-ZD-2 (2010)
- ⑭ 朴鍾嫻, 黒澤昌志, 川畑直之, 宮尾正信, 佐道泰造, “Au 誘起層交換成長法による多結晶 Si/絶縁膜の極低温形成(~250°C)”, 2010 年 秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎大学, 15p-ZD-3 (2010)
- ⑮ M. Miyao, K. Hamaya, K. Kasahara, S. Yamada and K. Sawano, “Atomically Controlled Epitaxial Growth of Ferromagnetic Heusler Alloys for SiGe Based Spintronics”, SiNEP-09, Spain, (2009)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮尾 正信 (MIYAO MASANOBU)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・特任教授

研究者番号：6 0 3 1 5 1 3 2

(2) 研究分担者

佐道 泰造 (SADOH TAIZOH)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・准教授

研究者番号：2 0 2 7 4 4 9 1