

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19560316

研究課題名(和文) ガラス上における SiGe 結晶の高歪み化・方位制御とトランジスタの高速・高信頼化

研究課題名(英文) Control of Strain and Orientation of SiGe on Glass for High-Performance Transistor

研究代表者

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：20274491

研究成果の概要：

本研究では、ガラス上における薄膜トランジスタの高速・高信頼性を目的とし、ガラス上における SiGe 結晶の高品位形成を検討した。更に、ソース/ドレイン電極をシリサイドとしたトランジスタ構造の設計を行うと共に、熱処理プロセスの工夫を行い、従来法では 10V 程度であったトランジスタ閾値のばらつきを、低減(ばらつき 1V 程度)し、高い移動度と信頼性を有するトランジスタ動作を実現した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2007 年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 2008 年度 | 1,800,000 | 540,000 | 2,340,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：半導体工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：電子デバイス・機器、集積回路、ディスプレイ、シリコンゲルマニウム、薄膜トランジスタ

1. 研究開始当初の背景

ユビキタス情報社会を構築するには、情報通信機器とマン・マシンインターフェース(ディスプレイ等)を一体化する必要がある。その為、集積回路(ULSI)を高精細ディスプレイに搭載した高性能モバイル端末(システム・イン・ディスプレイ)の実現が強く求められている。

2. 研究の目的

システム・イン・ディスプレイの実現には、ガラス上に形成する薄膜トランジスタの動作を高速化する必要がある。レーザアニール法、化学気相成長法、触媒誘起固相成長法等を用い、ガラス上に多結晶 Si を低温で高品質形成する研究開発が国内外で行われている。しかし、集積回路に用いられる単結晶 Si トランジスタと同等の性能を多結晶 Si で実現す

る事は、原理的に困難である。

一方、Si より移動度が高い SiGe を用いれば、多結晶薄膜でも、格子歪み及び結晶面方位を制御することにより、トランジスタの高速・高信頼性が実現すると期待される。

そこで本研究では、ガラス上に格子歪み及び結晶面方位の制御された SiGe 結晶薄膜を創製すると共に、その中にトランジスタを作り込み、回路動作を高速化する新しいアプローチを提案し、その要素技術の確立を目指して研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、局所応力印加法を用いて非晶質 SiGe 膜の所定の位置に方位の揃った結晶核を形成し固相成長する手法を検討すると共に、結晶成長時に導入される格子歪みの評価を行った。更に、SiGe 結晶に適したトランジスタ構造及び作製プロセスを検討し、デバイス実証を行った。

4. 研究成果

ガラス上における薄膜トランジスタの高速・高信頼性を目的とし、ガラス上における SiGe 結晶の高品位形成を検討すると共に、デバイス試作を行った。

ガラス上に非晶質 SiGe 薄膜(Ge 濃度: 0~100%、膜厚: 10~50nm)を堆積した後、角錐状の Si 結晶を押当て、局所的に応力を印加した。その後、熱処理(250~450°C)を行い、固相結晶成長を誘起した。成長領域を電子後方散乱回折(EBSD)法で解析した結果、低 Ge 濃度試料(Ge 濃度 \leq 20%)では、(111)方位に優先的に揃った大粒径($\sim 5\mu\text{m}$)の SiGe 単結晶が形成できる事が明らかとなった。これは、局所応力により SiGe 表面、及び SiGe/ガラス界面における結晶核発生が促進されるが、自由エネルギーの面方位依存性により、形成核の結晶方位が(111)方位に揃った結果と考えられる。但し、Ge 濃度の上昇につれ、成長領域は多結晶化/微結晶化する課題があることが判明した。

この現象を、Ge 濃度上昇に伴い、圧痕形成に要する臨界圧力が低下する事、自然核発生が促進される事に起因するとのモデル化を行い、圧痕サイズを狭小化すると共に成長温度の低温化を行い、多結晶化/微結晶化が大幅に抑制できる事を明らかにした。これにより、Ge 濃度 30%の試料においても単結晶 SiGe 領域の形成が実現した。高伸張歪みを有する Si 結晶の成長用パuffaとして有用な成果である。

更に、ラマン散乱分光測定より、固相成長法で形成した SiGe 薄膜では、TO フォノンピークの位置が、無歪み SiGe に比べ、低波数

側にシフトする事が明らかとなった。これは、非晶質相から結晶相への転移に伴う体積変化と薄膜/基板間の熱膨張係数の差により、結晶成長時に歪みが導入される事に起因する可能性が高い事を明らかにした。キャリア移動度の向上を可能とした重要なデータである。

薄膜トランジスタのチャネル材料としての SiGe 結晶の有効性を実証する為、ソース/ドレイン電極をシリサイドとした新しい高速トランジスタ構造の設計を行った。従来型のドーピングソース/ドレイン電極を用いたトランジスタ構造では、半導体薄膜の結晶性向上に伴い、基板浮遊効果が顕在化することが課題となっていたが、ソース/ドレイン電極にシリサイドを用い、ショットキー接触とすることで、インパクトイオン化により発生したキャリアが効果的に掃き出され、基板浮遊効果による閾値変動が抑制できた。また、ソース/ドレイン電極の形成プロセスの低温化も可能となった。デバイス作製プロセスの工夫も行い、従来法では 10V 程度であったトランジスタ閾値のばらつきを、低減(ばらつき 1V 程度)し、高い信頼性を有するトランジスタ動作が実現した。

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 14 件)

1. Position-Controlled Growth of SiGe Crystal Grains on Insulator by Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization: K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48, No. 3, B007-1-3 (2009)) (査読有り)
2. Interfacial-Oxide Layer Controlled Al-Induced Crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x: 0-1$) on Insulating Substrate: M. Kurosawa, Y. Tsumira, T. Sadoh, and M. Miyao (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48, No. 3, B002-1-3 (2009)) (査読有り)
3. Effects of Si Layer Thickness on Solid-Phase Crystallization of Stacked Ge/Si/SiO₂ Structures: T. Sadoh, H. Ohta, and M. Miyao (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48, No. 3, B004-1-3 (2009)) (査読有り)
4. Ge Fraction Dependence of Al-Induced Crystallization of SiGe at Low Temperatures: M. Kurosawa, Y. Tsumura,

- T. Sadoh and M. Miyao (J. Korean Phys. Soc. Vol. 54, No. 1, pp. 451-454, (2009)) (査読有り)
5. アルミニウム誘起層交換法によるSiGe/ガラスの低温成長: 黒澤昌志, 川畑直之, 佐道泰造, 宮尾正信 (電子情報通信学会信学技報 SDM2009-5, pp19-21 (2009)) (査読無し)
 6. Nucleation Controlled Metal-Induced Lateral Crystallization of Amorphous $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ with Whole Ge Fraction on Insulator: T. Sadoh, K. Toko, H. Kanno, S. Masumori, M. Itakura, N. Kuwano, and M. Miyao (Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 47, No. 3, pp1876-1879 (2008)) (査読有り)
 7. Low-Temperature Solid-Phase Crystallization of Amorphous SiGe Films on Glass by Imprint Technique: K. Toko, H. Kanno, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Asano, and M. Miyao (Solid-State Electronics Vol. 52, No. 8, pp1221-1224 (2008)) (査読有り)
 8. Formation of SiGe Quasi-Single Crystal Grain on Insulator by Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization: T. Sadoh, K. Toko, K. Ikeda, S. Hata, M. Itakura, H. Nakashima, M. Nishida, and M. Miyao (ECS Transactions Vol. 16 No. 10, pp219-222 (2008)) (査読有り)
 9. 次世代TFTに向けたa-Ge/石英の低温固相成長: 中尾 勇兼, 都甲 薫, 野口 隆, 佐道泰造 (電子情報通信学会 信学技報 SDM2008-17, pp. 83-88 (2008)) (査読無し)
 10. 金属触媒誘起固相成長法による多結晶Ge/絶縁膜の低温形成 ~電界印加効果、触媒種効果~ : 萩原貴嗣, 都甲 薫, 佐道泰造 (電子情報通信学会 信学技報 SDM2008-17, pp. 101-105 (2008)) (査読無し)
 11. 縁膜上における非晶質SiGeのインデント誘起固相成長: 都甲 薫, 佐道泰造, 宮尾正信 (電気学会・電子材料研究会資料 EFM-08-29 pp. 31-34 (2008)) (査読無し)
 12. Ni-Imprint Induced Solid-Phase Crystallization in $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x:0-1$) on Insulator: K. Toko, H. Kanno, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Asano, and M. Miyao (Appl. Phys. Lett. Vol. 91, No. 4, pp2111-1-2 (2007)) (査読有り)
 13. Comparative Study of Al-Induced Crystallization for Poly-Si and Ge on Insulating Film: Y. Tsumura, I. Nakao, H. Kanno, A. Kenjo, T. Sadoh, and M. Miyao, (ECS Transactions Vol. 11, No. 6, pp395-402 (2007)) (査読有り)
 14. High-Performance Poly-Ge Thin-Film Transistor with NiGe Schottky Source/Drain: T. Sadoh, H. Kamizuru, A. Kenjo and M. Miyao (Materials Science Forum Vol. 561-565, pp. 1181-1184 (2007)) (査読有り)
- [学会発表] (計 35 件)
1. Improvement of Electrical Characteristics of Poly-Ge by Two-Step Solid-Phase Crystallization: T. Sadoh, I. Nakao, K. Toko, T. Noguchi, and M. Miyao (ITC' 09, Palaiseau, France (Mar. 5-6, 2009))
 2. Formation of Single Crystalline Ge on Insulator by Liquid-Phase Epitaxy from Ni-Imprint-Induced Si Seed: K. Toko, T. Sakane, T. Tanaka, T. Sadoh, and M. Miyao (ITC' 09, Palaiseau, France (Mar. 5-6, 2009))
 3. アルミニウム誘起層交換法による SiGe/ガラスの低温成長: 黒澤昌志, 川畑直之, 佐道泰造, 宮尾正信 (電子情報通信学会研究会, SDM-7, 鳥栖 (2009年4月24日))
 4. 金属触媒誘起横方向成長法による多結晶Geの極低温成長: 佐道泰造, 萩原貴嗣, 黒澤昌志, 都甲薫, 権丈淳 (第56回応用物理学関係連合講演会, 1a-T-3, 筑波 (2009年3月30日-4月2日))
 5. 2段熱処理固相成長法による多結晶Geの高品質形成: 佐道泰造, 中尾勇兼, 都甲薫, 野口隆 (第56回応用物理学関係連合講演会, 1a-T-4, 筑波 (2009年3月30日-4月2日))
 6. インプリント法による非晶質Siの方位制御結晶化とGeの歪へテロエピタキシャル成長: 坂根 堯, 都甲 薫, 田中貴規, 佐道泰造, 宮尾正信 (第56回応用物理学関係連合講演会, 1a-T-6, 筑波 (2009年3月30日-4月2日))

7. 界面酸化膜制御による $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 混晶のAl 誘起層交換成長: 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30a-TF-9, 筑波 (2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日))
8. Si/Ge 多層構造のAl 誘起層交換成長と Si-Ge ミキシング: 黒澤昌志, 川畑直之, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30a-TF-10, 筑波 (2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日))
9. AIC法で作製した $\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_{0.5}$ 薄膜の微細構造解析: 犬塚純平, 板倉賢, 西田稔, 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 56 回応用物理学関係連合講演会, 1a-T-5, 筑波 (2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日))
10. Formation of SiGe Quasi-Single Crystal Grain on Insulator by Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization: T. Sadoh, K. Toko, K. Ikeda, S. Hata, M. Itakura, H. Nakashima, M. Nishida, and M. Miyao (ECS-PRiME 2008, E15-23-2396, Hawaii, U. S. A. (Oct. 12-17, 2008))
11. Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization of SiGe on Insulator: K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Z-07, Sendai, Japan (Sep. 25-27, 2008))
12. Effects of Si-Layer Thickness on Solid-Phase Crystallization of Stacked Ge/Si/SiO₂ Structure: T. Sadoh, H. Ohta, M. Miyao (AM-FPD 08, 3-2, Tokyo, Japan (Jul. 2-4, 2008))
13. Position Control of SiGe Crystal Grains on Insulator by Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization: K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (AM-FPD 08, P-15, Tokyo, Japan (Jul. 2-4, 2008))
14. Interfacial-Oxide Controlled Al-Induced Crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x: 0-1$) on Insulating Substrate: M. Kurosawa, Y. Tsumura, T. Sadoh, and M. Miyao (AM-FPD 08, P-16, Tokyo, Japan (Jul. 2-4, 2008))
15. Low-Temperature (111)-Oriented SiGe Growth on Insulating Substrate by Al-Induced Crystallization: T. Sadoh, Y. Tsumura, M. Kurosawa, and M. Miyao (4th ISTDM 2008, S3-04, Hsinchu, Taiwan (May 11-14, 2008))
16. Electrical Properties of Poly-Ge on Glass Substrate Grown by Two-Step Solid-Phase Crystallization: K. Toko, I. Nakao, T. Sadoh, T. Noguchi, and M. Miyao (4th ISTDM 2008, S2-04, Hsinchu, Taiwan (May 11-14, 2008))
17. Ge Fraction Dependence of Al-Induced Crystallization of SiGe at Low-Temperature: M. Kurosawa, Y. Tsumura, T. Sadoh, and M. Miyao (ITC '08, LTPS-2-1, Seoul, Korea (Jan. 24-25, 2008))
18. Low Temperature Solid-Phase Crystallization of a-Ge on Glass Substrate for Advanced Thin-Film Transistor: T. Sadoh, K. Toko, T. Noguchi, and M. Miyao (ITC '08, LTPS-P29, Seoul, Korea (Jan. 24-25, 2008))
19. 絶縁膜上における非晶質SiGeのインデント誘起固相成長: 都甲薫, 佐道泰造, 宮尾正信 (電子材料研究会, EFM-08-29, 仙台 (2008 年 9 月 27 日))
20. Si/Ge多層構造に於けるAl誘起層交換成長とSi/Ge相互拡散: 黒澤昌志, 津村宜孝, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 69 回応用物理学学会学術講演会, 2a-CH-10, 愛知 (2008 年 9 月 2-5 日))
21. ナノインデント誘起固相成長法によるSGOIの方位制御: 都甲薫, 萩原隆嗣, 佐道泰造 (第 69 回応用物理学学会学術講演会, 2a-CH-8, 愛知 (2008 年 9 月 2-5 日))
22. 絶縁膜上における SiGe 成長とデバイス応用: 佐道泰造, 都甲薫 (電気学会電子材料研究会, 東京 (2008 年 8 月 1 日))
23. ナノインデント法で結晶化させたSi薄膜の微細構造評価: 村田大輔, 板倉賢, 西田稔, 佐道泰造, 宮尾正信 (日本金属学会九州支部, 福岡 (2008 年 6 月 8 日))
24. 金属触媒誘起固相成長法による多結晶Ge/絶縁膜の低温形成: 電界印加効果、触媒種効果: 萩原貴嗣, 都甲薫, 佐道泰造 (電子情報通信学会研究会 S D M,

- 12-21, 沖縄 (2008年4月11-12日))
25. 次世代TFTに向けたa-Ge/石英の低温固相成長: 中尾勇兼, 都甲 薫, 野口 隆, 佐道泰造 (電子情報通信学会研究会 S D M, 12-18, 沖縄 (2008年4月11-12日))
26. ガラス基板上における非晶質Geの低温固相成長: 佐道泰造, 都甲 薫, 中尾勇兼, 野口 隆, 宮尾正信 (第 55 回応用物理学関係連合講演会, 27a-G-3, 千葉 (2008年3月27-30日))
27. SiGeのAl誘起層交換成長に与える界面酸化膜効果: 黒澤昌志, 津村宜孝, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 55 回応用物理学関係連合講演会, 27a-G-1, 千葉, 2008年3月27-30日)
28. High-Performance Poly-Ge Thin-Film Transistor with NiGe Schottky Source/Drain: T. Sadoh, H. Kamizuru, A. Kenjo, and M. Miyao, (PRICM 6, 9-4-5, Jeju Island, Korea (Nov.5-9, 2007))
29. Comparative Study of Al-Induced Crystallization for Poly-Si and Ge on Insulating Film: Y. Tsumura, I. Nakao, H. Kanno, A. Kenjo, T. Sadoh, and M. Miyao, (212th ECS Meeting, 1294, Washington D.C. , U.S.A. (Oct.7-12, 2007))
30. Catalytic Effect of Ni in Crystallization of Amorphous SiGe Films by Imprint Technique: K. Toko, H. Kanno, A. Kenjo, T. Sadoh, T. Asano, and M. Miyao (AM-FPD 07, 9-4, Awaji, Japan (Jul. 11-13, 2007))
31. Nucleation Controlled Metal-Induced Lateral Crystallization of Amorphous Si_{1-x}Ge_x with Whole Ge Fraction on Insulator: T. Sadoh, K. Toko, H. Kanno, S. Masumori, M. Itakura, N. Kuwano, and M. Miyao (AM-FPD 07, 9-5, Awaji, Japan (Jul. 11-13, 2007))
32. Low-Temperature Fabrication of Advanced Thin-Film Transistor with Ge Channel and Schottky Source/Drain: T. Sadoh, H. Kamizuru, A. Kenjo, and M. Miyao (ICSI-5, 5th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, S6-012, Marseille France (May 20 - 24, 2007))
33. Position Controlled Solid-Phase Crystallization of SiGe by Ni-Imprint Technique: T. Sadoh, K. Toko, H. Kanno, T. Asano, and M. Miyao (ICSI-5, 5th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures, 21P 1-29, Marseille France (May 20 - 24, 2007))
34. Al誘起層交換成長法による多結晶SiGe薄膜の低温形成: 津村宜孝, 権丈 淳, 佐道泰造, 宮尾正信 (薄膜材料デバイス研究会 第 4 回研究集会, II a-2, 京都 (2007年11月2-3日))
35. 絶縁膜上におけるSiGeのAl誘起層交換成長: 津村宜孝, 中尾勇兼, 権丈 淳, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 68 回応用物理学学会学術講演会 6a-P10-28, 札幌 (2007年9月4-8日))

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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: 20274491

(2) 研究分担者

なし。

(3) 連携研究者

なし。