

機関番号：17102
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560011
 研究課題名（和文） ガラス上における歪み擬似単結晶 SiGe の創製と薄膜トランジスタの高速化
 研究課題名（英文） Formation of strained quasi-single crystal SiGe on glass for transistor application
 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所・准教授
 研究者番号：20274491

研究成果の概要（和文）：本研究では、ガラス上における歪み擬似単結晶 SiGe の創製と薄膜トランジスタの高速化を目的として研究を推進した。結晶方位の制御された SiGe 結晶を形成する手法、及び SiGe 半導体上への歪みエピタキシャル成長を検討した。更に、SiGe 薄膜トランジスタの要素プロセスを検討し、S/D 電極をシリサイド接触とした高速薄膜トランジスタの作製プロセスを構築した。

研究成果の概要（英文）：Formation techniques of strained quasi-single crystal SiGe on glass were investigated for transistor application. We have realized orientation control of SiGe on insulating substrates. Furthermore, the device fabrication process of silicide S/D transistors was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：半導体工学

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：半導体、SiGe、ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

高度情報社会を実現するには、情報通信機器とヒューマン・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、集積回路をディスプレイに搭載した高性能情報端末(システム・イン・ディスプレイ)の実現が強く求められていた。

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。Si より移動度が高い歪み SiGe を用いれば、トランジスタの高速化が実現する。

そこで本研究では、ガラス上に結晶面方位の制御された SiGe 結晶薄膜を創製すると共に、格子歪みを導入するプロセスの構築を目指して研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、金属誘起成長法を用いて非晶質 SiGe 膜を結晶化し、結晶面方位の制御された SiGe 結晶をガラス上に実現する手法を検討すると共に、歪み SiGe 結晶の格子歪みの評価手法の検討を行った。更に、SiGe 結晶に適したトランジスタ構造の作製プロセスを検討した。

4. 研究成果

本研究では、ガラス上における薄膜トランジスタの高速化を目的として研究を推進した。

まず、非晶質 SiGe 薄膜/Al 薄膜/ガラス基板の積層構造における層交換成長(AIC 成長)法を用い、SiGe 擬似単結晶を形成するプロセスを検討した。

Al 薄膜堆積後に長時間の大気中放置 (60 ~80 min) を行って界面酸化膜を形成した場合、低 Ge 濃度域 (Ge 濃度: $\leq 50\%$) では試料表面の全体で SiGe/Al 層を構成する各層が一様に位置関係を交換し、(111) 方向に優先配向した SiGe 層が実現するが、高 Ge 濃度域 ($\geq 50\%$) では、長時間熱処理を行っても局所的な層交換にとどまることを明らかにした。形成層の結晶組織を詳細に検討し、AIC 成長の阻害要因が Ge 濃度の上昇に伴う SiGe 層の自然核発生の促進にあることを明らかにした。更に、成長様態を Ge 濃度と界面酸化膜厚の関数として系統的に整理し、3つの成長様態が発現することを明らかにすると共に、その機構をモデル化し、Al 堆積後の大気中放置時間を適正化することにより界面酸化膜厚を制御して全 Ge 濃度域で大粒径 ($\geq 20 \mu\text{m}$) かつ均一な AIC 成長を実現した。以上の結果、SiGe の Al 誘起層交換成長が全 Ge 濃度域で可能となった。さらに、試料構造 (SiGe/Al 膜厚) の適正化を行い、全 Ge 濃度 (0-100%) において SiGe 結晶の配向制御性の向上を実現した。

上記と並行して、SiGe 半導体上へのエピタキシャル成長を検討し、成膜条件を適正化する事により結晶性の極めて良好なエピタキシャル成長を実証した。さらに、仮想基板フリーな歪み導入プロセスを実現する為、応力印加膜を用いた局所歪み技術も検討し、高い格子歪み ($\geq 1\%$) の導入を実現した。SiGe 薄膜トランジスタの要素プロセスの検討も行い、S/D 電極をシリサイド接触とした高速薄膜トランジスタの作製プロセスを構築した。

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 24 件) (全て査読有り)

1. Dehydrogenation-Enhanced Large Strain ($\sim 1.6\%$) in Si Pillars Covered by Si_3N_4 Stress Liners: M. Kurosawa, T. Sadoh, and M. Miyao (Electrochemical and Solid-State Letters, Vol.14, No.4, pp.H174-H176 (2011))
2. Selective-mapping of uniaxial and

biaxial strains in Si-on-insulator microstructures by polarized microprobe Raman spectroscopy : M. Kurosawa, T. Sadoh, and M. Miyao (Applied Physics Letters Vol. 98, No.1, pp.012110-1-3 (2011))

3. Au-Induced Low-Temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) Crystallization of Si on Insulator Through Layer-Exchange Process : Jong-Hyeok Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh (Electrochemical and Solid-State Letters, Vol.14, No.6, pp.H232-H234 (2011))
4. Low-Temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) Cu-Induced Lateral Crystallization of Amorphous Ge on Insulator : T. Sadoh, M. Kurosawa, T. Hagihara, K. Toko, and M. Miyao (Electrochemical and Solid-State Letters, Vol.14, No.7, pp.H274-H276 (2011))
5. Al-induced low-temperature crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < x < 1$) by controlling layer exchange process: M. Kurosawa, T. Sadoh, M. Miyao (Thin Solid Films 518, pp.S174-178 (2010))
6. Microscopic studies of metal-induced lateral crystallization in SiGe : M. Itakura, S. Masumori, N. Kuwano, H. Kanno, T. Sadoh, and M. Miyao (Applied Physics Letters Vol.96, No.18, pp.2101-1-3 (2010))
7. (100) Orientation-Controlled Ge Giant-Stripes on Insulating Substrates by Rapid-Melting Growth Combined with Si Micro-Seed Technique : K. Toko, M. Kurosawa, H. Yokoyama, N. Kawabata, T. Sakane, Y. Ohta, T. Tanaka, T. Sadoh, and M. Miyao (Applied Physics Express Vol.3, pp.075603-1-3 (2010))
8. Relaxation Mechanism of SiGe-on-Insulator by Oxidation-Induced Ge Condensation with H^+ Irradiation and Postannealing: M. Tanaka, T. Sadoh, and M. Miyao (Journal of The Electrochemical Society, Vol.157, No.11, pp. H991-H996 (2010))
9. Low-temperature ($\leq 250^\circ\text{C}$) crystallization of Si on insulating substrate by gold-induced

- layer-exchange technique : Jong-Hyeok Park, M. Kurosawa, N. Kawabata, M. Miyao, and T. Sadoh, (TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10, pp.2196 -2198 (2010))
10. Ge Fraction Dependence of Al-Induced Crystallization of SiGe at Low Temperatures: M. Kurosawa, Y. Tsumura, T. Sadoh and M. Miyao (Journal of the Korean Physical Society, Vol. 54, No. 1, pp. 451-454 (2009))
 11. Position-Controlled Growth of SiGe Crystal Grains on Insulator by Indentation-Induced Solid-Phase Crystallization: K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (Japanese Journal of Applied Physics, Vol.48, No.3, pp.B007-1-3 (2009))
 12. Interfacial-Oxide Layer 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 (Japanese Journal of Applied Physics, Vol.48, No.3, pp.B002-1-3 (2009))
 13. Effects of Si Layer Thickness on Solid-Phase Crystallization of Stacked Ge/Si/SiO₂ Structures : T. Sadoh, H. Ohta, and M. Miyao (Japanese Journal of Applied Physics, Vol.48, No.3, pp.B004-1-3 (2009))
 14. Indentation-induced low-temperature solid-phase crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ (x: 0-1) on insulator : K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (Applied Physics Letters Vol.94, No.19, pp.192106-1-3 (2009))
 15. Orientation-controlled Si thin films on insulating substrates by Al-induced crystallization combined with interfacial-oxide layer modulation : M. Kurosawa, N. Kawabata, T. Sadoh, and M. Miyao (Applied Physics Letters Vol.95, No.13, pp.132103-1-3 (2009))
 16. Electrical properties of poly-Ge on glass substrate grown by two-step solid-phase crystallization : K. Toko, I. Nakao, T. Sadoh, T. Noguchi, M. Miyao (Solid-State Electronics, Vol.53 pp.1159-1164 (2009))
 17. Stress-enhancement in free-standing Si pillars through nonequilibrium dehydrogenation in SiN:H stress-liners by ultraviolet light irradiation : T. Tanaka, T. Sadoh, M. Kurosawa, M. Tanaka, M. Yamaguchi, S. Suzuki, T. Kitamura, and M. Miyao (Applied Physics Letters Vol.95, pp.262103-1-3 (2009))
 18. Influences of Si Pillar Geometry on SiN-Stressor Induced Local Strain : M. Tanaka, T. Sadoh, J. Morioka, T. Kitamura and M. Miyao (Applied Surface Science Vol.254, No.19, pp.6226-6228 (2008))
 19. 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, pp.1221-1224 (2008))
 20. 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, pp.219-222 (2008))
 21. Enhancement of Local Strain in Si Microstructure by Oxidation Induced Ge Condensation : M. Tanaka, T. Tanaka, T. Sadoh, J. Morioka, T. Kitamura, and M. Miyao (ECS Transactions, Vol.16 No.10, pp.189-192 (2008))
 22. Comprehensive study of low temperature (< 1000 ° C) oxidation process in SiGe/SOI structures : M. Tanaka, T. Ohka, T. Sadoh, M. Miyao (Thin Solid Films Vol.517, No.1, pp.251-253 (2008))
 23. Local strain evaluation of single crystal Si pillar by micro Raman spectroscopy and photoluminescence: Dong Wang, H. Nakashima, M. Tanaka, T. Sadoh, M. Miyao, J. Morioka, T. Kitamura (Thin Solid Films Vol.517, No.1, pp.31-33 (2008))
 24. Stress-relaxation mechanism in ultra-thin SiGe on insulator formed by

- H⁺ irradiation-assisted Ge condensation method : M. Tanaka, A. Kenjo, T. Sadoh, M. Miyao (Thin Solid Films Vol. 517, No.1, pp. 248-250 (2008))
- [学会発表] (計 47 件)
1. エキシマレーザーアニールによる SiN 誘起ローカル歪みの増強: 佐道泰造, 黒澤昌志, 部家 彰, 松尾直人, 宮尾正信 (2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 25a-P3-22, 神奈川 (2011 年 3 月 24 日-27 日))
 2. 金属誘起反応を用いた Si_{1-x}Ge_x/絶縁膜 (x:0~1) の低温結晶成長: 佐道泰造, 黒澤昌志, 川畑直之, 朴 鍾赫, 都甲 薫, 宮尾正信 (2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 24p-BK-10, 神奈川 (2011 年 3 月 24 日-27 日))
 3. 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): 朴 鍾赫, 黒澤昌志, 川畑直之, 宮尾正信, 佐道泰造 (2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 24a-P2-8, 神奈川 (2011 年 3 月 24 日-27 日))
 4. AIC 初期過程における Si_{0.5}Ge_{0.5} 薄膜の微細構造解析: 犬塚 純平, 光原昌寿, 板倉賢, 西田 稔, 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信 (2011 年春季 第 58 回 応用物理学関係連合講演会, 27p-BA-3, 神奈川 (2011 年 3 月 24 日-27 日))
 5. Al-Induced Oriented-Crystallization of Si Films on Quartz and Its Application to Epitaxial-Template for Ge Growth : M. Kurosawa, N. Kawabata, K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (5th ISTD2010, 8-5, Stockholm, Sweden, (May 24-26, 2010))
 6. Strained Single-Crystal GOI (Ge on Insulator) Arrays by Rapid-Melting Growth from Si (111) Micro-Seeds: T. Sakane, K. Toko, T. Tanaka, T. Sadoh, and M. Miyao (5th ISTD2010, 8-2, Stockholm, Sweden, (May 24-26, 2010))
 7. Interfacial Oxide Layer Controlled Al-Induced Crystallization of Si on Insulator for Epitaxial Template: M. Kurosawa, N. Kawabata, K. Toko, T. Sadoh, and M. Miyao (5th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan (Jan. 29-30, 2010))
 8. Orientation-controlled poly-SiGe on insulator by Aluminum-induced crystallization: M. Kurosawa, N. Kawabata, T. Sadoh, and M. Miyao (ITC' 10 5A-3, Himeji, Japan, (Jan. 28-29, 2010))
 9. Al 誘起層交換法による SiGe 結晶の配向成長機構: 川畑直之, 黒澤昌志, 朴 鍾赫, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 71 回 応用物理学学会学術講演会, 15p-ZD-2, 長崎 (2010 年 9 月 14 日-17 日))
 10. ガラス上における SiGe 薄膜のアルミニウム誘起結晶化とその成長メカニズム : 川畑直之, 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信 (電子情報通信学会研究会 SDM2010, 沖縄 (2010 年 4 月 23 日))
 11. インプリント Si 種結晶からの溶融エピタキシャル成長による単結晶 GOI の無欠陥形成: 坂根 堯, 都甲薫, 田中貴規, 佐道泰造, 宮尾正信 (電子情報通信学会研究会 SDM2010, 沖縄 (2010 年 4 月 23 日))
 12. Al 誘起結晶化 Si_{0.5}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 57 回 応用物理学関係連合講演会, 湘南, 18p-TM-4 (2010 年 3 月 17 日-3 月 20 日))
 13. Al 誘起層交換成長法により形成した SiGe/絶縁膜の配向性制御: 川畑直之, 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 57 回 応用物理学関係連合講演会, 湘南, 18p-TN-12 (2010 年 3 月 17 日-3 月 20 日))
 14. 絶縁膜上における Si 単結晶粒の方位制御と SiGe ミッシング誘起横方向 Ge エピタキシャル成長: 黒澤昌志, 川畑直之, 都甲薫, 佐道泰造, 宮尾正信 (第 57 回 応用物理学関係連合講演会, 湘南, 18a-D-8 (2010 年 3 月 17 日-3 月 20 日))
 15. Orientation-Controlled poly-Si on glass by Al-induced layer exchange technique : M. Kurosawa, N. Kawabata, T. Sadoh, and M. Miyao, (2009 MRS Fall Meeting, Q7-3, Boston, U. S. A. (Nov. 30 -Dec. 4))
 16. Orientation control of large grain

- poly-Si on glass by interfacial oxide layer controlled Al-induced crystallization: M. Kurosawa, N. Kawabata, T. Sadoh, and M. Miyao (SSDM2009, H-8-4, Sendai, Japan (Oct. 7-9, 2009))
17. Al-Induced Low Temperature Crystallization of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 < x < 1$) by Interfacial Al Oxide Layer Control: M. Kurosawa, T. Sadoh, and M. Miyao (ICSI-6, 657524, Los Angeles, USA, (May 17-22, 2009))
 19. 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))
 20. 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))
 21. UV 照射アニールによる SiN 誘起ローカル歪みの増強: 田中貴規, 田中政典, 黒澤昌志, 佐道泰造, 宮尾正信, 山口真典, 鈴木信二, 北村徳秀 (第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30p-E-9, 筑波 (2009 年 3 月 30 日-4 月 2 日))
 22. 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))
 24. 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))
 25. 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))
 26. 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))
 27. 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))
 28. 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))
 29. 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))
 30. 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))
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
2008-2009 年度
権丈 淳 (KENJO ATSUSHI)
九州大学・大学院システム情報科学研究
院・テクニカルスタッフ
研究者番号: 20037899

2010 年度
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
2008-2009 年度
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
 - (3) 連携研究者
なし。