

平成 22年 5月 21日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19360165

研究課題名（和文）フレキシブル薄膜ガラス上の立体ゲート poly-Si TFT の連続積層化技術

研究課題名（英文）Monolithic 3D Integration of Multigate Poly-Si TFTs on a Flexible Glass Substrate

研究代表者

原 明人 (HARA AKITO)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：20417398

研究成果の概要（和文）：自己整合メタルダブルゲート低温多結晶シリコン薄膜トランジスタを550℃にてガラス上に実現し、550℃という低温度で形成された多結晶シリコン薄膜トランジスタとしては世界トップレベルの性能を実現した。この研究成果は、ガラス上での低消費電力かつ高速回路の実現に道を開くものである。さらにデバイスの縦方向への集積化に向けて、低温で形成が可能な自己整合レーザ活性化トップゲート水素化微結晶シリコン薄膜トランジスタの開発を進め、325℃という低温プロセスを用いて、線形領域の移動度が $1.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を有するデバイスを実現した。

研究成果の概要（英文）：Self-aligned top and bottom metal double-gate n- and p-ch low-temperature polycrystalline-silicon (poly-Si) thin-film transistors (TFTs) were fabricated on a glass substrate at 550°C. The nominal field-effect mobility of the n- and p-ch TFTs was $635 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and $150 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, respectively, and the s -value of both TFTs was 130 mV/dec. The performance characteristics can be used to realize low-power and high-speed circuits on a glass substrate. In order to achieve monolithic 3D integration of TFTs, low-temperature TFT fabrication are necessary for the second and third TFT layers. For this purpose, we developed self-aligned laser-activation top-gate hydrogenated microcrystalline silicon ($\mu\text{c-Si:H}$) TFTs at a process temperature of 325°C and achieved a field-effect mobility of $1.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ in the linear region for n-channel TFTs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：多結晶シリコン、水素化微結晶シリコン、薄膜トランジスタ、ダブルゲート

1. 研究開始当初の背景

| (1) 有機や酸化物材料を利用したフレキシ

ブルデバイスが注目されている。しかし、これらのデバイスは電流駆動能力が小さい。また、CMOSを形成できない。さらに、動作時のヒステリシスなどの好ましくない性質も有している。

(2) 有機・酸化物デバイスをフレキシブル表示装置に利用することを考えた場合、比較的動作が遅い表示部分は実現できたとしても、高速動作が必要とされる周辺の制御回路の実現は難しい。高速周辺回路がプリント基板上に存在していたのでは、真の意味でのフレキシブルデバイスとは言えない。

2. 研究の目的

(1) ユピキタス社会で要求されるフレキシブルデバイスは、全ての機能が一枚のフレキシブル基板の上に集積したデバイスである。すなわち、1枚のフレキシブル基板上に、高性能なロジック回路、半導体メモリ、ディスプレイ駆動用周辺回路、表示部、太陽電池などの異なる機能を有する回路が集積されているデバイスである。

(2) (1)を実現するために、高性能な立体ゲート構造(本研究ではダブルゲート構造)を有する多結晶シリコン薄膜トランジスタをガラス基板上に低温で形成する。

(3) さらに、(2)の上層にデバイスの連続的積層化を可能にするシリコン薄膜トランジスタ技術を開発する。

(4) (2)(3)をフレキシブル基板上で実現する。

3. 研究の方法

(1) 半導体励起固体CWレーザによるシリコン結晶成長技術を利用する。この技術は研究代表者が開発した技術であり、液晶ガラス基板上に世界最高品質の多結晶シリコンを形成できる。

(2) (1)を利用し、加えて自己整合技術によって上下の金属ゲートを形成するダブルゲート多結晶シリコン薄膜トランジスタを実現する。

(3) 3次元集積化を実現するために、熱に弱い配線層の上層に形成できるような水素化微結晶シリコン薄膜トランジスタプロセスを開発する。

4. 研究成果

(1) 半導体励起固体CWレーザによるシリコン結晶成長技術を立ち上げ、液晶ガラス基板上に世界最高品質の多結晶シリコンを形

成した。

(2) この技術を応用し、ガラス上の所望の位置に単結晶シリコンを成長する技術を開発した。

(3) 自己整合メタルダブルゲート低温多結晶シリコン薄膜トランジスタを550℃にてガラス上に実現し、550℃という低温で形成された多結晶シリコン薄膜トランジスタとしては世界トップレベルの性能を実現した(下図)。この研究成果は、ガラス上での低消費電力かつ高速回路の実現に道を開くものである。

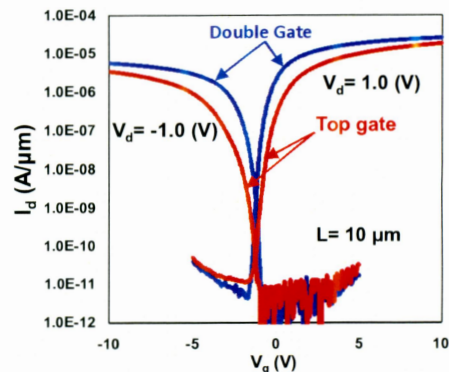
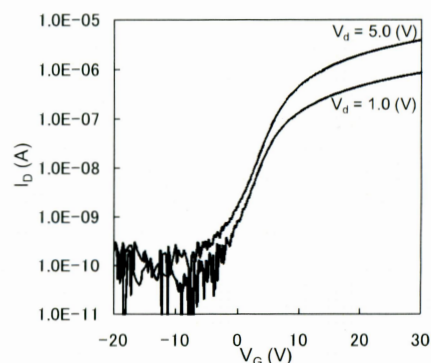


Table 1 Performance of TFTs

	Field-effect mobility (cm ² /Vs)		S-value (V/dec)	
	n-ch	p-ch	n-ch	p-ch
Top gate	306	83	0.24	0.20
Double gate	638*	156*	0.13	0.12

*Nominal

(4) デバイスの縦方向への集積化に向けて、低温で形成が可能な自己整合レーザ活性化トップゲート水素化微結晶シリコン薄膜トランジスタの開発を進め、325℃という低温プロセスを用いて、線形領域の移動度が1.1 cm²/Vsを有するデバイスを実現した(下図)。



(5) 受賞

- ① Outstanding Poster Paper Award (2008年12月): The 15th International Display Workshops, Dehydrogenation and Lateral Crystallization of Nanocrystalline Silicon Film Using Solid-State Continuous-Wave Green Laser, T. Sato, W. Umezu, K. Yamamoto, A. Hara, and K. Kitahara
- ② 応用物理学会東北支部講演奨励賞: (2009年12月): 応用物理学会東北支部講演会、ガラス上の自己整合メタルダブルゲート低温 poly-Si TFT、佐藤旦、佐藤康幸、奥田健一、広瀬研太、北原邦紀、原明人

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17件)

- ① Akito Hara, Tadashi Sato, Yasuyuki Sato, Kenichi Okuda, Kenta Hirose, Kuninori Kitahara, Self-Aligned Metal Double-Gate Low-Temperature Poly-Si TFTs on Glass Substrates, 2010 Society for Information Display, accepted for publication. 査読有
- ② 原明人、渋谷潤、佐藤旦、北原邦紀、ガラス基板上のレーザ活性化トップゲート水素化微結晶シリコンTFT、電子情報通信学会技術研究報告 IEICE Technical Report Vol.110 No.15, SDM 2010-2, pp.5-8. 査読無
- ③ Tadashi Sato, Kenichi Yamamoto, Junji Kambara, Kuninori Kitahara, and Akito Hara, Fabrication of Large Lateral Polycrystalline Silicon Film by Laser Dehydrogenation and Lateral Crystallization of Hydrogenated Nanocrystalline Silicon Films, Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 121201. 査読有
- ④ Tadashi Sato, Kenta Hirose, Kuninori Kitahara, and Akito Hara, Self-aligned Metal Double-gate P-channel Low-temperature Poly-Si TFTs Fabricated by DPSS CW Green Laser Lateral Crystallization, Extended Abstracts of the 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2009, p.286. 査読有
- ⑤ Akito Hara, An experimental approach to form selective single-crystalline silicon

on nonalkaline glass using self-aligned heat reservoirs and continuous-wave green-laser lateral crystallization, Thin Solid Films 516 (2008) 7350. 査読有

- ⑥ W. Sato, A. Hara, S. Kurauchi, Y. Doi, M. Kobata, and K. Kitahara, Self-Aligned Top-Gate Nanocrystalline Silicon Thin-Film Transistors with Source/Drain Regions Activated by Diode-Pumped Continuous-Wave Green Laser, Extended Abstract of the 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials, 2008, p.176. 査読有

[学会発表] (計6件)

- ① 佐藤旦、佐藤康幸、奥田健一、広瀬研太、北原邦紀、原明人、ガラス上の自己整合メタルダブルゲート低温 poly-Si TFT、第64回東北支部学術講演会、4aB08、2009年12月4日、日本大学(郡山)
- ② 佐藤旦、広瀬研太、北原邦紀、原明人、自己整合メタルダブルゲート p-ch 低温 poly-Si TFT、2009年応用物理学会秋季講演会、9p-TG-13、2009年9月9日、富山大学
- ③ 佐藤旦、梅津渉、山本健一、神原潤二、原明人、北原邦紀、水素化微結晶シリコンを初期膜とするレーザ脱水素およびレーザ結晶化 poly-Si TFT、2009年応用物理学会春季講演会、31p-T-17、2009年3月31日、筑波大学
- ④ 原明人、梅津渉、佐藤旦、山本健一、北原邦紀、固体CWグリーンレーザを利用した微結晶シリコンの脱水素およびラテラル結晶化、第69回応用物理学会学術講演会、2a-CH-1、2008年9月2日、中部大学

[産業財産権]

○出願状況(計5件)

名称: 半導体装置の製造方法

発明者: 原明人

権利者: 東北学院大学

種類: 特許

番号: 特願2009-134480

出願年月日: 2009年5月13日

国内外の別: 国内

名称: 半導体薄膜の製造方法

発明者: 原明人

権利者: 原明人

種類: 特許

番号: 特願2008-225275

出願年月日: 平成2008年8月6日

国内外の別：国内

名称：半導体装置
発明者：原明人
権利者：原明人
種類：特許
番号：特願2008-225274
出願年月日：2008年8月6日
国内外の別：国内

名称：半導体製造方法
発明者：原明人
権利者：原明人
種類：特許
番号：特願2008-64913
出願年月日：2008年2月15日
国内外の別：国内

名称：半導体装置
発明者：原明人
権利者：原明人
種類：特許
番号：特願2007-341614
出願年月日：2007年12月1日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 明人 (AKITO HARA)
東北学院大学・工学部・教授
研究者番号：20417398

(2) 連携研究者

北原 邦紀 (KITAHARA KUNINORI)
島根大学・総合理工学部・教授
研究者番号：60304250

連携研究者

菅原 文彦 (SUGAWARA FUMIHIKO)
東北学院大学・工学部：准教授
研究者番号：70171139

連携研究者

鈴木 仁志 (SUZUKI HITOSHI)
東北学院大学・工学部・准教授
研究者番号：70351319