様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 6 月 10 日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：２００６ ～ ２００８
課題番号：１８３６００２５
研究課題名（和文） ナノインプリント・シーディングによる単結晶シリコン薄膜の形成に関する研究

研究課題名（英文） Study of the Formation of Single-Crystal Silicon Thin-Film Using Nanoimprint Seeding

研究代表者
浅野 種正（ASANO TANEMASA）
九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授
研究者番号：５０１２６３０６

研究成果の概要：
ナノインプリント技術を応用して非晶質シリコン薄膜表面の極微領域に転写した金属の触媒作用による固相結晶化過程の促進、金属誘起固相結晶化過程に優先配向性を利用して結晶核を所望の位置に配列して発生させ、その結晶核をレーザー照射で大結晶へと拡大成長させ技術を開発した。これにより、従来の方法では不可能であった、結晶方位を揃えた擬似単結晶シリコン薄膜をガラス基板上に形成する新しい技術を開発した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
２００６年度	**11,900,000**	**3,570,000**	**15,470,000**
２００７年度	**2,000,000**	**600,000**	**2,600,000**
２００８年度	**1,600,000**	**480,000**	**2,080,000**
年度			
年度			
総 計	**15,500,000**	**4,650,000**	**20,150,000**

研究分野：
科研費の分科・細目：
キーワード：薄膜トランジスタ、ナノインプリント、金属誘起固相結晶化、レーザーアニール、シリコン薄膜、多結晶シリコン、システムオンパネル

１．研究開始当初の背景

石英やガラス等の非晶質絶縁物上の所望の位置に高品質の単結晶シリコン薄膜を形成することができれば、高機能ディスプレイ、究極的に微細化した集積回路素子、三次元回路、量子効果素子など、多くの学術、産業分野で革新的な発展を促せるものと期待できる。

我々は、非晶質シリコン薄膜を低温で熱処理して結晶化できる固相結晶化において、ナノメートルサイズの領域に局所的に金属の触媒作用を利用する方法を提唱し、結晶の発生位置を制御できることを初めて示した。具体的には、図１に示すように、シリコンのマイクロマシニング技術を応用して、金属のティップアレイを用意し、非晶質シリコン薄膜表面との接触による痕跡(インプリント)を利用して結晶を発生させるものである。この結晶シーディング技術を用いて、固相結晶化により過去に類例の無い直径１０ミクロンほどの巨大でしかも基板面に垂直方向には特定の結

晶方位に配向した単結晶シリコン薄膜をガラス基板上の所望の位置に形成できることを示した。

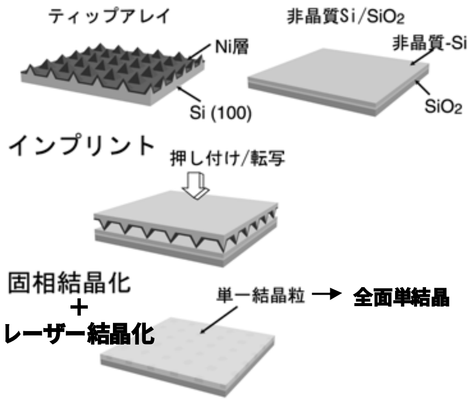

図 1：本研究で研究に取り組んだシリコン薄膜単結晶課法

２．研究の目的

本研究は、金属ナノインプリントによる結晶シーディングを用いた大粒径のシリコン単一結晶育成技術を、産業用途を目指してレーザー照射溶融による再結晶化へと発展させ、結晶方位も制御した高品質の単結晶シリコン薄膜を非晶質基板上に生成する技術を創造することを目的とした。

３．研究の方法

・非晶質シリコン膜は超高真空中での蒸着法で堆積した。
・ナノインプリント用のティップアレイは、単結晶シリコンの異方性エッチングで作製した。
・ティップアレイの表面に触媒として作用するニッケルを真空蒸着した。ニッケルを被覆したティップアレイを非晶質シリコン薄膜表面に、0.2MPa 程度の極低加圧で押しつけ、ニッケルをナノインプリントした。この工程には、半導体のフォトリソグラフィーに用いるマスクアライナーを利用した。
・非晶質シリコン薄膜を 550°C～600°Cで熱処理して結晶核を発生させた。
・YAG(緑色光)レーザーあるいはエキシマ(紫外)レーザーを照射して結晶核から結晶粒を成長させた。
・薄膜トランジスタ(TFT)を作製して電気特性から本手法の有効性を評価した。
以上、いずれも本学所有の設備を用いて実施した。

４．研究成果

(1)ナノインプリント・シーディングしたシリコン薄膜種結晶からエキシマレーザー照射溶融再結晶化成長させることで、単結晶粒の二次元的な発生位置と基板面鉛直方向の結晶方位を同時に制御可能であることを実証した。(図 2 および図 3)

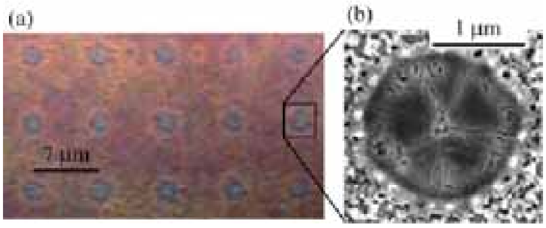

図 2：本研究で研究開発したナノインプリントシーディング技術により形成した結晶粒アレイの表面光学顕微鏡像(a)と走査電子顕微鏡像(結晶欠陥顕在化後)(b)

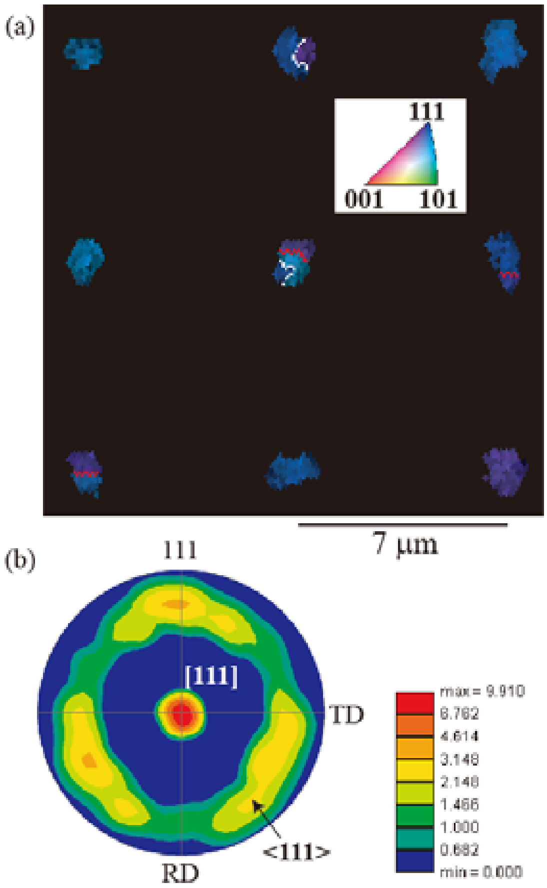

図 3：ナノインプリントシーディング技術で形成した結晶粒の結晶方位解析。(111)方位に向いた結晶粒が形成できていることを示している

(2)非晶質基板に円錐状の浅い窪みを形成することで、レーザーの斜め入射による実効的

なエネルギー密度の低下がもたらす温度勾配の発生を利用した新しい位置制御結晶化法を開発した。また、金属誘起横方向固相結晶化との併用で、基板面内回転方向の結晶方位も揃えられることを示した。

(3)紫外線照射型ナノインプリントリソグラフィーにより薄膜をナノワイヤー状にした構造に金属誘起横方向固相結晶化法を適用することで、単結晶シリコンナノワイヤーを形成できることを示した。

(4)レーザーアニールによってガラス基板上にシリコン結晶を横方向成長させ、単結晶シリコントランジスタと同等の電流駆動力を持つ薄膜トランジスタを作製できることを示した。(図 4)

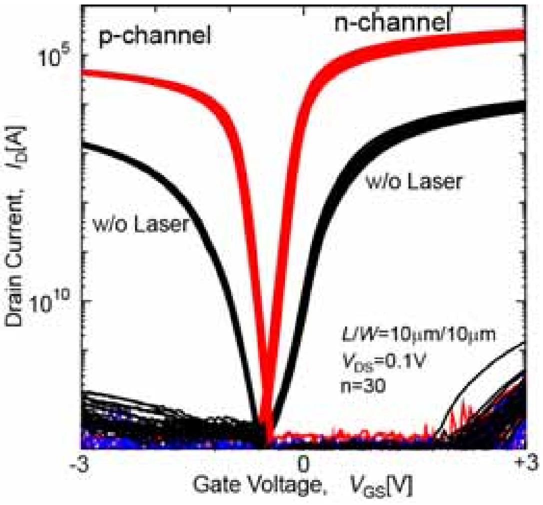

図 4：レーザーアニールで作製した CMOS 薄膜トランジスタの特性例

(5)薄膜トランジスタの特性バラツキを抑制するには、結晶粒界を完全に排除することが有効であることを実証した。排除できない場合には、結晶粒界の電位障壁をできるだけ小さくすることが有用であることを、水素化処理などの方法を併用して示した。

(6)薄膜トランジスタを応用した回路の動作を制限する可能性のあるトランジスタの自己発熱による温度上昇を、トランジスタ特性から測定する方法によって調査した。その結果、ガラス基板上の薄膜トランジスタの熱抵抗は、絶縁膜上のシリコン単結晶(シリコン・オン・インシュレータ)基板に比べても数十倍の大きさを持ち、通常の動作環境においても容易に 100 度を超える温度上昇に至ることが分かった。また、基板方向への熱の流れはほとんど無く、ゲート方向への放熱構造が重要であると提言した。

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 30 件）

(1) G. Nakagawa and T. Asano : “Silicon Crystal Nanowires Produced by Metal-Induced Lateral Crystallization”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48 (2009) 6 月掲載予定. 査読有.

(2) K. Watanabe and T. Asano : “Self-Heating of Laterally Grown Polycrystalline Silicon Thin-Film Transistor”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48 (2009) p. 03B005. 査読有.

(3) K. Akiyama, K. Watanabe, and T. Asano : “Investigation on Characteristic Variation of Polycrystalline Silicon Thin-Film Transistor Using Laterally Grown Film”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48 (2009) p. 03B014. 査読有.

(4) Y. Ishida, K. Sogabe, S. Kai, and T. Asano : “Droplet Ejection Behavior in Electrostatic Inkjet Driving”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 47 No. 6 (2008) pp. 5281-5286. 査読有.

(5) G. Nakagawa and T. Asano : “Oriented Growth of Location-Controlled Si Crystal Grains by Ni Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 47 No. 4 (2008) pp. 3036-3040. 査読有.

(6) G. Nakagawa and T. Asano : “Silicon Crystal Nano-Wires Produced by Metal-Induced Lateral Crystallization”, Dig. Papers, The 21th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference (2008) pp. 546-547. 査読有.

(7) G. Nakagawa and T. Asano : “Fabrication of a-Si Nano-Wires using UV Nano-Imprint Lithography and Its Crystallization Characteristics”, Proc. 7th Int. Conf. on Nanoimprint and Nanoprint Technology (2008) pp. 76-77. 査読有.

(8) K. Akiyama, K. Watanabe and T. Asano : “Investigation on Characteristic Variation of Polycrystalline-Si Thin-Film Transistor Having Stripe Channels”, Dig. Tech. Papers, The 15th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2008) pp. 259-262. 査読有.

(9) K. Watanabe and T. Asano : “Self-Heating of Laterally Grown Polycrystalline Si TFT”, Dig. Tech.

Papers, The 15th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2008) pp. 165-168. 査読有.
(10) 秋山浩司, 渡邊一徳, 浅野種正 : “ストライプ型チャネルを持つ多結晶シリコン薄膜トランジスタの特性ばらつきの評価”, 信学技報 Vol. 108 No. 1 (2008) pp. 23-26. 査読無.
(11) K. Watanabe, K. Akiyama, G. Nakagawa, T. Kudo and T. Asano : “Discussion on the Characteristic Variation of Laterally Grown Poly-Si TFT”, Proc. 4th International TFT Conference (2008) pp. 77-80. 査読有.
(12) G. Nakagawa and T. Asano : “Nickel Metal Induced Lateral Crystallization of Patterned Amorphous Silicon Thin Film”, Materials Science Forum Vols. 561-565 (2007) pp. 1149-1152. 査読有.
(13) Y. Ishida, G. Nakagawa, and T. Asano : "Inkjet Printing of Nickel Nanosized Particles for Metal-Induced Crystallization of Amorphous Silicon", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 46 No. 9B (2007) pp. 6437-6443. 査読有.
(14) Y. Ishida, G. Nakagawa, and T. Asano : “Inkjet-Printed Metal-Colloid-Induced Crystallization of Amorphous Silicon”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 46 No. 3B (2007) pp. 1263-1267. 査読有.
(15) T. Asano, M. Esaki and G. Nakagawa : “Low-Temperature Source/Drain Contact Formation Using Silicidation Induced Activation of Implanted Impurities”, Ext. Abstr, The 5th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces (2007) pp. 199-200. 査読有.
(16) Y. Ishida, K. Sogabe, S. Kai and T. Asano : “Droplet Ejection Behavior in Electrostatic Inkjet Driving”, Dig. Papers, The 20th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference (2007) pp. 384-385. 査読有.
(17) G. Nakagawa and T. Asano : “Oriented Growth of Location-Controlled Si Crystal Grains Using Ni Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing”, Ext. Abstr, 2007 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (2007) pp. 790-791. 査読有.
(18) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Application of Electrostatic Inkjet Printing to Ni-Nano-Particles Induced Crystallization of a-Si”, Dig. Tech. Papers, The 14th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2007) pp. 267-270. 査読有.
(19) T. Asano, K. Watanabe, K. Akiyama, G. Nakagawa and T. Kudo : “Characterization of Grain Boundary Effect on TFT Fabricated on Laterally Grown poly-Si Film”, Dig. Tech. Papers, The 14th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2007) pp. 195-198. 査読有.
(20) 石田雄二, 中川豪, 浅野種正 : “静電型インクジェットによる微細液滴吐出と Si の金属誘起固相結晶化への応用”, 信学技報 Vol. 107 No. 13 (2007) pp. 5-10. 査読無.
(21) T. Asano and G. Nakagawa : “Location and Orientation Control of Si Thin-Film Grains Using Metal Nano-Imprint Seeding of Laser Annealing”, Proc. 3rd International TFT Conference (2007) pp. 74-77. 査読有.
(22) 浅野種正, 中川豪 : “固相とレーザーの組み合わせ結晶化による結晶方位制御の可能性”, レーザー研究 第 34 巻 第 10 号 (2006) pp. 684-688. 査読有.
(23) G. Nakagawa and T. Asano : “Orientation Control of Location-Controlled Si Crystal Grain by Combining Ni Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing with Si Double-Layer Process”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 45 No. 49 (2006) L1293-L1295. 査読有.
(24) G. Nakagawa and T. Asano : “Combination of Metal Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing for Location Control of Si Thin-Film Grain”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 910 (2006) pp. 503-508. 査読有.
(25) N. Higashi, G. Nakagawa, T. Asano, M. Miyasaka, and J. Stoemenos : “Location and Orientation Control of Si Grain by Combining Metal-Induced Lateral Crystallization and Excimer Laser Annealing”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 45 No. 5B (2006) pp. 4347-4350. 査読有.
(26) G. Nakagawa, T. Asano, and M. Miyasaka : “Location Control of Si Thin-Film Grain Using Ni Imprint and Excimer Laser Annealing”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 45 No. 5B (2006) pp. 4335-4339. 査読有.
(27) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Inkjet Printing of Ni

Nano-Size-Particles for Metal Induced Crystallization of Amorphous Si ”, Dig. Papers, The 19th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference (2006) pp. 336-337. 査読有.

(28) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Inkjet-Printed Ni-Colloid Induced Crystallization of Amorphous Si ”, Dig. Tech. Papers, The 13th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2006) pp. 51-54. 査読有.

(29) T. Asano, M. Esaki and G. Nakagawa : “Low Temperature Formation of Source and Drain Using Snow Plow Effect of Silicidation ”, Dig. Tech. Papers, The 13th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (2006) pp. 31-34. 査読有.

(30) 渡邉一徳，江崎真彦，中川豪，浅野種正，櫻木進，工藤利雄 : “ダブルパルスレーザー走査法による多結晶 Si 結晶粒の横方向成長と TFT 特性 ”，信学技報 Vol. 106 No. 5 (2006) pp. 19-22. 査読無.

〔学会発表〕（計 19 件）

(1) G. Nakagawa and T. Asano : “Silicon Crystal Nano-Wires Produced by Metal-Induced Lateral Crystallization ”, The 21th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference, pp. 546-547. 2008 年 10 月 30 日．福岡.

(2) G. Nakagawa and T. Asano : “Fabrication of a-Si Nano-Wires using UV Nano-Imprint Lithography and Its Crystallization Characteristics ”, The 7th Int. Conf. on Nanoimprint and Nanoprint Technology, pp. 76-77. 2008 年 10 月 14 日．京都.

(3) K. Akiyama, K. Watanabe and T. Asano : “Investigation on Characteristic Variation of Polycrystalline-Si Thin-Film Transistor Having Stripe Channels ”, The 15th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 259-262. 2008 年 7 月 4 日．東京.

(4) K. Watanabe and T. Asano : “Self-Heating of Laterally Grown Polycrystalline Si TFT ”, The 15th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 165-168. 2008 年 7 月 3 日．東京.

(5) 秋山浩司，渡邊一徳，浅野種正 : “ストライプ型チャネルを持つ多結晶シリコン薄膜トランジスタの特性ばらつきの評価 ”，電子情報通信学会技術研究報告 SDM2008-5, pp. 23-26. 2008 年 4 月 11 日．沖縄.

(6) K. Watanabe, K. Akiyama, G. Nakagawa, T. Kudo and T. Asano : “Discussion on the Characteristic Variation of Laterally Grown Poly-Si TFT ”, The 4th International TFT Conference, pp. 77-80. 2008 年 1 月 24 日. Seoul, Korea.

(7) T. Asano, M. Esaki and G. Nakagawa : “Low-Temperature Source/Drain Contact Formation Using Silicidation Induced Activation of Implanted Impurities ”, The 5th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces, pp. 199-200. 2007 年 11 月 13 日．東京.

(8) G. Nakagawa and T. Asano : “Nickel Metal Induced Lateral Crystallization of Patterned Amorphous Silicon Thin Film ”, The 6th Pacific Rim Int. Conf. on Advanced Materials and Processing, S9-4-3. 2007 年 11 月 8 日. Jeju, Jeju Island, Korea.

(9) Y. Ishida, K. Sogabe, S. Kai and T. Asano : “Droplet Ejection Behavior in Electrostatic Inkjet Driving ”, The 20th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference, pp. 384-385. 2007 年 11 月 6 日．京都.

(10) G. Nakagawa and T. Asano : “Oriented Growth of Location-Controlled Si Crystal Grains Using Ni Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing ”, 2007 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, pp. 790-791. 2007 年 9 月 20 日．茨城.

(11) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Application of Electrostatic Inkjet Printing to Ni-Nano-Particles Induced Crystallization of a-Si ”, The 14th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 267-270. 2007 年 7 月 13 日．兵庫.

(12) T. Asano, K. Watanabe, K. Akiyama, G. Nakagawa and T. Kudo : “Characterization of Grain Boundary Effect on TFT Fabricated on Laterally Grown poly-Si Film ”, The 14th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 195-198. 2007 年 7 月 12 日．兵庫.

(13) 石田雄二，中川豪，浅野種正 : “静電型インクジェットによる微細液滴吐出と Si の金属誘起固相結晶化への応用 ”，電子情報通信学会技術研究報告 ED2007-2, pp. 5-10. 2007 年 4 月 20 日.

福岡.
(14) T. Asano and G. Nakagawa : “Location and Orientation Control of Si Thin-Film Grains Using Metal Nano-Imprint Seeding of Laser Annealing”, The 3rd International TFT Conference, pp. 74-77. 2007年1月25日26日. Rome, Italy.
(15) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Inkjet Printing of Ni Nano-Size-Particles for Metal Induced Crystallization of Amorphous Si”, The 19th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conference, pp. 336-337. 2006年10月26日. 神奈川.
(16) Y. Ishida, G. Nakagawa and T. Asano : “Inkjet-Printed Ni-Colloid Induced Crystallization of Amorphous Si”, The 13th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 51-54. 2006年7月5日. 東京.
(17) T. Asano, M. Esaki and G. Nakagawa : “Low Temperature Formation of Source and Drain Using Snow Plow Effect of Silicidation”, The 13th Int. Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, pp. 31-34. 2006年7月5日. 東京.
(18) G. Nakagawa and T. Asano : “Combination of Metal Nano-Imprint and Excimer Laser Annealing for Location Control of Si Thin-Film Grain”, 2006 Materials Research Society Symp., Vol. 910, A20.5. 2006年4月20日. San Francisco, CA, USA.
(19) 渡邉一徳，江崎真彦，中川豪，浅野種正，櫻木進，工藤利雄 : “ダブルパルスレーザー走査法による多結晶 Si 結晶粒の横方向成長と TFT 特性”，電子情報通信学会技術研究報告 ED2006-4, pp. 19-22. 2006年4月17日. 福岡.

〔その他〕
ホームページ等
http://fed.ed.kyushu-u.ac.jp/index.html

６．研究組織
(1)研究代表者
浅野　種正（ASANO TANEMASA）
九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授
研究者番号：50126306

(2)研究分担者
佐道 泰造（TAIZO SADOH）
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

権丈 淳（ATSUSHI KENJO）
九州大学・大学院システム情報科学研究院・助教
研究者番号：20037899

宮尾 正信（MASANOBU MIYAO）
九州大学・大学院システム情報科学研究院・教授
研究者番号：60315132

(3)連携研究者
なし