

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実施状況報告書(平成 23 年度)

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	超高密度大気圧熱プラズマジェットを用いた半導体単結晶薄膜成長と大面積電子デバイス応用
研究機関・ 部局・職名	広島大学・大学院先端物質科学研究科・教授
氏名	東 清一郎

1. 当該年度の研究目的

当年度は融液からの横方向結晶成長についてより詳しい知見を得ることに注力する。非接触温度測定による基板表面温度変化の実測と実時間反射率による相変化過程のその場観測を併用しつつ、 μ -TPJ 照射超高速ゾーンメルティング実験を実施し、成長方位の選択性の発現に関する基礎的理解に取り組む。得られた知見に基づいて単結晶ナノ薄膜作製技術を確立し、TFT 試作による電気特性評価を行う。チャンネル層の結晶面方位および膜厚が電気特性に及ぼす影響について系統的な評価データを取得し、ナノ単結晶薄膜 TFT の基礎的理解に取り組む。

単結晶シード成長法の基盤構築の第一歩として、ポーラスシリコン層の酸化により作製した SiO_2 層/ポーラス層積層構造の実効熱伝導率の定量評価に取り組む。 SiO_2 層/ポーラス層積層構造に TPJ 照射しつつシリコンウエハ内の温度上昇を非接触測定するとともに、独自に開発して温度測定に用いてきた解析プログラムに積層構造モデルを導入し、上層の熱伝導率を精密に決定する手法の確立を行う。これにより、 SiO_2 層/ポーラス層積層構造のポロシティや膜厚変化が熱伝導率をどの様に決定づけるかを定量的に明らかにする。

2. 研究の実施状況

本研究が目指す薄膜トランジスタや太陽電池と言った電子デバイスの高性能化には高品質シリコン結晶成長技術の確立が最重要課題である。結晶成長過程の基礎的理解を得るために、100 万分の 1 秒の時間領域で液体シリコンから結晶が成長する様子を明瞭な動画で捉える事に世界で初めて成功した(図 1)。大気圧プラズマ照射により融けたシリコン(黒い楕円形の部分)が移動していくと共に、後方で大きな結晶が成長している。一方、液体シリコンの前方では、アモルファス(非晶質)シリコンが解けずに結晶に変化する固相結晶化(SPC)が生じており、更にこれまで見出されていなかった特異的な結晶成長(LWC と名付けた)領域がある事も明らかになった。この様な結晶成長メカニズムの理解に基づき、線状のアモルファスシリコン膜にこの結晶成長を適用する事で局所的に単結晶を成長できる事が明らかになった。この高品質結晶を用いた薄膜トランジスタは電界効果移動度 $477 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ という極めて高い性能を示し、プラズマ結晶化法で世界最高値を達成する事に成功した。ポーラスシリコン層上で同様の結晶成長を行う事で、結晶面方位が(100)に制御されたシリコン薄膜を得られる事も実験的に明らかになった。

本研究では高品質シリコン結晶薄膜をプラスチック等の基板上に形成する事によって、フレキシ

様式19 別紙1

ブルエレクトロニクス技術の確立を目指す。その具体的方法として、中空構造を利用した薄膜転写技術を考案し、実際に PET 基板に結晶化率 100%のシリコン薄膜を形成する事に成功した (図 2)。

以上述べた様に、本年度は高品質結晶成長法およびこれをフレキシブル基板に転写するという二つの要素技術を確立する事ができた。今後は実際の電子デバイスを試作する事によって、本研究が提案する技術を実用化へと結びつけるための実証実験へと展開を図る計画である。

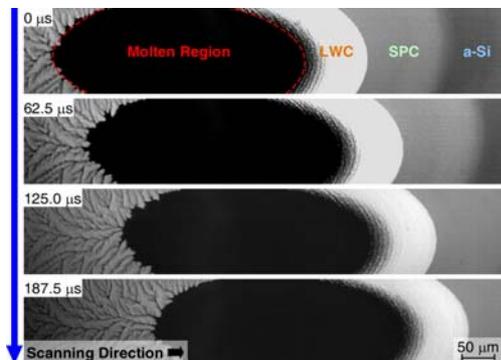


図 1. 液体シリコンから結晶が成長する様子を世界で初めてとらえた映像の一例。黒い液体シリコン部が右方に移動し、後方でこれを追いかけるように大きな結晶が成長する様子がはっきりと映っている。液体シリコン前方でこれまで発見されていなかった特異な結晶成長が起こっている事も明らかになった。



図 2. 本研究で開発した新しいシリコン薄膜転写技術により、プラスチック (PET) 基板上に形成した高品質シリコン結晶薄膜の写真。シリコン薄膜は写真のように折り曲げる事ができる。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 2 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 2 件</p> <p>[1] Kazuya Matsumoto, Akio Ohta, Seiichi Miyazaki, and <u>Seiichiro Higashi</u>, “Activation of As Atoms in Ultrashallow Junction during Milli- and Microsecond Annealing Induced by Thermal-Plasma-Jet Irradiation,” Jpn. J. Appl. Phys. 50, (2011) 04DA07. http://jjap.jsap.jp/link?JJAP/50/04DA07/</p> <p>[2] Yuji Fujita, Shohei Hayashi, and <u>Seiichiro Higashi</u>, “Fabrication of High-Performance Thin-Film Transistors on Glass Substrate by Atmospheric Pressure Micro-Thermal-Plasma-Jet-Induced Lateral Crystallization Technique”, Jpn. J. Appl. Phys. 51, (2012) 02BH05. http://jjap.jsap.jp/link?JJAP/51/02BH05/</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 30 件</p>	<p>専門家向け 計 30 件</p> <p>[1] R.Ashihara, T.Okada, M.Ikeda,S. Hayashi, and <u>S.Higashi</u>, “In-Situ Measurement of Temperature Variation in SiC Wafer during Millisecond Rapid Thermal Annealing Induced by Thermal Jet Irradiation,” 5th International Conference on PLAsma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS2012), (Freude,Inuyama International Sightseeing Center, Aichi, Japan, Mar. 9-10,2012), P-33.</p> <p>[2] Muneki Akazawa, Yuan Zhou, Kouhei Sakaike and <u>Seiichiro Higashi</u>, “Crystallization of Amorphous Silicon films by molten Silicon contacting method using piezo actuator,” 8th International Thin-Film Transistor Conference (ITC-2012), (Lisbon,Portugal, Jan.30-31,2012), p 94.</p> <p>[3] K. Sakaike, Y. Kobayashi, R. Matsubara, M. Ikeda and <u>S. Higashi</u>, “In-situ observation of phase transformation of amorphous Si films and simultaneous transfer induced by near-infrared semiconductor diode laser irradiation,” 8th International Thin-Film Transistor Conference (ITC-2012), (Lisbon,Portugal, Jan.30-31,2012), p 96.</p>

- [4] K.Sakaike, Y.Kobayashi, M.Akazawa and S.Higashi, "CRYSTALLIZATION OF AMORPHOUS SI FILMS AND SIMULTANEOUS TRANSFER TECHNIQUE INDUCED BY NEAR-INFRARED SEMICONDUCTOR DIODE LASER IRRADIATION," *21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-21)*, (Fukuoka, Japan, Nov. 28-Dec. 2, 2011) 3D-2P-10.
- [5] R.Ashihara,T.Okada,Y.Nishida,S.Higashi,"Development of Noncontact Measurement of SiC Wafer Temperature during Millisecond Rapid Annealing Induced by Atmospheric Pressure Thermal Plasma Jet Irradiation," *Proc.33rd International Symposium on Dry Process (DPS2011)*, (Kyoto,Japan,Nov. 10-11,2011), pp.157-158.
- [6] Y.Fujita, S.Hayashi, H.Murakami, S.Higashi,"High Speed Lateral Crystallization of Amorphous Silicon Films on Glass" *2011 International Conference on Solid State Devices and Materials(SSDM 2011)*, (Nagoya, Japan, Sep. 28-30, 2011) ,M-8-2
- [7] Ryohei Matsubara, Shohei Hayashi, Seiichiro Higashi,"Crystallization of Amorphous Silicon Films on Porous Silicon by Micro-Thermal-Plasma-Jet Irradiation、" *24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors (ICANS24)*, (Nara, Japan, Aug. 21-26, 2011), P120.
- [8] Muneki Akazawa, Katsunori Makihara, Tatsuya Matsumoto and Seiichiro Higashi, "Development of Silicon Microliquid Processing Using Piezo Actuator," *2011 Materials Research Society Spring Meeting and Exhibit*, (San Francisco, USA, Apr. 25-29, 2011), A13.2.
- [9] Seiichiro Higashi, Shohei Hayashi, Yusuke Nishida and Ryohei Matsubara, "Fabrication of High Performance TFTs by Atmospheric Pressure Micro-thermal-plasma-jet Induced Lateral Crystallization Technique," *2011 Materials Research Society Spring Meeting and Exhibit*, (San Francisco, USA, Apr. 25-29, 2011), A22.2.
- [10] 林 将平, 松原良平, 池田弥央, 東清一郎, "ポーラスシリコン層を用いたマイクロ熱プラズマジェット照射結晶成長における面方位制御" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17p-B8-19 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [11] 赤澤宗樹, 周 袁, 酒池耕平, 東清一郎, "ピエゾアクチュエータを用いた Si 融液の高速タッピングによるアモルファス Si 膜の結晶化" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17a-A6-11 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [12] 林 将平, 上倉敬弘, 藤田悠二, 池田弥央, 酒池耕平, 東清一郎, "マイクロ熱プラズマジェット照射による Si 融液からの結晶成長の高時間分解能観察" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17p-A6-1 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [13] 藤田悠二, 林 将平, 村上秀樹, 東清一郎, "アモルファスSi細線及びスリットマスクを用いたマイクロ熱プラズマジェット照射高速横方向成長による結晶成長制御" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17p-A6-2 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [14] 田中敬介, 岡田竜弥, 林 将平, 芦原龍平, 東清一郎, "熱プラズマジェット照射ミリ秒熱処理におけるガラス基板の非接触温度測定及びクラック発生条件の解明" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17p-A6-3 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [15] 小林義崇, 酒池耕平, 中村将吾, 東清一郎, "近赤外半導体レーザ光照射によるPドーパa-Si膜の不純物活性化と同時転写技術" 平成24年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17p-A6-4 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日).
- [16] 芦原龍平, 池田弥央, 林 将平, 酒池耕平, 東清一郎, "大気圧熱プラズマジ

ェット照射によるSiCウェハの急速熱処理”平成24年春季 第59回応用物理学関係
連合講演会, 18p-A8-6 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15
日-18日)。

- [17] 酒池耕平, 小林義崇, 中村将吾, 赤澤宗樹, 池田弥央, 東清一郎, “近赤外半
導体レーザ光照射によるSi膜の転写メカニズムの解明”平成24年春季 第59回
応用物理学関係連合講演会, 17p-B6-2 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、
2012年3月15日-18日)。
- [18] 中村将吾, 酒池耕平, 小林義崇, 東清一郎, “近赤外半導体レーザ光照射によ
るポーラスシリコンへのa-Si膜の転写と結晶成長制御”平成24年春季 第59回
応用物理学関係連合講演会, 17p-B6-3 (東京、新宿、早稲田大学 早稲田キャンパス、
2012年3月15日-18日)。
- [19] 小柳俊貴, 西田悠亮, 林 将平, 池田弥央, 東清一郎, “大気圧熱プラズマジェ
ット照射及び高圧水蒸気熱処理による低温堆積SiO₂膜及びSi/SiO₂界面の改
善”平成24年春季 第59回応用物理学関係連合講演会, 17a-B6-5 (東京、新宿、早
稲田大学 早稲田キャンパス、2012年3月15日-18日)。
- [20] 藤田悠二, 東清一郎, “マイクロ熱プラズマジェット照射高速横方向結晶化に
おけるSiスリットマスクを用いた結晶成長位置制御” 4P03 (p. 29-p. 31)
(2011. 11. 4-11. 5、薄膜材料デバイス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバン
ティ響都 (きょうと) ホール))。
- [21] 松原良平, 酒池耕平, 林将平, 東清一郎, “近赤外半導体レーザ照射によるポー
ラスシリコン層転写技術の開発” 4P05 (p. 32-p. 35) (2011. 11. 4-11. 5、薄膜材料
デバイス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバンティ響都 (きょうと) ホール))。
- [22] 芦原龍平, 岡田竜弥, 西田悠亮, 東清一郎, “大気圧プラズマジェット照射ミ
リ秒熱処理におけるSiCウェハの非接触温度測定技術の開発” 4P21 (p. 59-p. 60)
(2011. 11. 4-11. 5、薄膜材料デバイス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバン
ティ響都 (きょうと) ホール))。
- [23] 酒池耕平, 小林義崇, 松原良平, 東清一郎, “近赤外半導体レーザ光照射によ
るa-Si膜の結晶化と同時転写技術” 5003 (p. 148-p. 151) (2011. 11. 4-11. 5、薄膜
材料デバイス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバンティ響都 (きょうと) ホ
ール))。
- [24] 赤澤 宗樹、周 袁、東 清一郎、“ピエゾアクチュエータを利用したSi融液
接触法によるa-Si膜の結晶化” 5P02 (p. 163-p. 165) (2011. 11. 4-11. 5、薄膜材料
デバイス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバンティ響都 (きょうと) ホール))。
- [25] 西田悠亮、東 清一郎、“大気圧熱プラズマジェット照射による低温堆積SiO₂
膜の化学結合状態改善” 5P18 (p. 188-p. 190) (2011. 11. 4-11. 5、薄膜材料デバ
イス研究会 (第8回研究集会、龍谷大学 アバンティ響都 (きょうと) ホール))。
- [26] 東 清一郎、“DCアーク放電大気圧プラズマジェットによる半導体薄膜結晶成
長” 2011年度秋季第72回応用物理学学会学術講演会 講演予稿集 29 p-ZN-4
(2011. 8. 29-9. 2、山形大学小白川キャンパス)。
- [27] 酒池耕平, 松原良平, 小林義崇, 東清一郎, “近赤外半導体レーザ光照射によ
るa-Si膜の結晶化と同時転写技術” 2011年度秋季第72回応用物理学学会学術講演会
講演予稿集 1p-M-6 (2011. 8. 29-9. 2、山形大学小白川キャンパス)。
- [28] 芦原龍平, 岡田竜弥, 西田悠亮, 東清一郎, “大気圧プラズマジェット照射ミ
リ秒熱処理におけるSiCウェハの非接触温度測定技術の開発” 2011年度秋季第72回
応用物理学学会学術講演会 講演予稿集 31a-ZB-2 (2011. 8. 29-9. 2、山形大学小白川
キャンパス)。
- [29] 藤田悠二, 東清一郎, “マイクロ熱プラズマジェット照射高速横方向結晶化に
おけるSiスリットマスクを用いた結晶成長位置制御” 2011年度秋季第72回応用物
理学会学術講演会 講演予稿集 1p-M-3 (2011. 8. 29-9. 2、山形大学小白川キャン
パス)。

様式19 別紙1

	<p>[30] 赤澤 宗樹、周 袁、酒池 耕平、藤田 悠二、東 清一郎 “ピエゾアクチュエータを利用したシリコン融液接触法によるアモルファスシリコン膜の結晶化” 応用物理学会 中・四国支部2011年度 支部学術講演会, Fp1-3 (鳥取、鳥取大学、2011年7月30日).</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図 書 計 1 件</p>	<p>「大気圧プラズマの技術とプロセス開発」沖野 晃俊監修、東 清一郎 他 40名、シーエムシー出版 “熱プラズマジェットを用いた超急速熱処理と半導体プロセス 応用 “(第Ⅱ編第3章分担執筆) (2011年8月25日)</p>
<p>産業財産権 出願・取得状 況 計 1 件</p>	<p>(取得済み) 計 1 件 温度測定装置及びこれを利用した熱処理装置、温度測定方法、東清一郎、広島大学、 特許第 4742279 号、2011/5/20、国内 (出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>http://www.semicon.hiroshima-u.ac.jp/</p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>広島大学 学術講演会「NEXT 明日を拓く科学—最先端・次世代研究開発支援プログラ ム」2012年3月20日 実施 広島大学東千田町キャンパス、一般の方対象、15名 講演内容「大気圧プラズマを用いたグリーンテクノロジー」</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計 1 件</p>	<p>中国新聞、2012(H24)年3月13日掲載 (28)「格安太陽電池に道筋」</p>
<p>その他</p>	<p>酒池耕平 (D2 学生) 薄膜材料デバイス研究会第 8 回研究集会, (2011 年 11 月, 京都) “近赤外半導体レーザー光照射による a-Si 膜の結晶化と同時転写技術” において Best Paper Award 受賞</p>

4. その他特記事項

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	121,000,000	56,800,000	0	64,200,000	0
間接経費	36,300,000	17,040,000	0	19,260,000	0
合計	157,300,000	73,840,000	0	83,460,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未取利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	53,757,603	0	0	53,757,603	40,856,962	12,900,641	0
間接経費	17,040,000	0	0	17,040,000	17,040,000	0	0
合計	70,797,603	0	0	70,797,603	57,896,962	12,900,641	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	29,312,272	X線光電子分光装置制御システム、高速度カメラ、窒素ガス等
旅費	2,846,636	学会参加旅費(米国、欧州)等
謝金・人件費等	7,431,521	研究員人件費、講演謝金等
その他	1,266,533	学会参加費、学会誌掲載料、修理等
直接経費計	40,856,962	
間接経費計	17,040,000	
合計	57,896,962	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
X線光電子分光装 置制御システム	(スウェーデン)VG SCIENTA AB 社 ESCA300 PC アップグ レード	1	4,200,000	4,200,000	2011/6/27	広島大学
高圧水蒸気チャン バー	型式:DST-100HPS-TI 仕 様 材質:Ti製 ヒーター: マントルヒーター 使用温 度:MAX260° C	1	2,226,000	2,226,000	2011/7/14	広島大学
高速度カメラ IDT 社製	MOTIONXTRA NR4S3 モ ノクロタイプ	1	3,970,050	3,970,050	2011/11/22	広島大学
汎用ファイバ型温度計	FTK-R220A-10B11	1	512,190	512,190	2011/10/28	広島大学
手すり印刷機	HP-320	1	519,750	519,750	2011/9/26	広島大学
ライフタイム測定器	WCT-120	1	2,887,500	2,887,500	2012/1/13	広島大学
リニアアクチュエータ	GLM20AP-L-1100- X-J-X-C-H-N-X- N-0047450	1	546,000	546,000	2012/1/30	広島大学
ウエハ回転ユニット	ローツェ株式会社製 BMZ1-HU001-401	1	1,029,000	1,029,000	2011/12/9	広島大学