

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「面荒れ抑制シリコンアニール法の研究と装置開発」

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
 - ① レーザ光源搭載光ヘッドの開発
 - ② アニール基板評価方法(シリコン表面荒れ状態)の検討と検証
 - ③ アニール基板評価方法(シリコン結晶化状態)の検討と検証
 - ④ 新プロセス事業化のための調査
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- ① レーザ光源搭載光ヘッドの開発
 - ①-1 1本化ファイバー
 - ①-2 ファイバーアレイによるラインビーム
- ② アニール基板評価方法(シリコン表面荒れ状態)の検討と検証
- ③ アニール基板評価方法(シリコン結晶化状態)の検討と検証
- ④ 新プロセス事業化のための調査

第3章 全体総括

平成 23-25 年度の研究開発成果
研究開発後の課題・事業化展開

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究開発では、低温ポリシリコン薄型パネルにおけるアモルファスシリコン結晶化技術において、エキシマレーザに代わる次世代の高精細、低価格の結晶化技術を確立することを目的として、平成 23 年度からシリコンアニールの研究と装置開発を行ってきた。エキシマレーザにおける大きな問題点として、第一に結晶化における結晶粒の制御が出来にくいこと、第二に装置維持コストが高いことがあげられる。これらの問題を解決し、低温ポリシリコン TFT 製造技術の発展に貢献することを目指している。

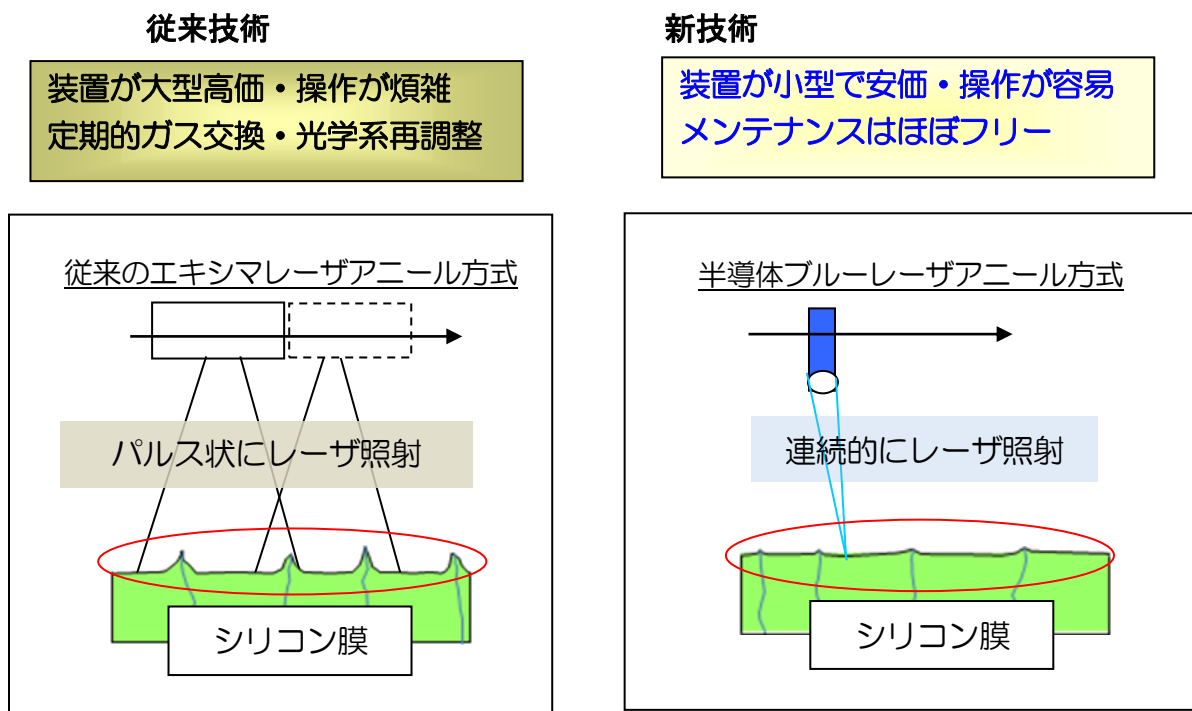


図 1-1 シリコンアニール法の従来技術と新技術

従来のアニール方式では、図 1-1 の左図のように、シリコン膜に対しエキシマレーザが移動しながら、パルス状の光出力を一か所に対し 20 パルス以上照射しながらアニールを行う。この過程でシリコン膜は結晶化され、ポリシリコン状態に変化する（低温ポリシリコン膜と呼ばれる）。しかしながら、結晶化の際に平均 20nm 程度（10～40nm 範囲）の高さを持つ突起を伴う面荒れが発生する。この突起はその後に形成されるゲート絶縁膜の信頼性を損なうという問題を起す。

これに対し、本研究開発で開発する技術は、図 1-1 の右図に示すように、半導体ブルーレーザを光源とする結晶化装置により波長 445nm の CW(連続発振)レーザ光を照射することにより、シリコン膜を結晶化させる。この方法によれば、従来のエキシマレーザ法によって発生するシリコン表面突起高さを平均 3nm 程度に抑えることが可能となる。また、エネルギーを最適化することにより、結晶粒径を容易に変えることができる。

1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織・管理体制

本研究開発事業は、1 大学、2 民間企業の 3 機関からなる(図 1-2)。管理法人である公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構が、関東経済産業局と締結した業務委託の原契約の延長として実際の研究開発に携わる構成機関と再委託契約を締結する形で管理した。研究全体を総括的に管理するプロジェクトリーダー(PL)とそのフォローをするサブプロジェクトリーダー(SL)を設け、アドバイザーを含めた全体で行う研究開発推進委員会と、効率的に事業を進めるために研究者による研究実務者会議を開催した。

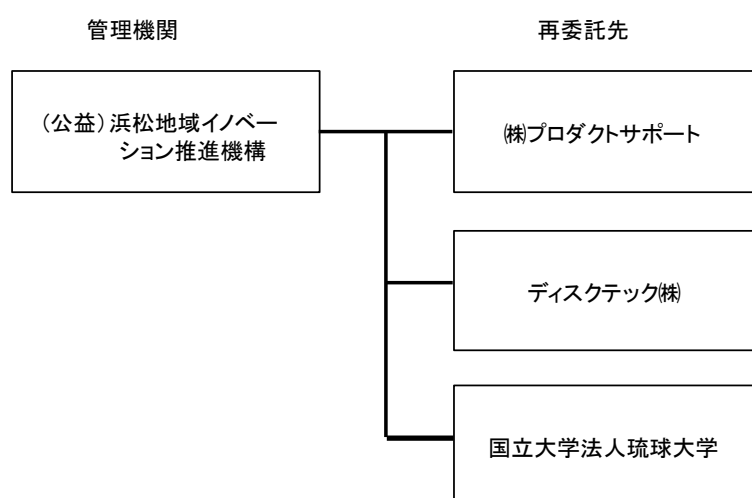


図 1-2 管理体制

(2) 研究者氏名

株式会社プロダクトサポート

代表取締役

井上 和久(プロジェクトリーダー(PL))

取締役

山田 一雄

ディスクテック株式会社

取締役

長谷川 正仁(サブプロジェクトリーダー(SL))

国立大学法人琉球大学

工学部電気工学科 教授

野口 隆(サブプロジェクトリーダー(SL))

助教

岡田 竜弥

大学院理工学研究科 大学院修士 若杉 智英

大学院理工学研究科 大学院修士 下田 清治

大学院理工学研究科 大学院修士 杉原 弘也

大学院理工学研究科 大学院修士 知念 怜

(3) 協力者(アドバイザー)

株式会社日立情報通信エンジニアリング

技術本部 主管技師

曾我 和弘

1-3 成果概要

① レーザ光源搭載光ヘッドの開発

最大出力が 1.6W の青色 LD(レーザダイオード)を 21 個用いて、レーザビームのエネルギー密度を高めるために、2 つの異なるタイプの光源ヘッドを開発した。ひとつは、3 本の光ファイバーを 1 本に結合させて出射光の広がりを抑え、50 倍の対物レンズを使用可能にした。集光後のエネルギーは 7.5W、ビームサイズは 100 μm x 30 μm となり、完全ではないが結晶化が確認できた。もうひとつは、レーザアレイを用いて 21 個の LD をそれぞれ単独で集光系まで導き、長尺ビームを形成した。集光後のエネルギーは 16.6W、ビームサイズは 550 μm x 10 μm となり、小粒径ながら結晶化が確認できた。これら 2 つの手法を組み合わせることにより、必要な出力と必要な長さのライン状ビームを形成することが可能となる。

② アニール基板評価方法(シリコン表面荒れ状態)の検討と検証

2 次元熱解析から、熱源としてスキャンの方向に対して、ビームの前方と後方で温度勾配が大きく異なる結果が得られた。さらに、BLDA(Blue Laser Diode Annealing)の途中での Si 膜内の温度分布と膜上部と下部の温度上昇の様子が解析できた。Ar ガスと原子半径がより小さい Ne ガスを用いて、ガラス上に RF(高周波)スパッタ法により製膜した Si 薄膜に、BLDA を施して結晶化させ、AFM(原子間力顕微鏡)解析により表面平坦性を観察した。さらに、薄い(100 μm)フレキシブルなガラス基板に対しても、スパッタ法で Si を製膜して BLDA を施すと、厚い(800 μm)ガラス上の場合と同様に、良好な結晶化が生じ、燐原子が有効に活性化され、電気的特性(抵抗率)も同様に低下した。薄いガラス上において、平坦性が厚いガラス上より優れることが AFM 解析により確認された。AFM 像から、レーザパワーが 5W 以下では、薄いガラスの場合、突起高さは 3 nm 以下だった。

③ アニール基板評価方法(シリコン結晶化状態)の検討と検証

PECVD(プラズマ CVD)法により準備された Si 膜は、BLDA 後、膜の結晶性が非常に優れることが、分光エリプソメトリ法により示された。4 探針法によりシート抵抗を測定すると、レーザパワーの増加に対して著しく低下した。7W 以上のレーザパワーに対しても膜は、安定に結晶化され、100 ohm/\square 以下の著しく低い値が得られた。電気的評価のために、BLDA のパワーが 5W で結晶化した膜で作成した TFT は、高いキャリア(電子)易動度(>50 cm^2/Vs)を示し、高解像度の液晶パネルのみならず、有機 EL 画素駆動にも、更には CMOS として画素の周辺走査回路などにも利用できる。

④ 新プロセス事業化のための調査

低温ポリシリコン TFT (LTPS-TFT, Low Temperature Poly-silicon-Thin Film Transistor) パネルの製品応用先は、スマートフォンとタブレットが全体の 8-9 割を占めるとされており、中でもタブレット用が今後大きく伸びると予想されている。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 浜松地域イノベーション推進機構
事業推進部 米谷 俊一
〒432-8036 静岡県浜松市中区東伊場二丁目 7 番 1 号
浜松商工会議所会館 8 階
TEL:053-489-8111 FAX:053-450-2100
E-mail: kometani@hai.or.jp

第2章 本論

① レーザ光源搭載光ヘッドの開発

最大出力が 1.6W の青色 LD(レーザダイオード)を 21 個用いて、レーザビームのエネルギー密度を高めるために、2 つの異なったタイプの光源ヘッドを開発した。ひとつは、3 本の光ファイバーを 1 本に結合させて出射光の広がりを抑え、50 倍の対物レンズを使用可能にした。もうひとつは、レーザアレイを用いて 21 個の LD をそれぞれ単独で集光系まで導びき、長尺ビームを形成した。レーザ光をこれらのヘッドによって光学系へ導入し、縦横比の大きなライン状のビームを形成した。21 個の LD のための直流電源供給モジュールおよびその制御回路も新たに開発した。複数個の直流電源を 19 インチラック内に収納し、同ラック内に制御回路もあわせて収納し、PC のプログラムにて、複数個の直流電源に対して同時に電圧・電流を設定できるようにした。

①-1 1 本化ファイバー

伝送用光ファイバー21 本を 7 本ずつ集めて 3 本にまとめると、1 本のコア径/クラッド径が 300um/330um となり、3 本を隣接して配置すると幅が 990um となる。使用できる市販の対物レンズはアパチャー径が決まっているために制限される(高倍率の対物レンズになるほど、アパチャー径は小さくなる)。照射サンプル上でのエネルギー密度向上のために、高倍率の対物レンズを使用する必要がある。3 本の合計の幅が 990um の伝送用光ファイバーには、20 倍の対物レンズしか適用できない。50 倍の対物レンズを使用するためには、エネルギーを落とさず、出射光の広がりを抑えて小径にして、50 倍の対物レンズが使用できるようにしなければならない。そのために 3 本の光ファイバーを更に 1 本にコンバインすることにした。図 2-1-1 に 1 本ファイバーのブロック図を示す。

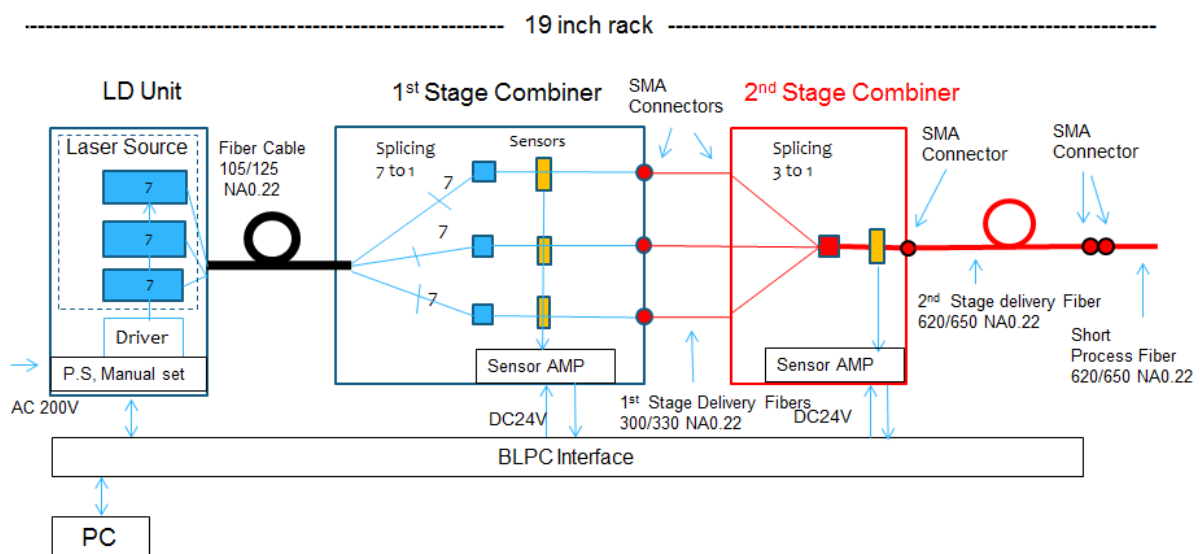


図 2-1-1 1 本ファイバー・ブロック図

ファイバーを 7 本ずつまとめて 3 本の出力にした 1st Stage Combiner とこれらの 3 本の

ファイバーをさらにまとめて1本にした2nd Stage Combinerの外観写真を図2-1-2に示す。ファイバーの1本化に至る経緯と1本ファイバーにより集光系まで導かれた光源を図2-1-3に示す。



図 2-1-2 3本から1本にしたコンバイナー(2nd Stage Combiner)

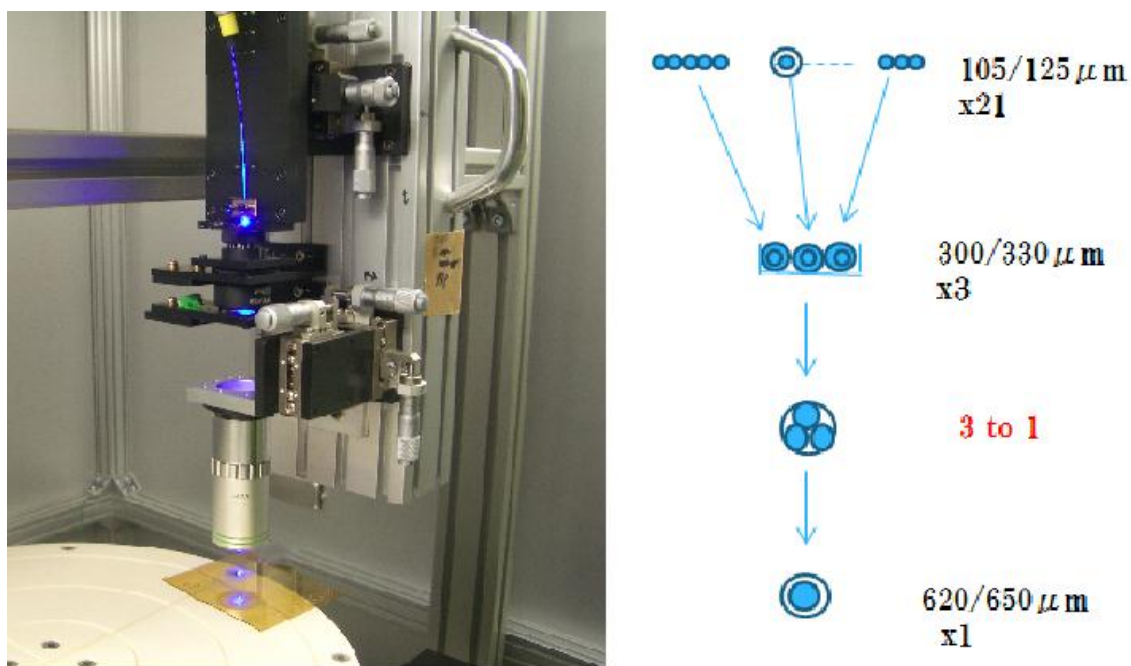
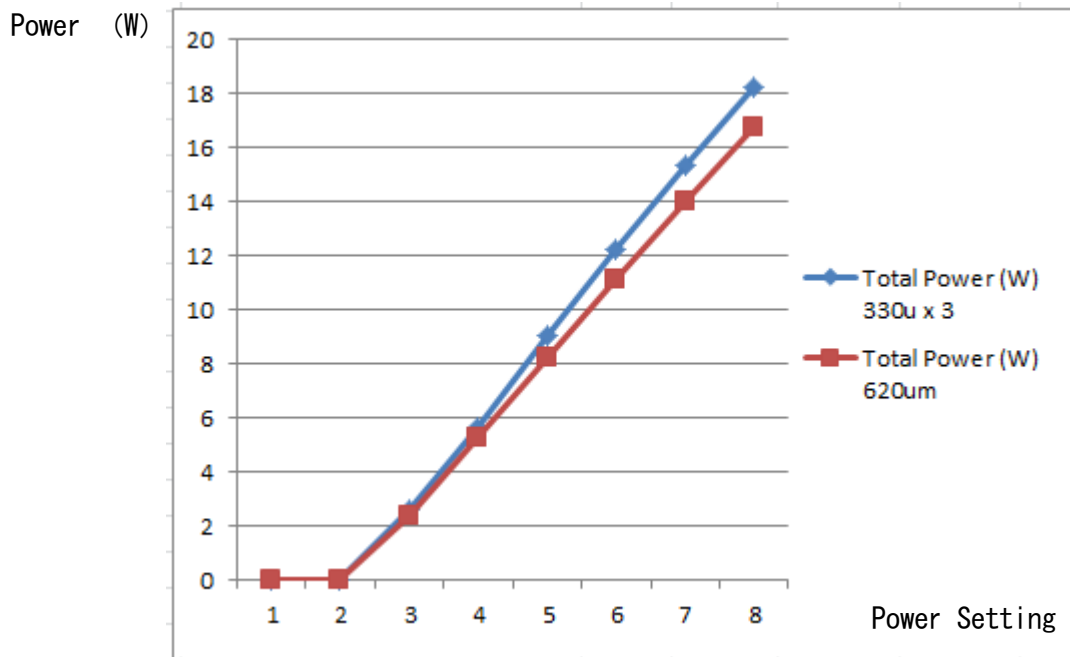


図 2-1-3 1本ファイバーにより集光系まで導かれたレーザー光源

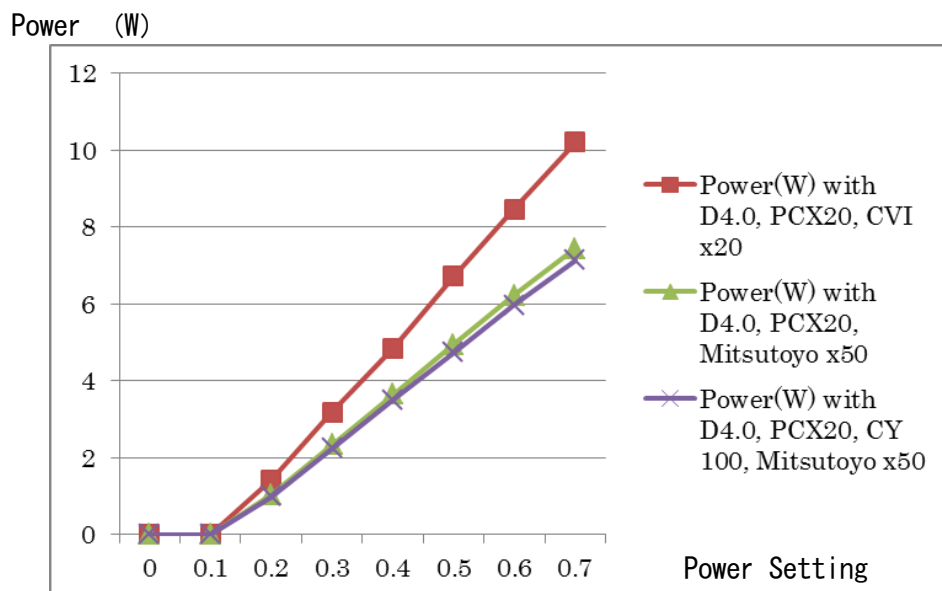
ファイバーから出射されたレーザーのパワーを測定した結果、伝送用光ファイバー3本を1本にコンバインしたことによる損失は、計測値の18.2Wと16.7Wから、12%であった。(図2-1-4)、光ファイバーからの出射光の広がりや抑えられたことにより、50倍の対物レンズが使用できるようになった。集光系を経た後のサンプル上でのエネルギーは、設定70%のときのエネルギーは、8.4Wであった。20倍対物レンズと50倍の対物レンズを付けた場合のエネルギーの比較を行った(図2-1-5)。



Test date	Power setting %	1	2	3	4	5	6	7	8		
18-Feb	Total Power (W) 330u x 3	0	0	2.56	5.60	9.01	12.19	15.31	18.21	W	Actual
18-Sep	Total Power (W) 620um	0	0	2.32	5.25	8.19	11.08	13.97	16.70	W	Actual

Test date	Power setting %	1	2	3	4	5	6	7	8
10/23/2013	Total Power before Obj	0	10	20	30	40	50	70	70
	Total Power After Obj	0	0	1.17	2.65	4.13	5.60	7.02	8.40

図 2-1-4 3本と1本の光源エネルギーの比較 出射光 (表上)とサンプル上(表下)



Power setting (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Power(W) with D4.0, PCX20, CVI x20	0	0.007	1.418	3.185	4.85	6.73	8.47	10.21
Power(W) with D4.0, PCX20, Mitsutoyo x50	0	0.004	1.038	2.34	3.655	4.95	6.22	7.45
Power(W) with D4.0, PCX20, CY 100, Mitsutoyo x50	0	0.007	0.992	2.24	3.502	4.745	5.97	7.14

図 2-1-5 20倍と50倍の対物レンズを用いたときのエネルギー

光ファイバーを最終的に1本にして、50倍の対物レンズを使用すると、照射サンプル上でのエネルギーは7.5W、ビームサイズは100 μm ×30 μm となり、サンプル上のエネルギー密度は2,500W/ mm^2 になった。このビームを500mm/秒にて走査させた場合、サンプル上のアモルファスシリコンが結晶化した。図2-1-6にアニール後のサンプルおよび顕微鏡写真を示す。図2-1-7示した分光エリプソによる解析結果から、結晶化が確認された。

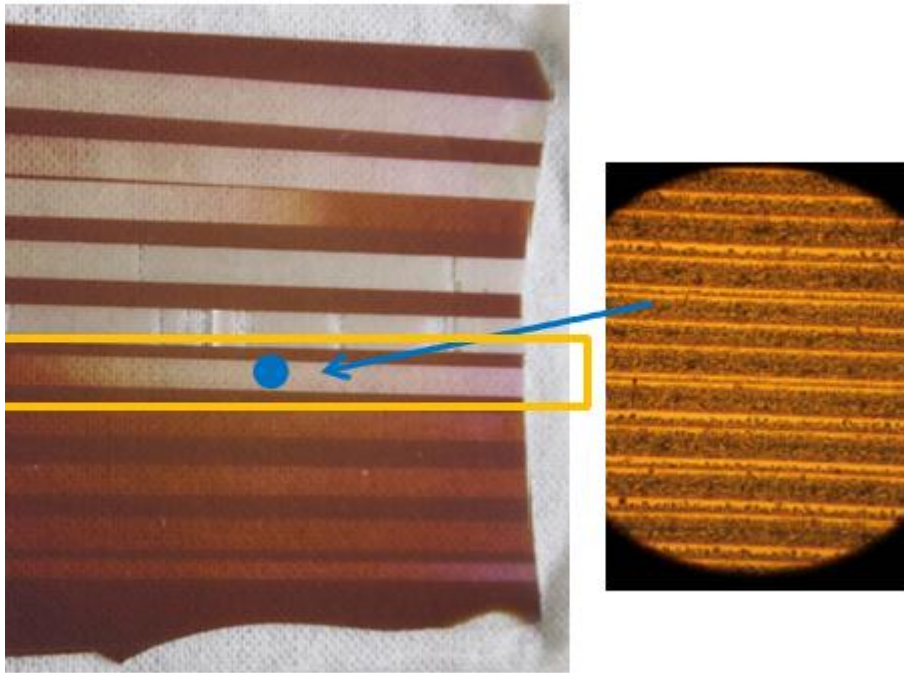
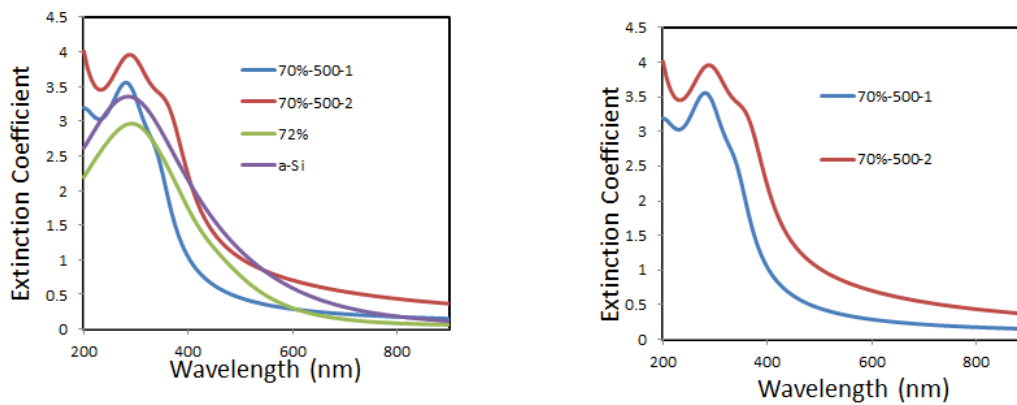


図 2-1-6 アニール後のサンプルおよび顕微鏡写真



7.45W-500mm/s (送り50 μm)で結晶化

図 2-1-7 分光エリプソによる解析結果

①-2 ファイバーアレイによるラインビーム

サンプル上でのビームの長尺化を図るために、伝送用光ファイバーをコンバインする方法とは異なり、LD からレセプタクルを通して $\phi 40\mu\text{m}$ の伝送用光ファイバーにて集光系直前まで導き、その伝送用光ファイバーを筒状のエンクロージャの中に並列に配置させたモジュールを作成し、出射光の長尺化を試みた。図 2-1-8 ファイバーアレイ・ブロック図を示す。

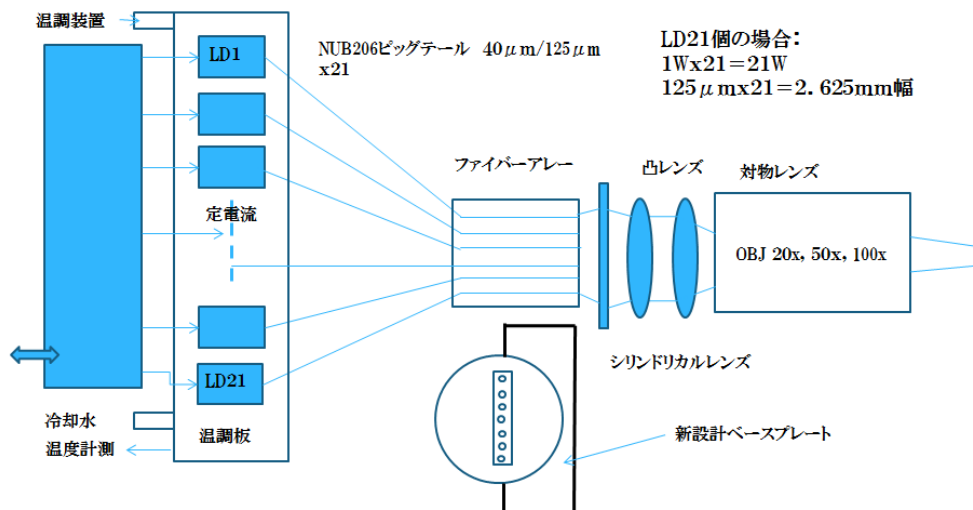


図 2-1-8 ファイバーアレイ・ブロック図

ファイバーアレイは、LD とファイバーをつなぐレセプタクル、 $40\mu\text{m}$ の伝送用光ファイバー、およびファイバーを先端部に並列に配置したファイバーアレイにより構成される。図 2-1-9 はファイバーアレイモジュール(ピッグテール)を示す。

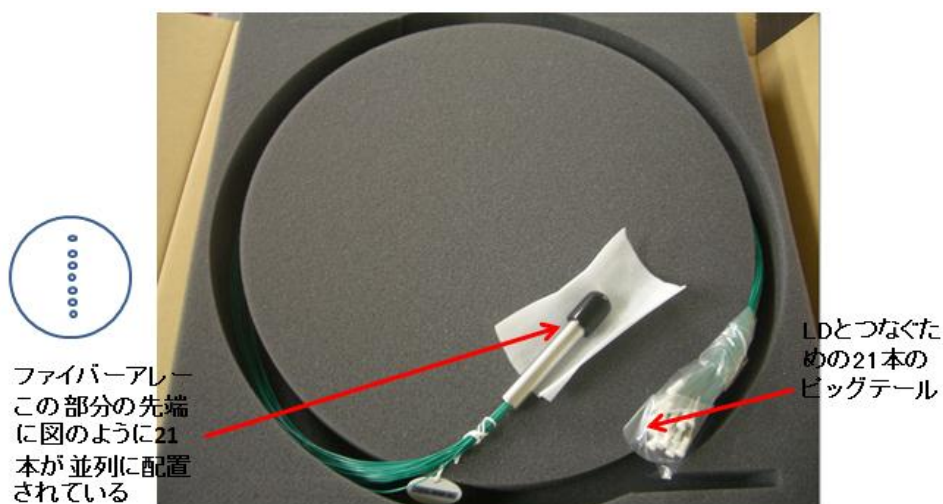


図 2-1-9 ファイバーアレイモジュール

ファイバーアレイで形成されたビームは点線模様になるため、均一化が不可欠となる。ビームに対してさまざまな集光系を適用して、ビームのエネルギー分布の均一化を図った。ガラスの導波路やマイクロレンズによる均一化等を試みたところ、シリンドリカルレンズ、凸レンズ、対物レンズの組み合わせが最良の結果を示した。しかしながら、照射されたサンプルに筋状のパターンが見られることから、ビームのエネルギーの均一性はまだ満足できるレベルではなかった。光学系は、ファイバーアレイ、PM シリンドリカルレンズ、PCX 凸レンズ、PCX 凸レンズ、20 倍の対物レンズで構成された(図 2-1-10)の集光系を用いて、サンプル上のアモルファスシリコンの結晶化を確認することができた。

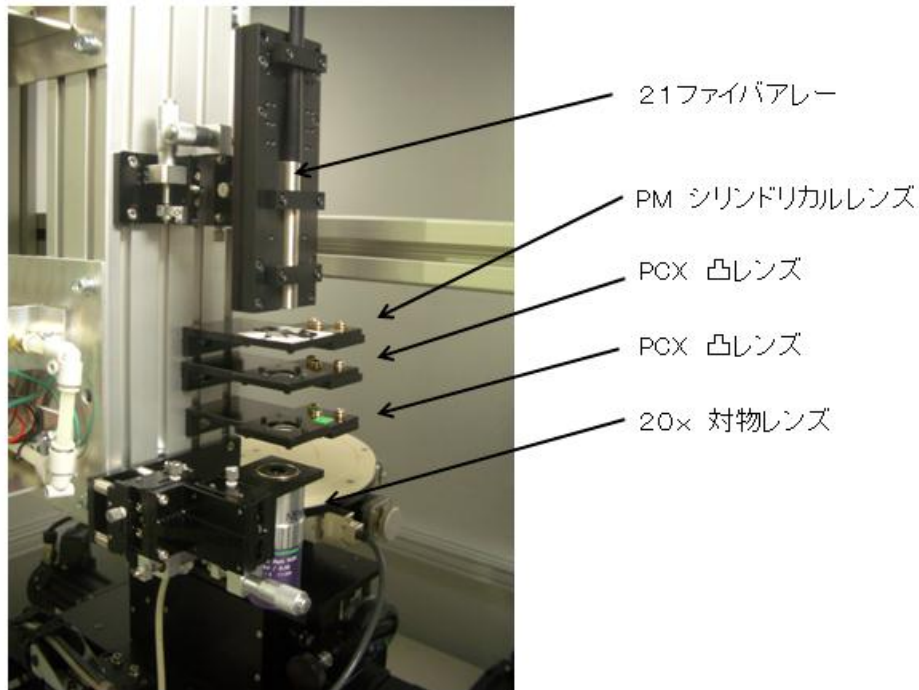
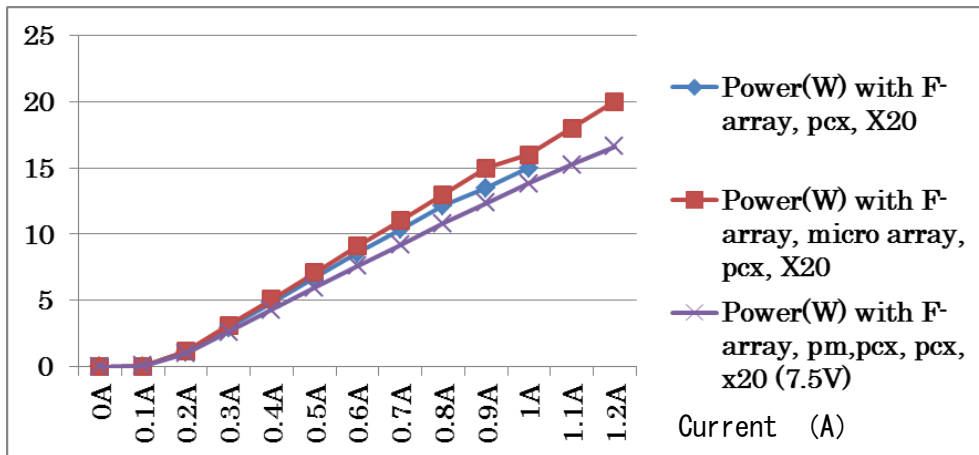


図 2-1-10 ファイバーアレイ集光系

LD(日亜化学工業社製 NUB206E)の定格出力は 1.6W(電流値 1.7A)であり、これにピッグテール(レセプタクルモジュール)を付加したものは、推奨仕様条件下では定格 1.1W(電流値 1.2A)である。従って、7 個の合計では 7.7W となり、21 個では 23.1W である。このファイバーアレイのために新たに開発した電源供給モジュールを用いて、サンプル上でのエネルギーを測定した。LD1 個あたり 1.2A の設定で上記の集光系を経て、サンプル上にてエネルギーは 16.6W になった(図 2-1-11)。サンプル上のビームサイズは、550um x 10um で、エネルギー密度は、3,020W/mm²となった。

Power (W)



	0A	0.1A	0.2A	0.3A	0.4A	0.5A	0.6A	0.7A	0.8A	0.9A	1A	1.1A	1.2A
, pcx, X20	0	0	1.1	2.97	4.85	6.7	8.56	10.4	12.2	13.5	15		
, micro array, pcx, X20	0	0	1.16	3.13	5.1	7.1	9.1	11	13	15	16	18	20
, pm, pcx, pcx, x20 (7.5V)	0	0.1	0.98	2.63	4.28	5.95	7.59	9.19	10.8	12.3	13.8	15.2	16.6

図 2-1-11 ファイバーアレイでのエネルギー測定結果

上記の集光系を用いてアニール実験を行ない、分光エリプソメトリにより消衰係数 k スペクトルを導出し、スパッタ Si 膜の結晶性を評価したところ、図 2-1-12 に示すように、高出力時、結晶化のはじまりが確認された。

パラメータ: 電流(@1個のLD)

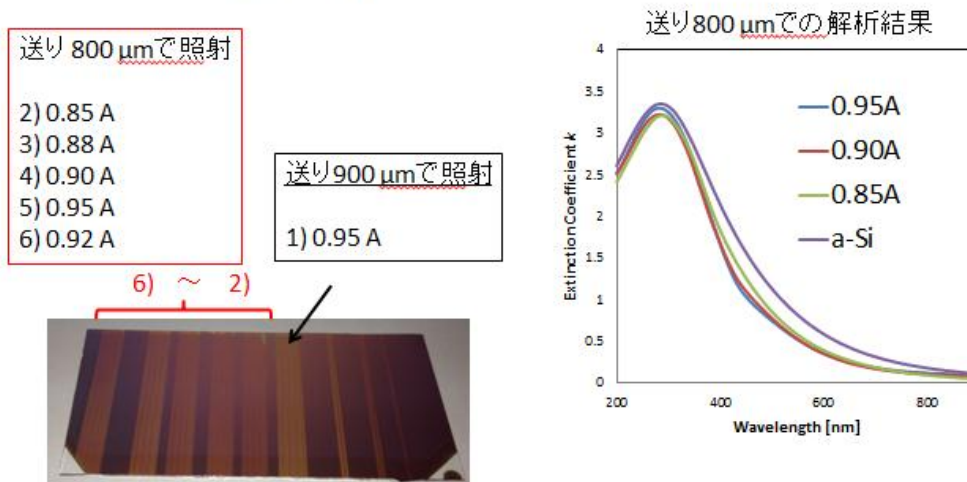


図 2-1-12 ファイバーアレイでの照射実験

実用化に向けて最も可能性が高いのはファイバーアレイ、簡素化された集光系及び 20 倍対物レンズを組み合わせた装置である。理由として以下があげられる。

- ・LD の出力を高効率にて集光系まで導くことができる。
- ・使用する LD を増やすことによって、長尺化が比較的容易にできる。
- ・簡素な集光系にて高い長尺比が達成できる可能性がある。

② アニール基板評価方法(シリコン表面荒れ状態)の検討と検証

青色半導体レーザによる絶縁基板上(ガラスなど)シリコン膜への照射アニールのシリコン基板表面の荒れ状態を測定、評価検討し、その検証方法を確立する目的で、Si 膜の熱解析、物理的評価、光学評価、また実際の単体素子の試作研究まで実施した。熱解析では、1次元熱解析として、1回目と2回目の照射時の Si 膜の温度上昇を検討した。さらに、2次元熱解析を検討し、スキャンの方向に対して、ビームの前方と後方で温度勾配が大きく異なることが得られた(図 2-2-1)。さらに、BLDA の途中での Si 膜内の温度分布と膜上部と下部の温度上昇の解析結果を図 2-2-2 に示す。

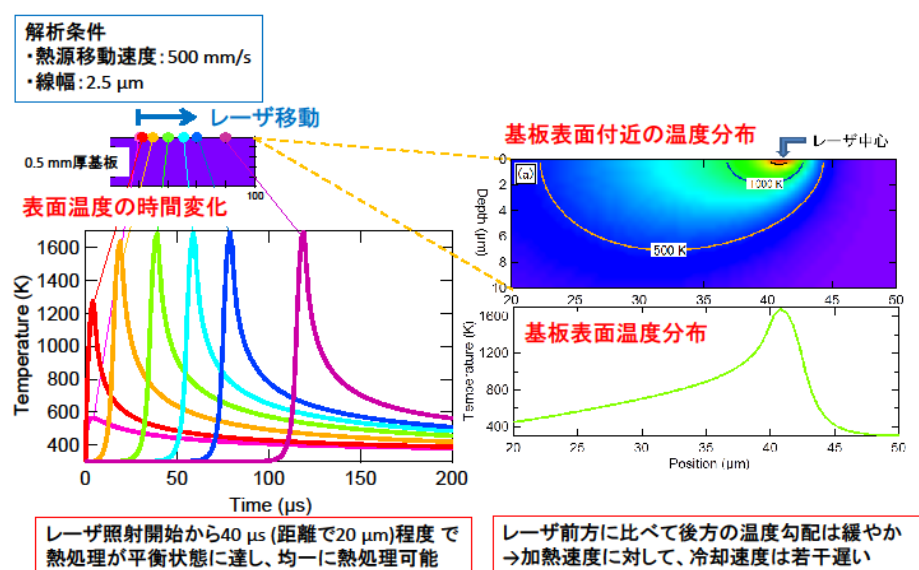


図 2-2-1 2次元解析予備検討(上原、岡田による計算)

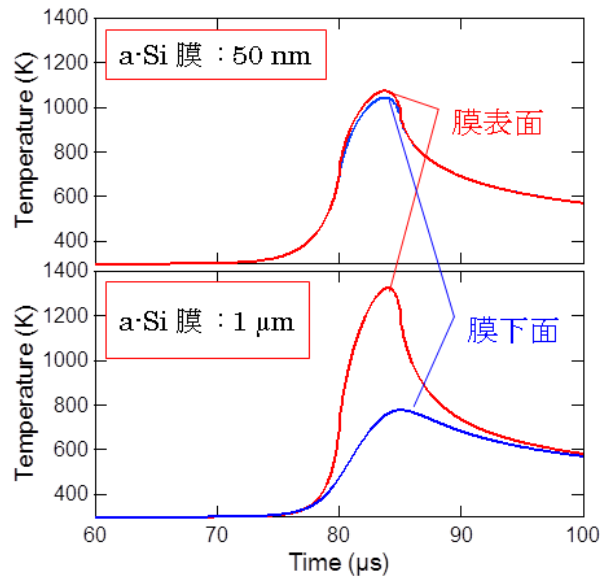


図 2-2-2 BLDA 中の基板上 Si 膜の上部、下部での温度分布解析

一般に、エキシマレーザ・アニール後のガラス上の Si 膜は、パルス溶融結晶化により、急激な冷却のため表面の凹凸が大きくなり、膜表面の平坦性が問題となる。CW(連続発振)モードの BLDA によれば、Si 膜表面の平坦性は改善される。Ar ガスと原子半径がより小さい Ne ガスを用いて、ガラス上に RF スパッタ法により、Si 薄膜の試料を準備した。製膜パラメータとして、ガス圧力、RF パワーが大きく結晶化に影響することがわかった。現製膜条件での Ne ガスによるスパッタでは、Si 膜中に(7-10at%)の Ne が取り込まれていることが、EDX (Energy Dispersive X-ray spectrometry)解析により定量化できた。製膜条件を詰め、結晶化に有利な(高いパワーでの照射が可能な)条件抽出の検討を行った。その結果、ガス圧、RF パワーが重要であることがわかった。Ne による製膜の方が Si 膜中に不活性ガスが多く含有されるが、Ar より原子半径が小さく原子番号が少ない(質量数が少ない)Ne は BLDA 後、膜から出ていきやすく結晶化には有利なことが確認された。

さらに、薄い(100 μm)フレキシブルなガラス基板に対して、スパッタ法で Si を製膜して BLDA を施すと、厚い(800 μm)ガラス上の場合と同様に、良好な結晶化が生じ、隣原子が有効に活性化され、電気的特性(抵抗率)も同様に低下した。このとき、薄いガラス上においては、平坦性が厚いガラス上の場合よりも優れることが AFM 解析により確認された(図 2-2-3、2-2-4)。AFM 像から、5W 以下の条件では、薄いガラスの場合、3nm 以下に抑えられている。スパッタ膜の場合、面荒れは製膜条件に大きく影響されるが、ブルーレーザを用いてレーザパワーを調節すれば、コントロールすることができた。

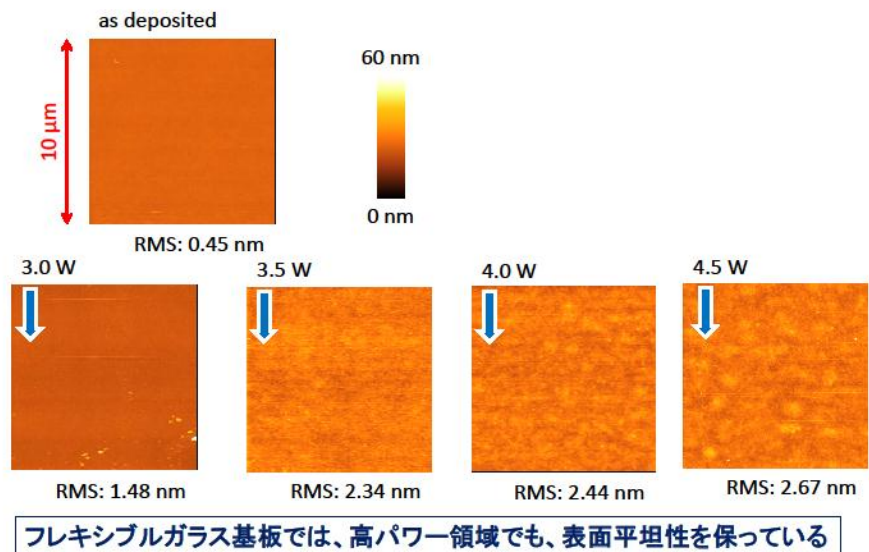


図 2-2-3 薄ガラス上 a-Si 膜に対する BLDA 後の AFM 像（表面平坦性）

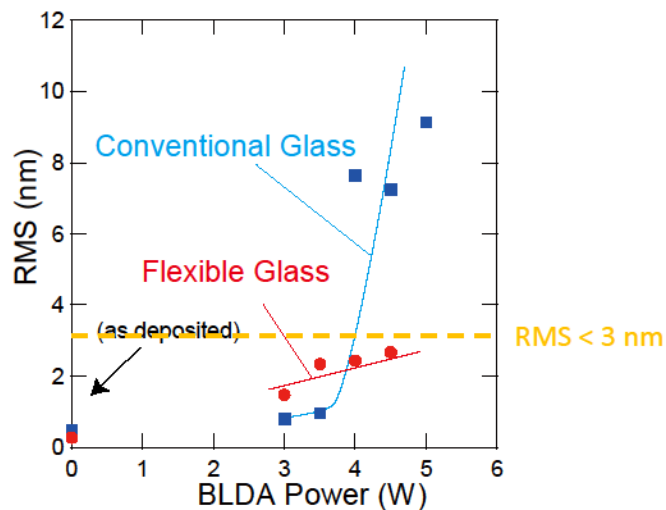


図 2-2-4 2つのガラス上 Si 膜の表面平坦度 (RMS 値) の比較

③ アニール基板評価方法(シリコン結晶化状態)の検討と検証

CW とパルスと比較すると、結晶化の観点からは、パルスモードは不均一の問題があり、結晶化における長所は出しにくい。しかし、紫外光を使うエキシマレーザのようにパルスの時間幅をより短くできれば、融点が低いプラスチック上のアニールにおいては、パルス照射の方が、より低温化アニールが可能であり、低温結晶化としては有利となる。

PECVD 法で製膜された厚さ約 40nm の Si 膜は、BLDA 後は膜の結晶性が非常に優れることが、分光エリプソメトリ法により分かった。そこで、4 探針法によりシート抵抗を測定すると、図 2-3-1 に示すように、レーザーパワーの増加に対して著しく低下した。7W 以上のパワーに対しても膜は、安定した結晶化が実現され、100 ohm/□以下の著しく低い値が得られた。正確には P(燐)原子の含有量を調べる必要があるが、BLDA の効果で、4 配位の共有結合である Si ネットワークが実現され、ドーパントは有効に配位し高い活性化率であると推測される。

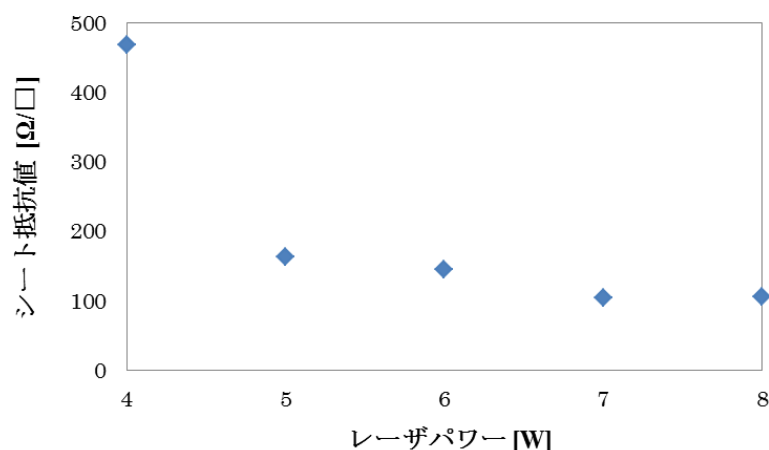


図 2-3-1 シート抵抗の BLDA パワー依存性

電気的評価を有効におこなうため、TFT マスクを作製した。2.5 インチサイズで 5 ミクロンが最小寸法であり、TFT 素子の他、横方向(光センサー)ダイオード素子なども試作評価が可能である。WET(溶液)プロセスによるリソグラフィーの検討をすすめた。TFT のプロセス検証としての予備試作として RTA(高温短時間アニール)により結晶化を行い、素子試作し、良好な TFT 特性を確認した。次に BLDA 結晶化による Si TFT の試作評価を行った。

図 2-3-2 は、BLDA により得られた微小粒径の Si 膜に対して作製した TFT 特性である。すべて CVD を用いずに、真空蒸着とスパッタ法により、150°C 以下のプロセスで行った。キャリア(電子)の実効移動度は、 $\sim 10 \text{cm}^2/\text{Vs}$ であり、有機 EL 駆動には十分と考えられる。さらに BLDA のパワーを上げて 5W で結晶化した膜で作製した TFT を図 2-3-3 に示す。ゲート絶縁膜は SiO_2 であるので、水素化すると電流がさらに高くなり、高い移動度 ($> 50 \text{cm}^2/\text{Vs}$) の特性が得られた。高解像度の液晶パネルのみならず有機 EL 画素駆動に期待される。

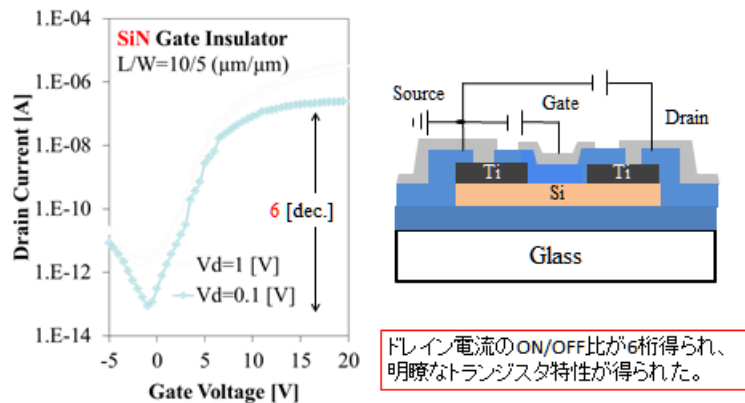


図 2-3-2 BLDA(4W) により結晶化(微小粒径)した TFT 特性と断面構造

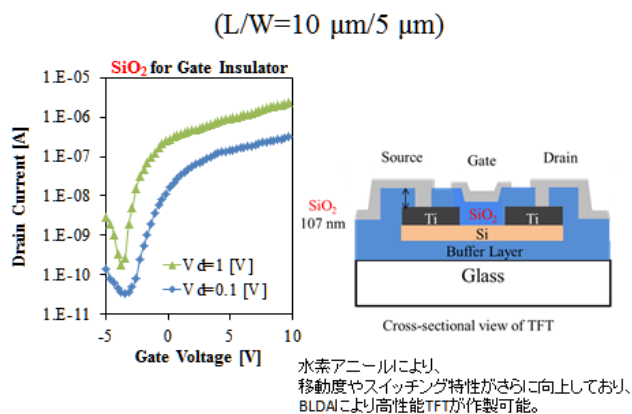


図 2-3-3 BLDA(5W)により結晶化(中粒径)した TFT 特性と断面構造

④ 新プロセス事業化のための調査

蒸着技術やインクジェット技術を使う有機 EL (Electro Luminescence) は、半導体リソグラフィ技術を使う LTPS-TFT (Low Temperature Poly-silicon-Thin Film Transistor) 技術と比べると、高精細化において圧倒的な差がある。有機 EL は 500ppi 以上になると LTPS-TFT に追従できていない。有機 EL は材料の寿命がまだまだ問題であり、長時間使用されるテレビなどでは余計に難しくなる。一方、蒸着方式では極薄な有機多層膜のリペアは難しいので、液晶に比べて歩留まりが大きく低下する。有機 EL パネルの膜封し技術も未完成であり、電力消費は液晶よりも大きい。画面の大きさや応答速度など表示性能では殆ど差がなくなった液晶パネルと有機 EL ではあるが、コストや耐久性において液晶パネルの優位性が高い。世界的にスマートフォンの急激な普及により、LTPS-TFT パネルも拡大の一途をたどっており、この傾向はますます強まっている。今後の大きな伸びが予測されるタブレット市場も加えると、

LTPS-TFT パネルの未来は明るいと言える。日本においては、部品供給者として如何にして LTPS 技術の優位性を保っていくかがキーポイントの一つである。

第 3 章 全体総括

平成 23-25 年度の研究開発成果

スマートフォンおよびタブレットの表示器に使用される液晶ディスプレイや有機 EL ディスプレーは、より高精細、低価格なものが求められている。現在、アモルファスシリコンを結晶化させるために用いられている低温ポリシリコン(LTPS)技術は、熱源としてエキシマレーザを使用しており、結晶粒径の制御が困難なこと、装置価格や装置維持費が高いことが問題となっている。

エキシマレーザに代わる熱源として、エキシマレーザとほぼ同等の吸収特性を持ち、連続波(CW)の青色レーザダイオード(青色 LD、400~475nm)を用いることにより、エキシマレーザの問題点の解決を図った。ブルーレーザのアニールにより、表面の微小な突起を抑制して、表面を平坦化することができた。また、照射エネルギー密度を変えることにより、微結晶から大粒径まで、用途に応じた粒径が作られることを確認した。

入手可能で最大出力が 1.6W の青色 LD を 21 個用いて、下記に示す 2 つの異なったタイプの光源ヘッドを開発した。レーザ光をこれらのヘッドによって光学系へ導入し、縦横比の大きなライン状のビームを形成した。表 3-1 は、2 つのタイプの光源の仕様と出力を示す。図 3-1 に作製したブルーレーザアニール(BLDA)装置を示す。ビームを X-Y-Z ステージ上の a-Si 基板に照射し、分光エリプソメトリ法とラマン法にて a-Si の結晶化を確認した。これら 2 つの手法を組み合わせることにより、必要な出力と必要な長さのライン状ビームを形成することが可能となる。

タイプ 1 ファイバーの 1 本化

青色 LD に取り付けられたピグテールを複数個束ねて、1 本の光ファイバーにした。

タイプ 2 ファイバーアレイによるラインビームの形成

束ねられた光ファイバーを並列に配置して、必要な長さのラインビームを形成した。

表 3-1 ブルーレーザアニール(BLDA)装置の仕様と出力

	仕様	LD 出力 W	集光後出力 W	ビームサイズ um	パワー密度 W/mm ²
1	1 本ファイバー + 50 倍対物レンズ	21	7.5	100 x 30	2,500
2	ファイバーアレイ + 20 倍対物レンズ	23	16.6	550 x 10	3,018

BLDA 装置の開発と平行して、既存のブルーレーザアニール実験装置を用いて、素子を作製し、結晶性と平坦性の関連を調べ電気的な評価から、BLDA が有効であることを実証した。また、開発した BLDA 装置でも結晶化が可能なことを確認した。プラスチック上に作るフラットパネルディスプレイの実現のために、スパッタ法により、ガラス上に 50 nm 厚の Si 膜を製膜し、445 nm の青色レーザビームを 500mm/sec でスキャンさせた。照射出力を調節することにより、小粒径から大粒径の平坦で有効な結晶化が実現できた。P(磷)ドープ膜では、結晶性が向上するにつれて電気伝導度が著しく増加し、良好な TFT 特性が得られた。本プロセスにより、プラスチック上に低コストで成膜が可能であり、高性能なフレキシブルパネルの実現が期待できる。

研究開発後の課題・事業化展開

TFT のアニールプロセスに求められる必要な要素は、高エネルギーを持つ光源と、光源から出た光のビーム形成である。光源については、本研究開発の成果から一定の目途がついた。長尺比率が高く、必要なエネルギー密度を持ち均一なビームを形成するためには、専用設計された光学系が必要となり、経験のある大手装置メーカー等と連携して開発を進める。

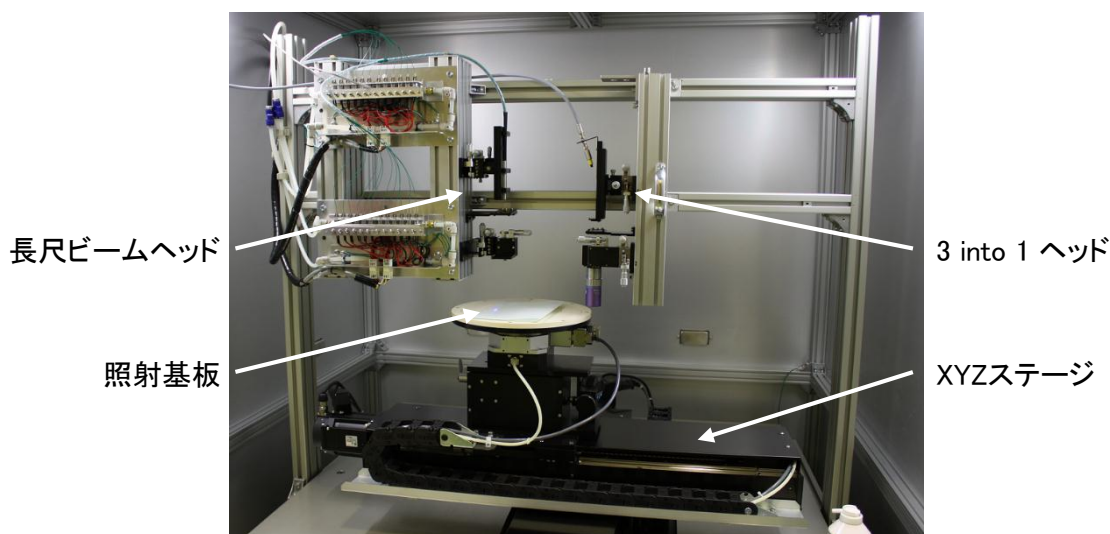


図 3-1 ブルーレーザアニール(BLDA)装置