

(論文)

低温ポリシリコンTFTプロセスにおける結晶欠陥の評価 - ライフタイム測定技術の応用 -

Crystallinity Evaluation in Low-Temperature-Poly-Silicon TFT Manufacturing Process - Application of Lifetime Measurement -



住江伸吾*(工博)
Dr. Shingo Sumie



山下圭三*
Keizo Yamashita



尾嶋 太*
Futoshi Ojima



高松弘行***(工博)
Dr. Hiroyuki Takamatsu

A novel system for evaluating the crystallinity of LTPS thin films has been developed using the μ -PCD (Microwave-Photo-Conductivity Decay) technique. Peak level analyses of reflected microwave intensity confirmed the characteristics, which influence TFT quality, such as optimum energy for the laser annealing process, anisotropic grain formation resultant from the SLS method, dangling-bond termination effects caused by hydrogen treatment, and ion-doping induced defects. It was also found that differential mapping software was very useful for identifying abnormal equipments.

まえがき = 携帯電話・情報端末・ノートパソコンなどのモニタ画面に用いられているフラットパネルディスプレイ (Flat Panel Display: FPD) には、多くの文字や緻密な画像を室外でも見やすく表示する必要があるため、高精細・高輝度・低消費電力が求められている。低温ポリシリコン (Low Temperature Poly Silicon: LTPS) により作成した薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor: TFT) は、活性領域の移動度が高くサイズを小さくできるため、表示密度の大きな高精細パネルの製作が可能であるとともに、光の透過面積が大きくなるため、高輝度・低消費電力化が容易になる。さらに、アモルファスシリコン (a-Si) TFT では、外付けしていた駆動回路などをパネル内に形成できるため、システムオンガラス (SOG) としての期待も高い。従って、LTPS-TFT を用いた液晶や有機 EL (Electro Luminescence) の FPD は、デジタルカメラなどの AV 機器・携帯電話を含めた情報端末・高精細ノートパソコン用の中小型パネルを中心に需要が増加している¹⁾。

LTPS-TFT の製造プロセスでは、a-Si にレーザを照射してアニールする処理や、残留している欠陥を水素で不活性化して結晶性を高める処理が必要であるが、結晶性はそれぞれの処理条件の変動により大きく影響される。その結果、しきい値電圧などのばらつきが増大をもたらすし、パネルの品質や歩留まりに大きな影響を及ぼす。LTPS 薄膜の結晶性の向上や汚染の低減、並びに絶縁膜との界面の品質確保は量産のキーテクノロジーであり、レーザアニールや絶縁膜の成膜プロセスなどの各段階における結晶性や界面評価が重要である¹⁾。レーザアニール効果の確認のため、SEM 写真による結晶粒サイズの観察が行われることがあるが²⁾、定性的である上、移動

度に直接関与する点欠陥の密度やダングリングボンドの状態を把握することはできない。我々は、マイクロ波光導電減衰法 (Microwave-Photo-Conductivity Decay: μ -PCD³⁾) を応用して、LTPS 薄膜や絶縁膜との界面における上記の欠陥状態を調べることのできる新しい評価装置を開発した。本稿では、測定原理と装置構成、及び LTPS-TFT の製造工程における結晶性の評価例について紹介する。

1. μ -PCD 法による LTPS 薄膜の結晶性評価の原理

シリコン (Si) に光を照射すると過剰キャリア (電子・正孔) が注入 (生成) され、再結合して消滅する。消滅するまでの平均的寿命はライフタイム (τ) と呼ばれ、試料の物理的特性によって決まる時間である。過剰キャリアの生成は抵抗率を減少させるため、同位置に照射しているマイクロ波の反射率は過剰キャリアの密度に比例して変化する。 μ -PCD 法は、マイクロ波の反射率の時間変化から、試料の結晶状態を反映するライフタイムを非接触・非破壊で測定する方法である。

Si 中に存在する欠陥が過剰キャリアを捕獲する時間は、式 (1) によって表される⁴⁾。

$$n_0 = \frac{1}{n\nu N_t}, \quad p_0 = \frac{1}{p\nu N_t} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 n_0 と p_0 はそれぞれ電子と正孔の捕獲時間、 n と p はそれぞれ電子と正孔の捕獲断面積、 ν はキャリアの熱速度、 N_t は欠陥の密度である。

過剰キャリアの注入密度が多数キャリア密度に比べて小さい (低レベル注入) とき、

$$\left. \begin{aligned} n_b = n_0 = p_0 \text{ (n型シリコン)} \\ n_b = n_0 = n_0 \text{ (p型シリコン)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

* 神戸製鋼 電子技術研究所 ** 技術開発本部 *** 電子技術研究所

であり、それぞれの導電型における少数キャリアのライフタイムとなる⁴⁾。

一方、高レベル注入では、

$$n = n_0 + p_0 \dots\dots\dots(3)$$

となる。

(2)と(3)の間では、

$$n = \frac{n_0 + p_0}{1 + \dots\dots\dots(4)}$$

と表すことができる⁴⁾。ここで n は注入割合 (過剰キャリア密度と多数キャリア密度の比) である。いずれの場合にも n は欠陥の密度 N_t に反比例するので、 n の測定により Si 中の欠陥や混入した金属汚染などを評価することができる。

図1は、光の波長とSiへの侵入深さの関係を表している⁵⁾。厚さが約50nmのLTPS薄膜中に過剰キャリアを有効に生成するためには、光の侵入深さを膜厚より浅くする必要がある。波長が350nm程度のレーザー光であれば、侵入深さは約10nmでLTPS薄膜にすべて吸収されるため、 μ -PCDによるLTPS薄膜の結晶性評価に適している。

図2は、Siの抵抗率をパラメータとしたときのマイクロ波 (周波数26GHz) の反射率とSiの厚さの関係を示している。フレネルの反射理論⁶⁾を用いて計算したものである。一般に、Si薄膜の上下面での多重反射による干渉のため、マイクロ波の反射率はSi膜厚に対して単調に変化せず、特に抵抗率が高いときにはキャリアによるマイクロ波の吸収が少ないため、膜厚とともに周期的に変動する(図2(a))。しかし、Si膜厚がマイクロ波の波長に比べて十

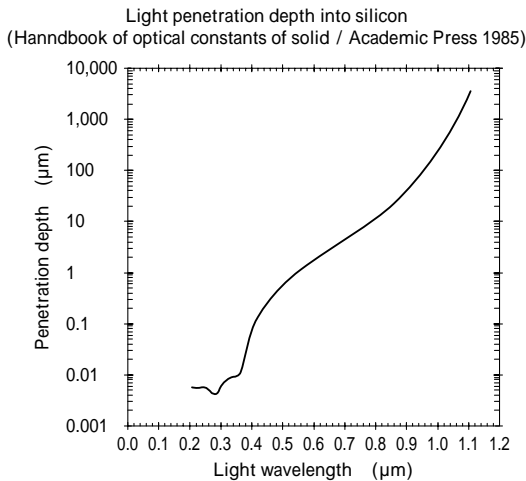


図1 光の波長とSiへの侵入深さの関係

Fig. 1 Relation between light penetration depth into silicon and light wavelength

分薄くなると、干渉の影響が無視できる程度に小さくなるため、反射率は膜厚に比例して増加する(図2(b))。

表1には、直径が200mmのSiウェーハの厚さである725 μ mと、LTPS薄膜の代表的な厚さである50nmについて、反射率の値を整理して示した。厚さ725 μ mではキャリア数が多いため、反射率そのものの値及び200 Ω ・cmからの増加分も大きいですが、50nmになると、両者とも極端に小さくなり、増加分で比較すると数%以下になる。従って、LTPS薄膜の結晶性を μ -PCD法で評価するためには、バルクウェーハ用の装置に比べて100倍以上

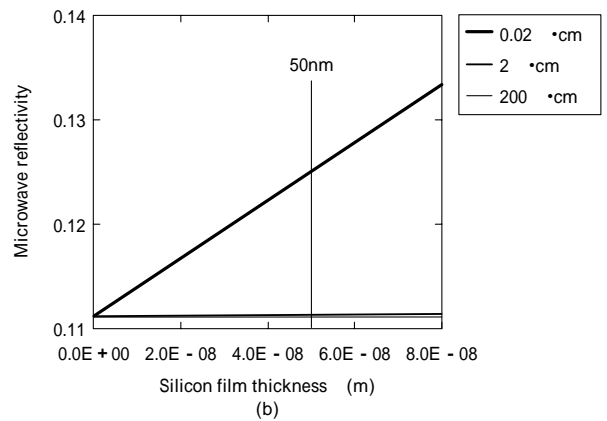
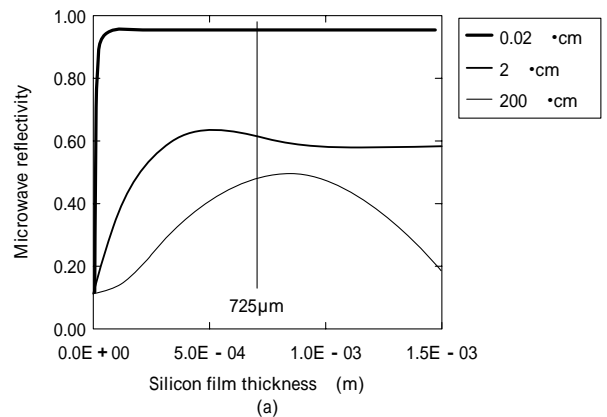
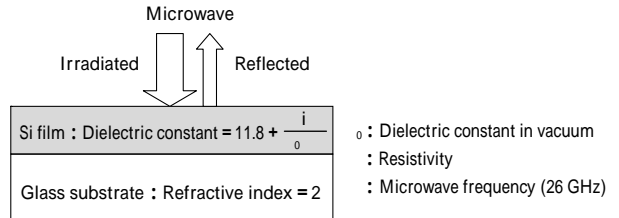


図2 種々の抵抗率の試料におけるマイクロ波の反射率と試料厚さの関係

Fig. 2 Relation between microwave reflectivity and silicon film thickness for various resistivity

表1 Si薄膜の抵抗率とマイクロ波の反射率の関係 (厚さ725 μ mと50nmについて整理)

Table 1 Dependence of microwave reflectivity on Si-film resistivity (calculated results for thicknesses of 725 μ m and 50nm)

Resistivity (Ω ·cm)	Silicon thickness (m)			
	725 $\times 10^{-6}$		50 $\times 10^{-9}$	
	Reflectivity	Reflectivity increase from 200 Ω ·cm	Reflectivity	Reflectivity increase from 200 Ω ·cm (ratio to 725 $\times 10^{-6}$)
0.02	0.9530	0.4668	0.1250	0.0139 (3%)
2	0.6114	0.1252	0.1125	0.0014 (1%)
200	0.4862	-	0.1111	-

の感度向上が必要である。

τ_b は試料の結晶性にのみ依存する物理量であるが、 μ -PCD 法を含む現実のライフタイム測定系により得られた1次モードライフタイム (τ_1) は、表面で過剰キャリアが再結合して消滅する現象(表面再結合)を含むため τ_b より短くなる。表面再結合の程度を表す量である表面再結合速度 (S) が、拡散定数 (D) と試料の厚さ w の比より十分に小さいとき、 τ_1 と τ_b の関係は(5)式で表される⁷⁾。

$$\frac{1}{\tau_1} = \frac{1}{\tau_b} + \frac{2S}{w} \left(S \frac{2D}{w} \right) \dots\dots\dots(5)$$

バルクウェーハの結晶性をライフタイムにより評価する場合には、1,000 程度の高温に数~十数分晒して表裏面を熱酸化膜で覆う方法が用いられている。熱酸化膜の形成により S を 20cm/s 程度に抑制することができることに加えて、 w も数百 μ m 程度と大きいため、 τ_1 と τ_b は比較的近い値になる。ところが、LTPS 薄膜では、ガラス基板の特性上高温環境に置くことができない、すなわち熱酸化膜を付けることができないため、界面再結合速度 S は数万 cm/s と非常に大きくなる⁷⁾。更に、厚さが数十 nm と極めて薄いことから、 τ_1 は著しく短くなる。例えば、 $\tau_b = 1 \mu$ s、 $S = 20,000$ cm/s、 $w = 50$ nm のとき、 $\tau_1 = 125$ ps であり、このように短いライフタイムを直接的に高精度で測定することは困難である。

レーザを照射している最中の過剰キャリア密度 n の変化は、キャリアの拡散を無視すると(6)式で与えられる。

$$\frac{d n}{d t} = g - \frac{n}{\tau_1} \quad (n=0 \text{ at } t=0) \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 g 及び n/τ_1 は、それぞれ過剰キャリアの注入速度と消失速度を表している(速度は単位時間あたりの密度変化)。 n の最大値をピーク値 ($Peak$) とすると、ピーク値はレーザのパルス幅 t_0 を用いて(7)式で表される。

$$Peak = n_{max} = g \tau_1 \left(1 - \exp\left(-\frac{t_0}{\tau_1}\right) \right) \approx g \tau_1 \quad (\tau_1 \ll t_0) \dots\dots\dots(7)$$

上記のように、LTPS 薄膜では、 τ_1 は数百 ps 以下であるため、 t_0 が数 ns より長いレーザを用いて測定したマイクロ波反射率の最大値は、結晶性を反映する τ_1 に比例することになる。 τ_1 がこのように短いときには、ピーク値の測定精度は τ_1 を直接測定するよりはるかに高い。従って、ピーク値は LTPS 薄膜の結晶性の評価に適していて、ピーク値が高いほど結晶性が良いことになる。図3は、式(6)(7)で示したレーザ照射中の n の変化の様子を表している。過剰キャリア密度が増加して消失速度が増え、注入速度に等しくなったときに、 n は一定の値(ピーク値)になる。

レーザにより生成された過剰キャリアにマイクロ波が照射されると、過剰キャリアはマイクロ波の電界方向に振動して同じ周波数の電磁波を放出する。このとき、過剰キャリアが動きやすいほど振動振幅が大きくなるため、放出する電磁波(反射マイクロ波)の強度は大きくなる。

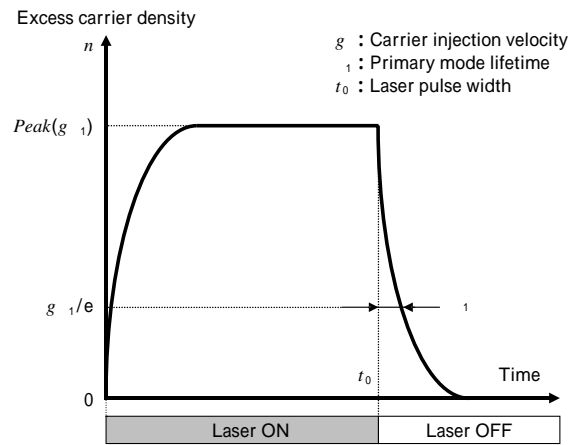
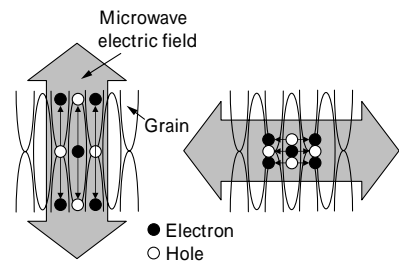


図3 ピーク値による結晶性の評価
Fig. 3 Crystallinity evaluation using peak level



	(a) Parallel	(b) Perpendicular
Carrier oscillation amplitude	Large	Small
Microwave reflectivity	Large	Small

図4 マイクロ波の電界方向制御による異方性の評価
Fig. 4 Evaluation of anisotropic grain by controlling microwave electric field direction

図4に示すように、レーザアニールプロセスでp-Si 結晶粒の形状に方向性(異方性)が生じた場合、マイクロ波の電界方向が結晶の長軸方向に平行なとき(図4(a))には、垂直なとき(図4(b))に比べて過剰キャリアが動きやすいため、反射率変化が大きくなる。従って、照射マイクロ波の電界方向を制御することにより、結晶異方性の度合いを評価することができる。

2. 測定装置の構成

図5に、LTPS 薄膜の結晶性評価装置の構成を示す。前述のように、LTPS 薄膜の結晶性を評価するには、過剰キャリア注入によるマイクロ波の反射率変化を高感度に検出する必要がある。そこで、マイクロ波検出系に、バルクウェーハ用の μ -PCD 法に比べて約 500 倍の S/N 比を有する差動 μ -PCD 法を用いた⁷⁾。ガンダイオードにより発振された周波数 26GHz のマイクロ波は、方向性結合器を通過してマジックティーにより信号用導波管と参照用導波管に分岐される。参照用導波管から放射されたマイクロ波は、試料の自由キャリア密度で決まる抵抗率に基づいた反射率で反射される。

一方、信号用導波管には半導体レーザ励起 YLF 3 倍高調波パルスレーザ光(波長 349nm, パルス幅数十 ns)を導き、試料上にビーム径 1.5mm で繰返し照射することができる。照射されたレーザ光は LTPS 薄膜の表層約 10nm で吸収されて過剰キャリアを生成し、生成と消滅

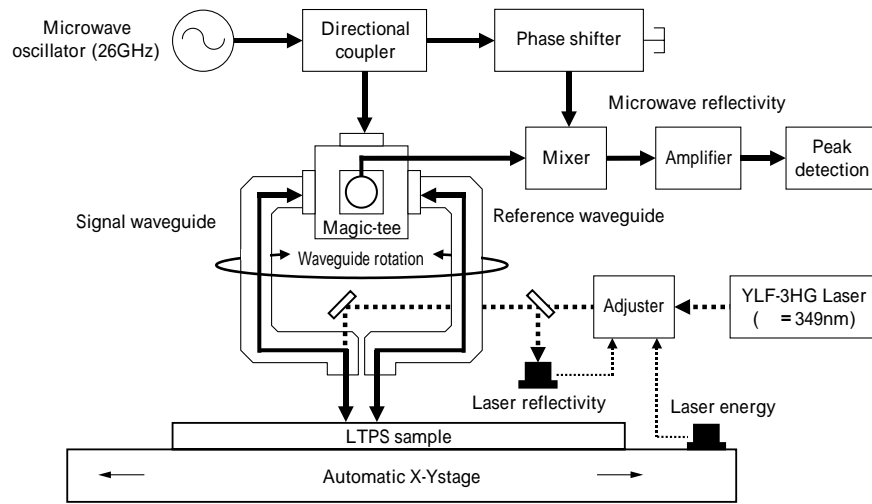


図5 LTPSの結晶性評価装置の装置構成
Fig. 5 Configuration of LTPS crystallinity evaluation system

の速度が等しくなると飽和して一定の値（ピーク値）に落ち着く。

過剰キャリアは拡散により 1ps 以内に薄膜の裏面に達し⁷⁾、これはレーザーの照射時間より十分短い時間であるため、ピーク値は薄膜の深さ方向全体の物理的性質を反映することになる。過剰キャリアの生成は抵抗率を減少させるため、信号用導波管から放射されたマイクロ波の反射率は増加する。試料で反射された信号及び参照マイクロ波は再び元の導波管を通過してマジックティーに戻り、それぞれの強度の差がミキサに送られ、位相調整したマイクロ波と混合されて反射率信号になる。このように、差動 μ -PCD 法はレーザー光の照射による試料の抵抗率の変化分のみを抽出する手法であるため、マイクロ波発振器のノイズや機械的振動による外乱をキャンセルでき、過剰キャリア注入による LTPS 薄膜の僅かな反射率変化を高い S/N 比で検出することができる。

LTPS 薄膜の結晶性を評価する際は、エキシマレーザーアニール直後のようにポリシリコン(p-Si)がむき出しになっている場合だけでなく、SiO₂ や SiN などの CVD プロセスを経て表面がゲート絶縁膜・層間絶縁膜・パッシベーション膜などに覆われていることがある。絶縁膜の存在により励起光の干渉が生じるため、LTPS 薄膜で吸収される光量が変化する。そのため、反射光量をモニタして吸収光量が一定になるように光量調節する機能を有している。更に、差動導波管を回転できる機構を備えていて、試料に対してマイクロ波を任意の電界方向で照射できるため、回転角度とピーク値の関係から結晶粒の異方性を把握することができる。

試料基板は、外付けあるいは内蔵の基板搬送ロボットにより、自動 X-Y ステージ上に設置される。730 × 920mm サイズの基板をピッチ 10mm でマッピングする場合、通常モードでは 10 分以内、注入量補正を行うときには 20 分以内で測定することができる。

3. レーザーアニールによる結晶化の評価

多結晶化の方法には、大別してレーザーアニール法と固相成長法があるが、後者は長時間を要する。従って、量

産段階の LTPS-TFT に用いられているほとんどの p-Si 薄膜は、ガラス基板上にプラズマ CVD (PECVD) 法で成膜されたプリカーサとしての a-Si 薄膜に、吸収の大きな波長 308nm の XeCl エキシマレーザービームを線状に整形して、ステップ状に移動させながら多重照射することにより作成される (Excimer Laser Annealing: ELA)⁸⁾。a-Si が溶融するエネルギーを投入することで結晶化が始まるが、エネルギーが小さいと膜の上層しか結晶化せず、粒も小さい。照射エネルギーの増大に対応して結晶粒径が大きくなり、a-Si 薄膜全体が溶融して再結晶化するときには最大粒径となる。それ以上にエネルギーを増やすと、Si の固化温度以下になっても溶融状態のまま、さらに温度が下がると突然固化が始まる過冷却状態に移行するため、粒径の小さな結晶が急激に増えるようになる¹⁾。このように、LTPS 薄膜の結晶性はレーザーエネルギーと強い相関があるが、一般にエキシマレーザーの出力の安定度は不十分である上、長軸 (ライン) 方向のビームプロファイルは長時間使用すると不均一になるため、大面積にわたって LTPS 薄膜の結晶性を確保することができないことが多い。従って、ELA 後にパネル全体の結晶性をモニタする必要がある。

図 6 は、ELA 装置でエキシマレーザーの照射エネルギーを変化させながらアニールした LTPS 基板の測定結果である (元の a-Si 薄膜の膜厚は 50nm で、他の試料もすべて同じ)。マップでは、赤色はピーク値 (結晶性) が高く、青色は低いことを表している。(a)、(b)とも、マップの X 軸に沿って照射エネルギーが増えるとピーク値が増加し、最大値を取った後急激に減少することがわかる。この結果は、前記の結晶粒径の変化と良く一致している。Y 軸方向の分布を見ると、(a)では ELA エネルギーが小さいときには中央部のピーク値が低く、エネルギーが増加すると逆転するという結果が得られた。これは、ラインビームの長軸 (マップの Y 軸) 方向のプロファイルが不均一で、中央部のエネルギー密度が低い (凹型) ことに起因していると考えられる。(b)では (a)と逆に、ラインビーム中央部のエネルギー密度が周辺より高くなっている (凸型)と思われる。

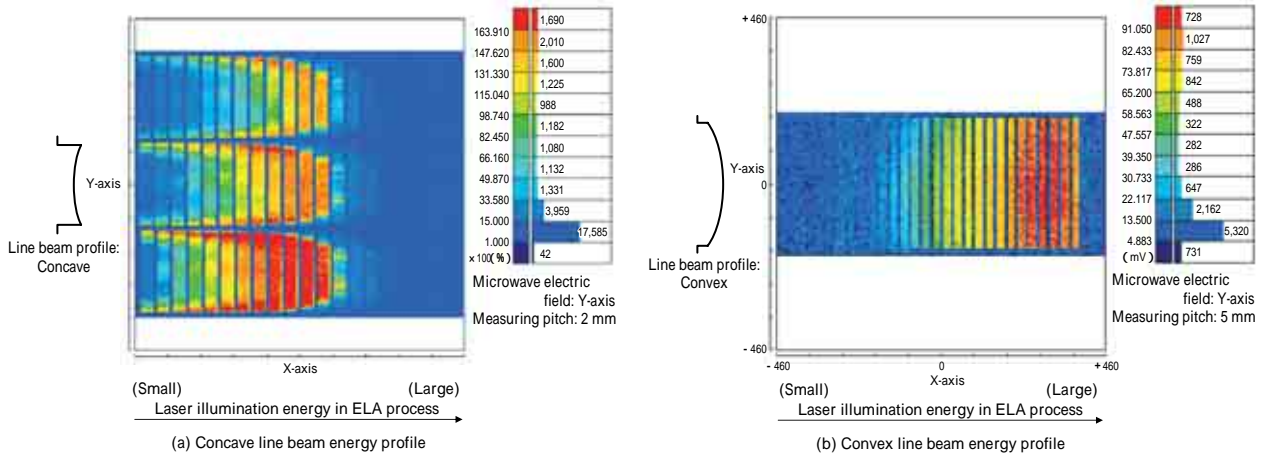


図 6 ELA の照射レーザーエネルギーを変化させた試料のピーク値のマップ
Fig. 6 Peak level map of LTPS crystallized with different excimer laser energy in ELA process

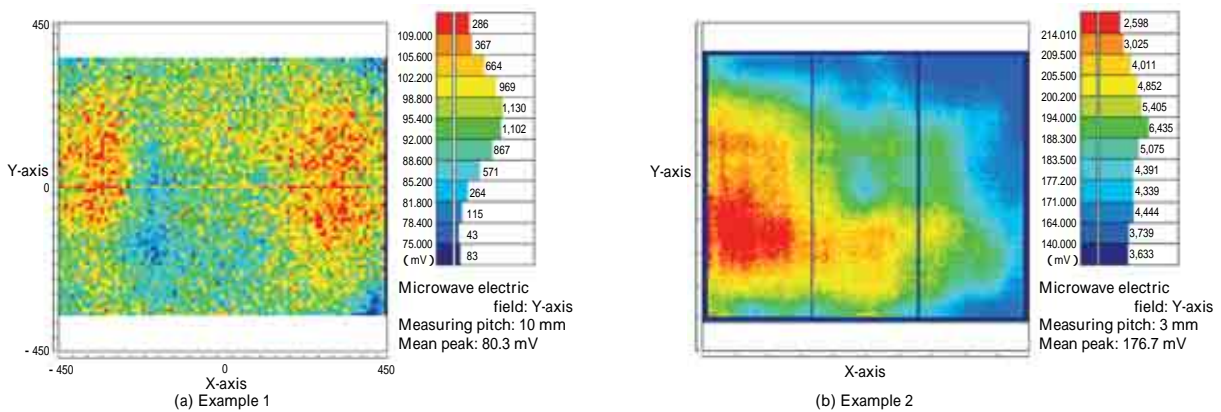


図 7 ELA 後のピーク値のマップ
Fig. 7 Peak level map of LTPS crystallized by ELA

図 7 は、量産されている LTPS パネル用基板 (730 × 920mm) に結晶化のための ELA を行った試料の測定結果である。(a) に現れている中央の横線は、ELA スキャン (X 軸方向) を 2 回行った際にラインビームが重なった部分で、エネルギーの過剰注入により結晶性が悪くなっている。また、基板の四隅にピーク値の低い領域があるのは、フッ酸のスパイン洗浄による a-Si 薄膜表面の自然酸化膜の除去が不十分であったことにより、ELA の際にエキシマレーザー光の干渉が生じ、a-Si 薄膜に到達するエネルギーが最適値からずれて、結晶性が向上しなかったことが原因と考えられる。(b) では、ELA スキャン (Y 軸方向) を 3 回行っているため、ラインビームの重なりにより結晶性が劣化した縦線が 2 本生じている。ピーク値に生じているムラは、a-Si 薄膜の厚さ変動に起因していると考えられる。

ELA を応用して大粒径の p-Si を形成する方法として、SLS 法 (Sequential Lateral Solidification³⁾) が提案されている。レーザーと試料間に装着したマスクを利用して、既に結晶化した領域から次の結晶化が始まるように働くため、レーザーショットを繰返すだけで結晶を長くできるという特徴を有している。量産プロセスで実用的なスループットを実現できる 2 ショット SLS³⁾ により、エネルギーを変化させながら結晶化した試料について、結晶粒の長軸方向とマイクロ波の電界方向を平行 (parallel 配置) 及び垂直 (perpendicular 配置) にしてピーク値を測定し

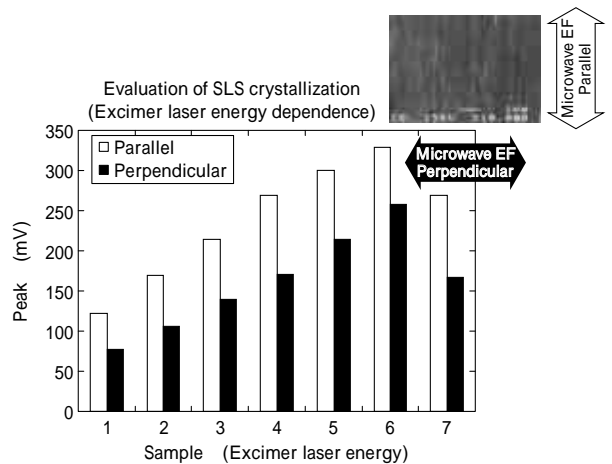


図 8 SLS による結晶化試料のピーク値測定結果 (アニールエネルギーと結晶異方性の影響)
Fig. 8 Peak level measured results for LTPS crystallized by SLS (influence of excimer laser energy and direction of anisotropic grain)

た。パネル全面のピーク値の平均値とエネルギーの関係を図 8 に示す。どのエネルギーにおいても、parallel 配置の方が perpendicular 配置よりピーク値が高く、その比率は同程度であった。これより、SLS で形成された p-Si 結晶粒の縦横長さ比率 (アスペクト比) は、エキシマレーザーのエネルギーによらずおおむね一定であると考えて良い。エネルギーが増加するとピーク値は増加し、最大値を示した後急激に低下するのは、通常の ELA と同様であ

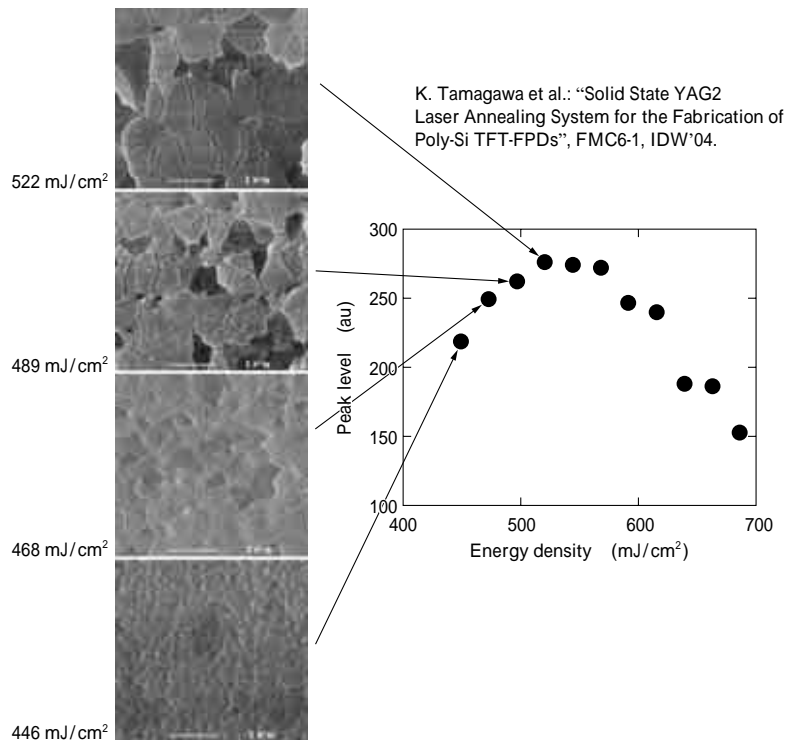


図9 YAG2 レーザアニールのエネルギー密度による結晶サイズとピーク値の関係
 Fig. 9 Relation between grain size and peak level of LTPS crystallized by YAG2 laser annealing system

ることがわかった。

エキシマレーザは、紫外線が誘起するレーザ窓の曇りや電極の劣化への対応、及び頻繁なガス交換の必要性から、保守に長時間・高コストを要する。また、僅かなレーザエネルギーの変化に対して移動度が大きく変化する、すなわち、プロセスウインドウが狭いことが問題になっている。これらを解決するために、半導体レーザ励起のNd:YAGレーザの第2高調波(波長532nm)を光源とするグリーンレーザアニール装置が提案されている²⁾。この装置では、可視固体レーザを用いるため保守時間や費用の低減が期待できるとともに、光の侵入深さが大きいことによりa-Si薄膜の深さ方向全体が一挙に溶解して結晶成長するため、結晶性がエネルギー変化に鈍感になり、プロセスウインドウが広くなると言われている。

図9は、グリーンレーザアニール装置でエネルギーを変えながらアニールしたLTPS薄膜について、ピーク値を測定した結果である⁹⁾。図9には、LTPS薄膜のSEM写真も載せた。レーザエネルギーの増加とともに結晶粒径は増大し、ピーク値もサイズを反映して増加することがわかる。また、レーザエネルギーの最適値を超えてからのピーク値の減少割合が小さいことから、広いプロセスウインドウとの関連があると考えられる¹⁰⁾。

4. プラズマCVDを用いた絶縁膜の形成における欠陥不活性化の評価

LTPS-TFTが形成された後、TFTを確実に動作させるために、p-Siの粒界やLTPS薄膜とゲート絶縁膜の界面に水素を注入して、欠陥の不活性化処理(水素ターミネーション)を行う必要がある。プラズマCVD(PECVD)法により成膜した膜中には水素が豊富に含まれているの

で、本来は欠陥となるダングリングボンド(未結合手)を終端化して不活性にすることができる。パッシベーション膜として用いられるSiNを成膜する際には、水素による欠陥の不活性化が同時に行われるため、量産現場でも水素ターミネーションを兼ねる工程として用いられている¹⁾。

図10は、PECVDによるSiNの形成時における水素ターミネーションの効果を調べた結果である(730×920mm)。(a)は通常のピーク値マップであるが、SiN薄膜は300nmと厚いため励起光の干渉が生じて、LTPS薄膜への注入量が変化して、SiNの膜厚変化の影響を受けている。(b)の反射率マップからわかるように、SiN膜厚の違いによる大きな反射率変化(マップ右上と右下は高く、中央から左の領域は低い)が生じていた。反射率は0.1以下から0.5以上まで変化しているため、p-Siへの注入量への影響は無視できない。(c)には、各点の反射率の測定値を用いてLTPS薄膜への注入量が一定になるように励起光強度を調整しながら測定したピーク値マップを示す。反射率マップと逆相関で生じていた(a)の分布は消え、PECVD中のプラズマの形状に近いピーク値分布が得られた。同じ条件でELAのみを行った図7(a)では平均80mVであるのに対し、図10(c)では平均1,800mVという高い値が得られており、水素ターミネーションの効果が歴然と現れていることがわかった。

LTPS薄膜上に形成するゲート絶縁膜には、p-Siの優れた特性を損なわないような高い品質が求められている。LTPS-TFTプロセスではSiO₂が用いられることが多く、TEOS(TetraEthyl OrthoSilicate)やSiH₄+N₂Oを用いたPECVDによって成膜される。CVDにより形成されるため、LSIに用いられている熱酸化膜に比べて界面特性が悪い上、成膜中にプラズマ衝撃が発生する。これら

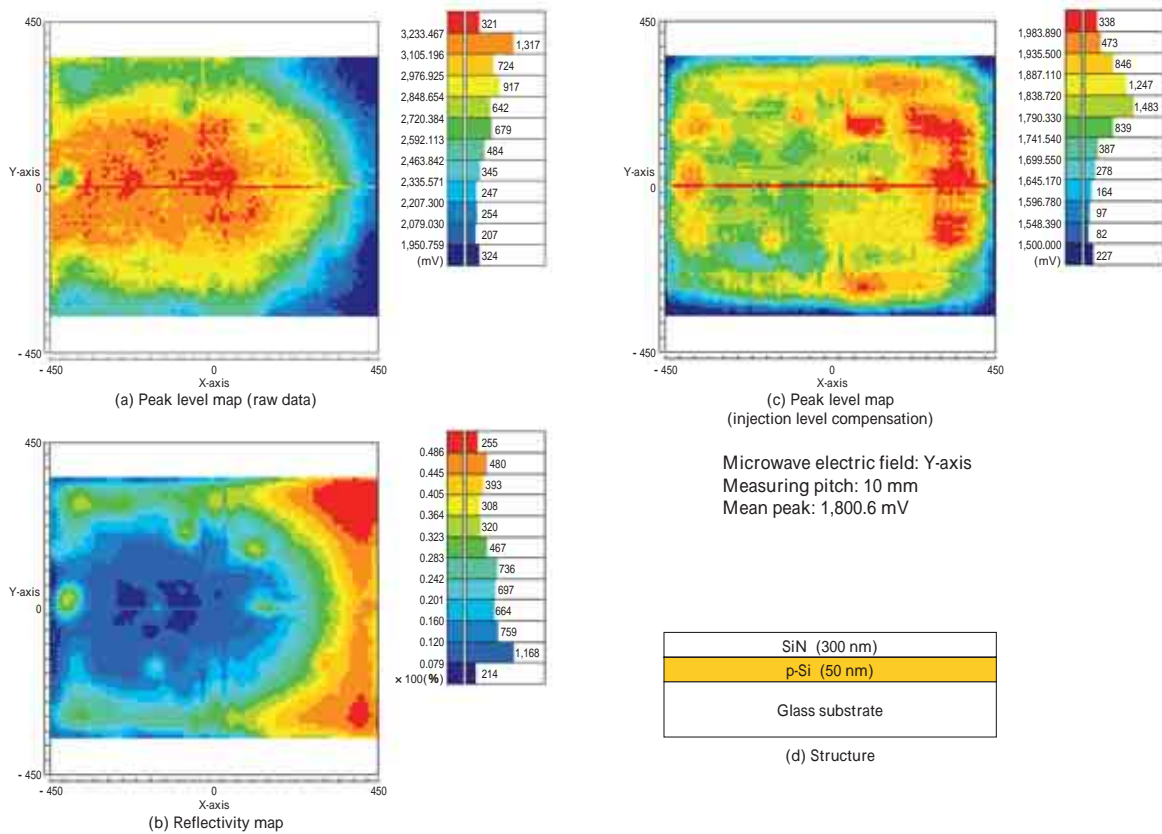


図10 LTPS 薄膜の上に SiN を成膜した試料の測定結果
 Fig.10 Measured results of LTPS with SiN film deposition

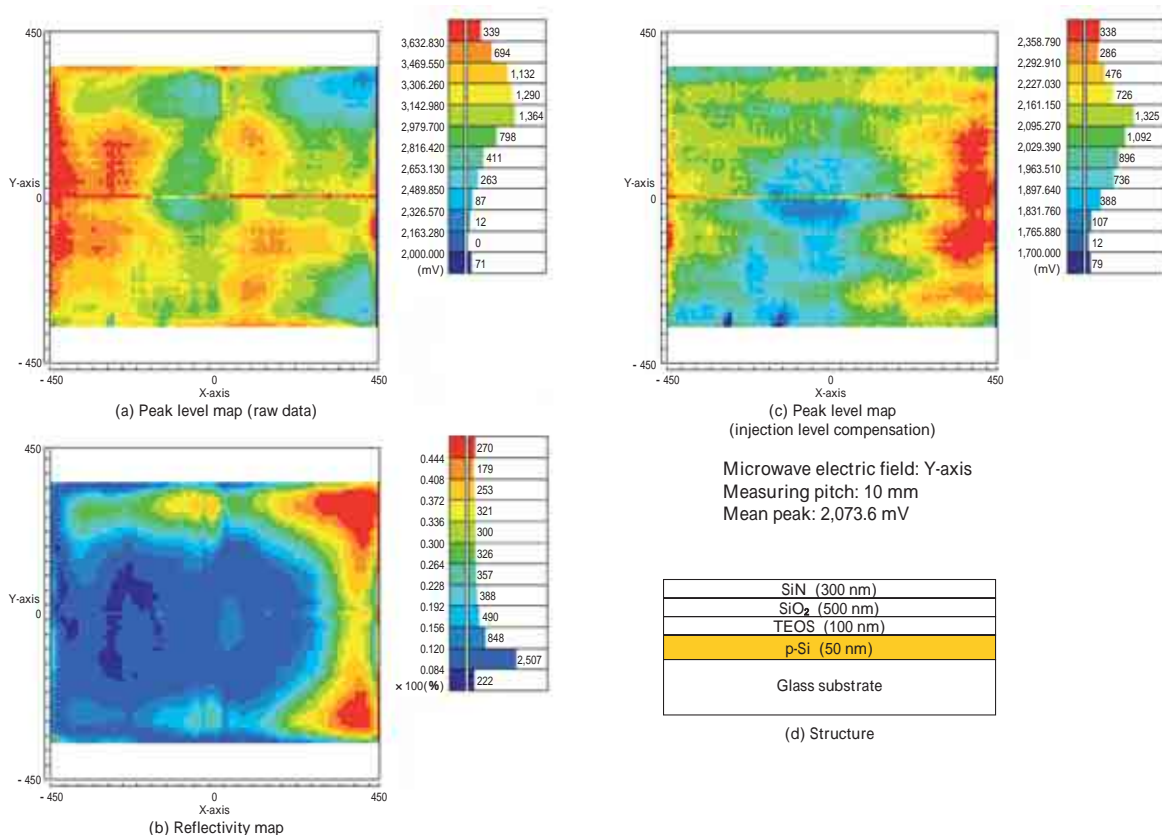


図11 LTPS 薄膜の上に種々の絶縁膜を成膜した試料の測定結果
 Fig.11 Measured results of LTPS with various insulating film deposition

はしきい値電圧や移動度などのトランジスタ特性や素子の信頼性に影響を及ぼすため、SiO₂ 膜と LTPS 薄膜の界面準位密度の低減や、LTPS 薄膜へのダメージを軽減するプロセスの維持が要求されている。

図 11 には、LTPS 薄膜上にゲート酸化膜としての TEOS 膜 (100nm) と、相関絶縁膜としての SiO₂ 膜 (500nm)、保護膜としての SiN(300nm) を順次成膜した試料のピーク値の測定結果を示す(730 × 920mm)。図 10 と同様に、

各点ごとに励起光の p-Si への注入量を補正しながらピーク値を測定した。(b) の反射率マップは図 10 とほぼ同じであるため、共通のプロセスである SiN 膜の CVD 装置にこのような膜厚分布があると考えられる。注入量補正測定のパーク値マップ(c)から、外周部に比べて中央部には欠陥が多く入っていることがわかる。パーク値の平均値は約 2,100mV と図 10 (c) の平均値に比べて高かった。これは、SiN 成膜での水素ターミネーション効果に加えて、TEOS や SiO₂ の成膜時に生じた水素が TEOS/p-Si 界面や LTPS 薄膜中のダングリングボンドを不活性化したためと考えられる。

5. イオンドーピングによる欠陥と成膜プロセスによる回復の評価

LTPS-TFT の製造プロセスには、イオン源から引出した不純物イオンを加速して大面積に一気に、あるいは幅広い長方形のビームにより走査注入するイオンドーピングが必要である。ドーピングのドーズ量としては、チャンネルドープの場合は 5E11 ~ 5E12/cm², Lightly doped drain (LDD) の領域で 1 ~ 5E13/cm², ソース・ドレインでは 1 ~ 5E15/cm² 程度が用いられている¹⁾。

図 12 は、ELA により形成した LTPS 薄膜に対し、チャンネルドープと LDD ドープに相当するドーズ量で不純物をドーピングし、その後、ゲート酸化膜を 2 種類の厚さで形成したときのパーク値の変化である。ELA 直後 (#1) では 97mV を示していたパーク値は、チャンネルドープ (#2) で 17mV に低下した。これは、ドーピングによるイオン衝撃で格子間 Si や空孔などの結晶欠陥が生じたためである。次に通常用いられている厚さのゲート絶縁膜を PECVD で形成すると (#3), 成膜時の温度上昇 (300 ~ 400) による欠陥回復と水素ターミネーションの効果により、パーク値は飛躍的に伸びて 2,019mV となった。通常より薄い絶縁膜を形成した試料 (#4) では 1,751mV とやや低かったが、これは成膜時間が短く上記

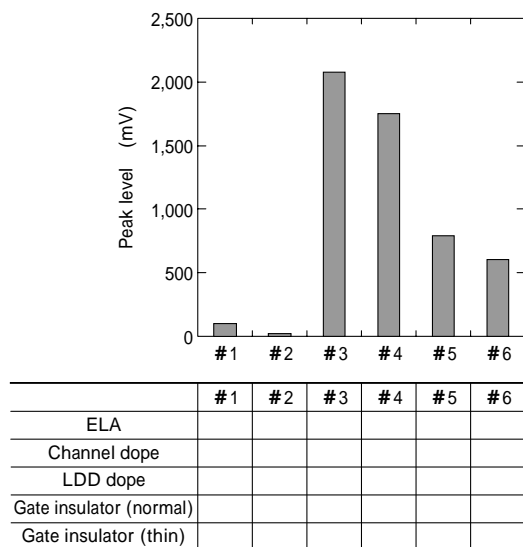


図12 イオンドーピング及びゲート酸化膜形成によるパーク値の変化

Fig.12 Variation of peak level by ion doping and gate insulator deposition

の回復効果が不十分であったためと推測される。LDD ドープ後に同様な絶縁膜を成膜した試料 (#5, 6) では、ともにチャンネルドープ後の試料より低いパーク値を示した。これは、LDD のドーズ量が 10 ~ 100 倍程度多いため、欠陥が十分に回復しておらず、そのため水素による欠陥の不活性化効果も小さいことが理由と考えられる。

6. 差分マップによる装置の異常の早期検出

LTPS を用いた TFT パネルの量産効率を高めるためには、トラブルを起こした装置を早急に突止め、速やかに対処しなければならない。しかし、TFT が完成するまでには多くの製造装置が関与するため、異常な装置を見つけるのは容易でないことが多い。製造装置で処理する前と後にパーク値マップを測定し、マップの各測定点どうしの差のマップ (差分マップ) を観察することで異常の発生を見出すことができる場合がある。

図 13 は、アッシング装置でのレジスト剥離処理の際に生じたトラブルを、差分マップにより顕在化した例である (730 × 920mm)。 (a) はアッシング前 (ELA 直後) のマップで、中央部にプリカーサの a-Si 膜厚分布に起因すると思われるパーク値の低い領域があり、また基板の四隅には、図 7 (a) と同じ原因で発生したと思われる ELA 不良の領域が現れている。アッシング後のマップ (b) にも (a) の形状がほとんどそのまま現れていて、アッシングによるパーク値の特徴的な変化は顕在化していないが、差分マップ (c) では、中央部と右上にパーク値の低い領域がはっきりと現れている。中央部の形状はアッシング装置のプラズマの形と良く似ているので、プラズマ衝撃によりダメージが導入されたと思われる。後の調査で、アッシング装置に装備されている一部のリフトピンに昇降動作不良があり、その場所がマップ右上にあるパーク値の低い領域に一致していることがわかった (d)。このことから、同領域は基板がプラズマに近づいたことで生じたダメージと考えることができる。このように、差分マップから製造装置の不具合を早期に発見することができる場合がある。

むすび = μ -PCD 法を応用した新しい LTPS 薄膜の結晶性評価装置を開発した。

評価パラメータのパーク値は、LTPS 薄膜のライフタイムに比例するため、LTPS 薄膜中の結晶欠陥やダングリングボンドの密度に対応することを理論的に明らかにした。

パーク値による評価により、エキシマレーザーや YAG2 レーザーでアニールした試料では、エネルギーが増加すると結晶性が向上した後に劣化に転じるため、エネルギーの最適値があることがわかった。

マイクロ波の電界方向制御により、SLS 法により生じた結晶の異方性を評価することができた。

プラズマ CVD により SiO₂ や SiN などの絶縁膜を成膜する際には、水素が LTPS 薄膜や絶縁膜との界面の欠陥をターミネートするため、結晶欠陥が不活性化されることが確認できた。

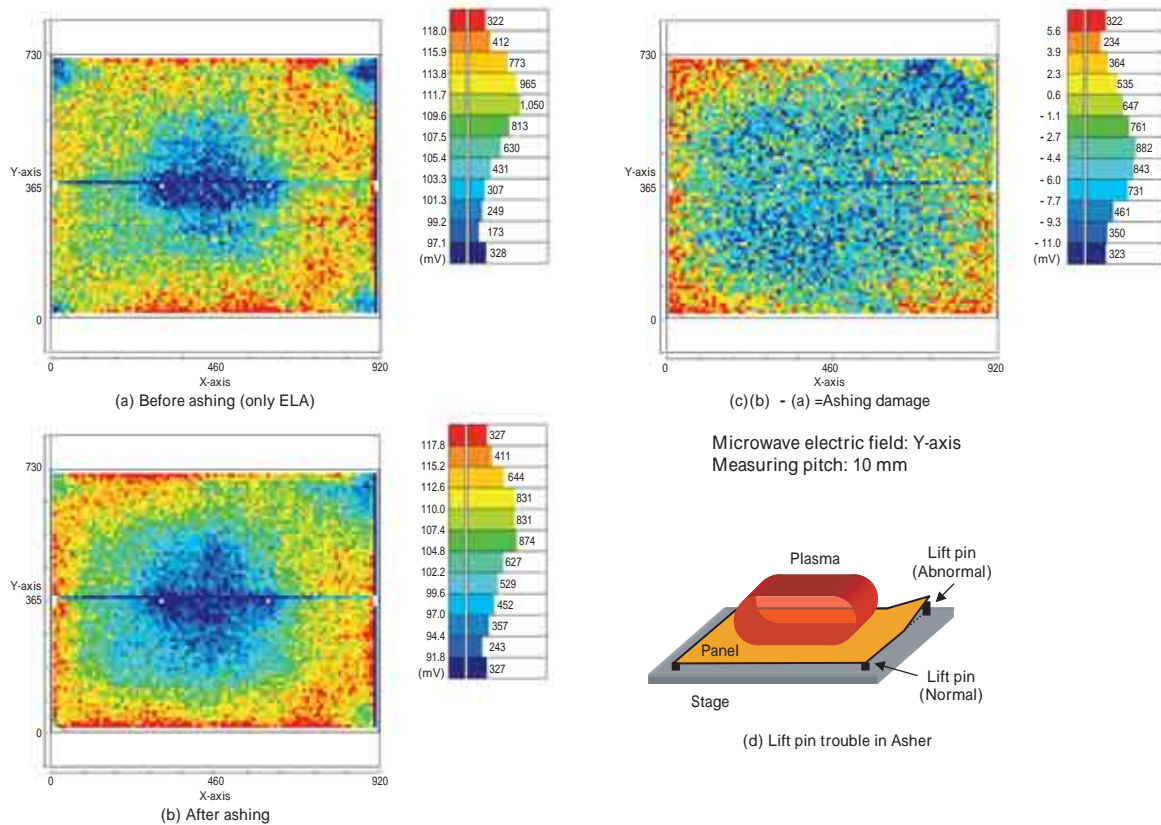


図13 アッシャのリフトピントラブルによるピーク値マップと差分マップ
Fig.13 Peak level map and differential map for LTPS that experienced lift pin trouble in asher

イオンドーピングのドーズ量が増えるほど多くの欠陥が発生するため、熱やプラズマ処理により回復しにくいことがわかった。

製造装置で処理する前後の差分マップにより、装置異常を早期に発見できる場合があることも明らかになった。

本装置が、LTPS-TFT 製造プロセスの工程改善に役立つことを期待したい。

参考文献

- 1) 電子ジャーナル：2003FPD テクノロジー大全。
- 2) 岡本達樹ほか：レーザ研究，第34巻，第10号（2006）p.693.
- 3) 住江伸吾ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.52, No.2(2002)，p.87.

- 4) SEMI Standard：SEMI MF1535-1104（Document Number 4906）.
- 5) E. D. Palik：Handbook of Optical Constants of Solids, Academic Press, New York(1985) p.547.
- 6) M. Born et al.：Principle of Optics, Pregamon Press(1975) § XIII.
- 7) S. Sumie et al.：J. Electrochem. Soc., Vol.152（2005）G99.
- 8) C. W. Kim et al.：“Process Scheme of TS-SLS（2-Shot Sequential Lateral Solidification）”, SID'04 DIGEST(2004) p.868.
- 9) K. Tamagawa et al.：“Solid State YAG2 Laser Annealing System dor the Fabrication of Poly-Si TFT-FPDs”, IDW'04（2004）FMC6-1.
- 10) K. Morikawa et al.：“Comparison of Poly-Si TFT Characteristics Crystallized by a YAG2 Laser and an Excimer laser”, SID'04（2004）p.1088.