

TFT用低温ポリシリコン薄膜の結晶性評価装置

情報端末機器や携帯機器の「顔」としてのフラットパネルディスプレイ (FPD) には、高精細・高開口率・低消費電力などが求められている。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微細なCMOS回路を形成できるため、上記要求を満足できる。従って、LTPS-TFTを用いた液晶や有機ELのFPDは、デジタルカメラ・携帯電話・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。

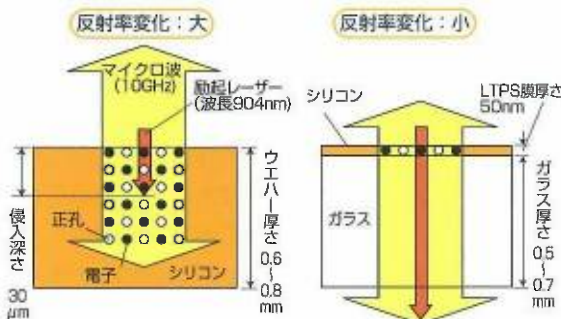
LTPS薄膜の結晶性はTFTの基本特性に大きな影響を与えるため、製造プロセスの各段階における結晶性評価は重要である。しかし、SEMによるポリ結晶のサイズ観察が唯一の評価方法であり、即時性や検出感度が不足しているため、LTPSパネル全面の結晶性を高速で高感度に評価する手法が望まれていた。当社では、長年にわたり製造販売しているライフタイム測定装置に用いている技術 (μ -PCD法: Microwave Photo Conductivity Decay) を応用して、全く新しいLTPS薄膜の結晶性評価装置を開発した。本稿では、測定原理と装置構成およびLTPS製造工程における結晶性の評価例について紹介する。

μ -PCD法によるLTPS薄膜の結晶性評価

E-1

シリコンにレーザーをパルス照射すると過剰キャリア (電子・正孔) が生成され、試料の物理的特性によって決まるライフタイムの後、再結合して消滅する。過剰キャリアの生成は導電率を増加させるため、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対応して変化する。 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。

第1図(a)は、LSI用シリコンウエハーに適用した場合を表わしている。励起レーザー光 (波長904nm) の単結晶シリコン (c-Si) への侵入深さは約30 μ mであり、ウエハーの厚さ (0.6~0.8mm) より十分短いため、励起光はシリコンにすべて吸収され、レーザーから放出された光子数と同数の過剰キャリアが生成される。



(a)シリコン半導体用ウエハー

(b)LTPS薄膜

第1図 μ -PCD法とLTPS薄膜評価における問題点

従ってマイクロ波の反射率変化は大きくなり、過剰キャリアの密度変化を高いS/N比で検出できる。しかし、同図(b)のようにLTPS薄膜の場合では、侵入深さはポリシリコン (p-Si) の膜厚 (約50nm) よりはるかに長く、大部分が透過するため、過剰キャリアはほとんど生成されないし、マイクロ波 (周波数10GHz) のLTPS薄膜での吸収も微小であるため、過剰キャリア密度を反映する反射率の変化は極めて小さくなる。

さらに、p-Si膜は界面再結合速度の大きな薄膜

であることから、膜内部に発生したキャリアは直ちに表と裏の界面に拡散し、再結合して消滅しまうため、ライフタイムは極端に短くなり (100ps程度)、ライフタイムの変化を精密に計測して結晶状態をモニタすることは困難であった。これ等の課題に対処するために、従来の μ -PCD法に以下の3点の改良を加えた。

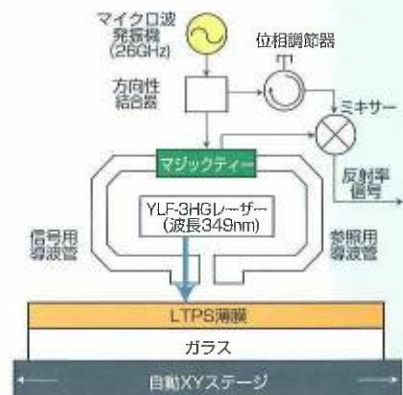
励起レーザー光の短波長化

YLFレーザーの3倍高調波 (波長349nm) を励起光として用いると、侵入深さはアモルファスシリコン (a-Si) では約10nm、c-Siでは約9nm、p-Siではその中間と劇的に小さくなる。そのため、LTPS薄膜にほぼすべて吸収され、その結果、過剰キャリアが効率良く生成されることになる。

差動 μ -PCD法の採用

LTPS薄膜内の過剰キャリアによる導電率変化を高感度に検出するために、差動 μ -PCD法を採用した (第2図)。

差動 μ -PCD法は、周波数26GHzのマイクロ波をキャリア励起用の紫外レーザー光 (ϕ 1.5mm) を導入できる信号用導波管と参照用導波管に分配してLTPS薄膜に照射し、各反射マイクロ波パワーの差を反射率信号として出力する手法である。マイクロ波のノイズや外乱振動の影響を除去できるためS/Nが優れており、従来の単一導波管 μ -PCD法より検出感度が約500倍高いことが確認されている。



第2図 紫外レーザー励起差動 μ -PCD法の構成

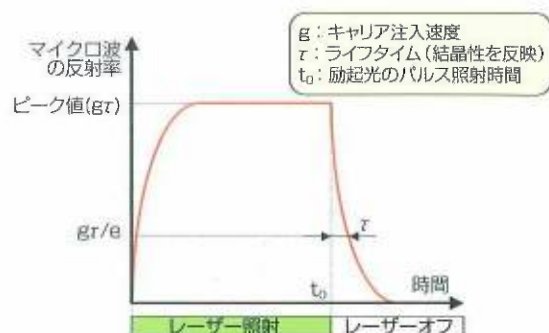
ピーク値による評価

第3図に示すように、試料のライフタイムが励起レーザー光のパルス幅より十分に短い場合、マイクロ波反射率のピーク値はライフタイムに比例する。

LTPS薄膜のようにライフタイムが極端に短い場合には、ピーク値はライフタイムよりはるかに高精度に測定できるため、結晶性の評価パラメータとしてピーク値を採用した。得られたピーク値が高いほど、結晶性が良いことになる。

試料は自動XYステージにセットされ、LTPSパ

ネル全面のピーク値マップを短時間で得ることができる。



第3図 マイクロ波反射率のピーク値による結晶性の評価

E-2

エキシマレーザーアニールによる結晶化の評価

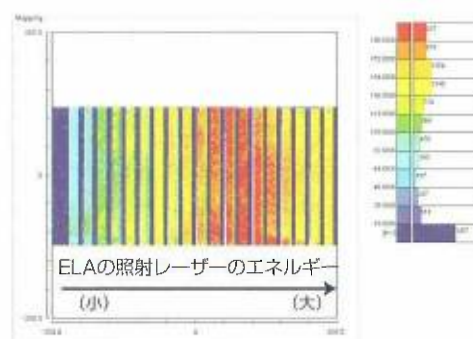
量産段階のLTPS-TFTに用いられているほとんどのp-Si薄膜は、ガラス基板上にPECVD法で成膜されたプリカーサとしてのa-Si薄膜に、波長308nmのXeClエキシマレーザーを照射して作成されている (Excimer laser Annealing: ELA)。

a-Si薄膜が溶融するエネルギーを投入することで結晶化が始まり、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時に最大粒径となる。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。

このようにp-Si膜の結晶性はレーザーエネルギーと強い相関があるため、エネルギーの最適化が必要である。また、レーザーの照射法としては、光学系によりラインビームを形成し、ラインを重ね打ちするのが一般的である。この時、大面積にわたってp-Si薄膜の結晶性を確保するには、長軸(ライン)方向のビームプロファイルの均一性やショット間のエネルギーの安定性の確保が重要である。

第4図は、ELAの照射エネルギーを変化させながらアニールしたLTPS試料(600mm×300mm、p-Si膜厚50nm)の測定結果である。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わしている。マップのX軸に沿ってELAエネルギーが増えるとピーク値が増加し、最大値を取った後減少することがわかる。

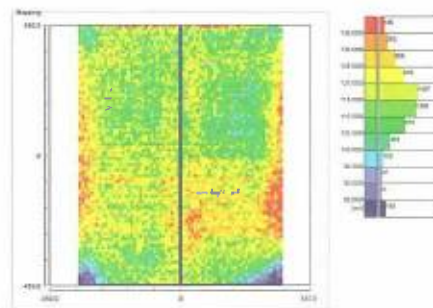
この結果は、上記の結晶粒径の変化と一致する。またY軸方向では、ELAエネルギーが低い時には中央部のピーク値が低く、エネルギーが高くなると逆転するという結果が得られた。これはELA装置のビームの長軸(マップのY軸)方向のプロファイルが不均一で、中央部のエネルギー密度が低



第4図 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

いことに起因していると考えられる。

第5図は、量産されているLTPSパネルでは最大級(730mm×920mm)の基板にELAを行った試料の測定結果である。中央にある縦の青線は、ELAアニールスキャンを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たためと考えられる。また、基板の四隅にピーク値の低い領域があるのは、フッ酸のスピリン洗浄によるa-Si表面の自然酸化膜の除去が不十分だったため、p-Si薄膜に入るELAのエネルギーが最適値からずれてしまったためと考えられる。



第5図 730mm×920mm基板のピーク値マップ

E-3

熱・水素・活性化アニールの評価

LTPS-TFTの特性を表わすパラメーターには、電流の流れやすさを示す移動度、導電型が反転を

開始するしきい値電圧、およびトランジスタがオンするときの電流の急峻さを表わすSファクター

などがある。これらを量産の要求基準以上で維持するには、p-Si薄膜中および界面の欠陥準位やトラップ密度を低減することが有効である。そのためには、結晶粒径の増大などによる結晶性の向上に加えて、水素化処理や酸素プラズマ処理及び高圧水蒸気アニールなどにより、粒界・粒内のダングリリングボンドの終端が効果的と言われている。

第6図は、ELAの後に熱アニール炉で処理した試料の測定結果を示している。

炉の上部・中部・下部にセットしてアニールされた基板について、角部4箇所と中央の計5箇所を評価したところ、炉の上部および基板中央で各領域のピークの平均値が高くなり、他の場所よりも結晶性が良いことを示唆する結果が得られた。炉内の温度分布と対応していると考えられる。

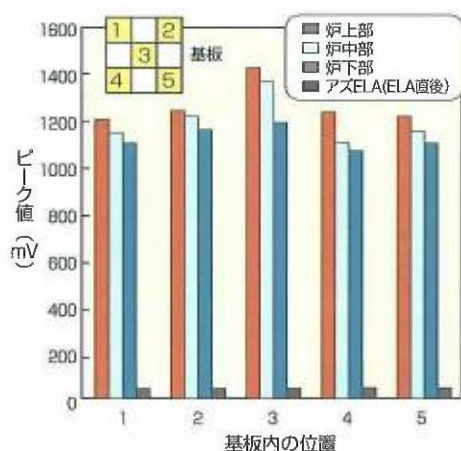
第7図は、照射レーザーエネルギーを変えてELAを実施した後、2種類の条件で水素アニール処理を行なった試料の測定結果である。水素アニール

により格段にピーク値が増加していることから、p-Si薄膜中のダングリリングボンドが効果的に終端されたと考えられる。また、ピーク値が最大となるELAのエネルギーが、アズELA（ELA直後）の[3]から水素アニール後の[4]に変化していることは興味深い。

第8図は、ELAの後にp-Si薄膜にイオン注入した試料について、活性化アニールの有無を本測定法で比較した結果である。

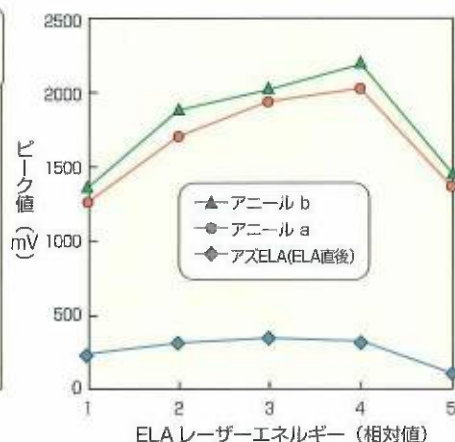
イオン注入によりp-Si薄膜内には多くの結晶欠陥（格子間原子、空孔、ポイド、クラスタなど）が導入されるためにピーク値は極端に小さくなるが、活性化アニールにより結晶欠陥が減少してピーク値が増加している。アニール条件が適切な場合にはイオン注入前の結晶性にまで回復するので、この測定法は条件の最適化の確認や活性化アニール装置の管理に用いることができる。

基板内の位置とピーク値の関係



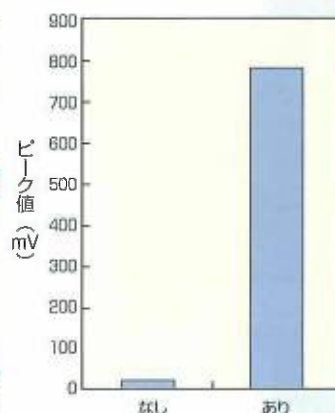
第6図 熱アニール炉での処理

ELAレーザーエネルギーとピーク値の関係



第7図 水素アニールの効果

イオン注入後の活性化アニール処理とピーク値の関係



第8図 イオン注入後の活性化アニール

LTPSの結晶性評価装置

E-4

第9図に、400mm×500mmのLTPS基板の結晶性評価装置の外観を示す。カセットステージにセットした最大22枚の試料を、内蔵のクリーンロボットにより自動搬送してX-Yステージにセットし、試料面内を0.5~20mmのピッチでマッピング測定することができる。SiNやSiO₂などの絶縁膜の付いた試料では、膜厚が変動すると光の干渉作用によりp-Si薄膜に入射する励起レーザー光量に変化するため、p-Si薄膜の結晶性が同じでもピーク値が変わる。そのため、測定点毎に励起光の反射率を計測して、入射光量を常に同じになるように調整する反射率補正機能を搭載している。

この装置の他に、730×920mmの基板に対応できる装置や、大型基板から切り出した試料の測定を目的とした200×200mm基板用の小型装置など、様々なモデルの結晶性評価装置を提供することができる。



第9図 LTPS基板の結晶性評価装置 (400mm×500mm)

が明瞭に現れるため、上で紹介したアニール装置や工程のモニタだけでなく、イオンやプラズマを用いた様々な製造装置の癖や問題点の解決に広く用いることができる。本装置が、LTPS製造プロセスの工程改善に役立つことを期待したい。

[LEO事業本部 住江伸吾]

ピーク値のマップにはダメージや結晶欠陥の分布