

μ -PCD法による酸化物半導体薄膜(IGZO)の測定装置と評価技術

近年フラットパネルディスプレイ市場の成長とともに、In-Ga-Zn-O (IGZO)に代表される酸化物半導体を用いたパネルの生産量が増加してきている。従来用いられたa-Si製造ラインをほぼそのまま転用でき、大面積かつ高精細のパネルを安価に製造できるためである。その反面、製造プロセスに起因する薄膜トランジスタ(TFT)の移動度、光・負バイアスストレス(LNBTS)による V_{th} シフトのばらつきが問題となっている。このためプロセスのインライン評価が重要視されている。

コベルコ科研では、 μ -PCD (Microwave Photo Conductivity Decay)法を用いて、TFT作製前の段階で酸化物半導体薄膜の膜質を評価できる技術を確認し、装置を製造、販売している。本稿では、これら評価装置について、測定原理、評価方法、評価事例を紹介する。



LEO事業本部
技術部

野々村 勇希

D-1 μ -PCD法の測定原理と酸化物半導体薄膜の評価方法

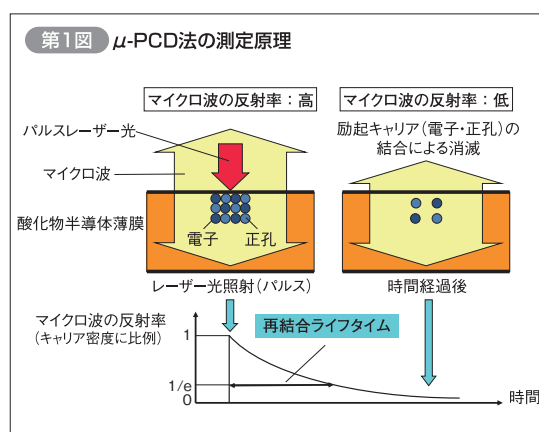
酸化物半導体薄膜にレーザーを照射すると、過剰キャリア(電子・正孔対)が生成され、物理的特性によって決まるライフタイムの後、再結合して消滅する。過剰キャリアは、試料の導電率を増加させるため、マイクロ波の反射率が変化する(第1図)。 μ -PCD法はマイクロ波の反射率の時間変化からライフタイムを測定する。

第2図に酸化物半導体薄膜におけるマイクロ波反射率の減衰曲線(同図a)と、バンドギャップ内の状態密度の関係(同図b)を示す。レーザー照射により過剰キャリアが増加し飽和(電圧のピーク)を迎え、レーザーをオフにすると過剰キャリアは再結合によって消滅していく。酸化物半導体の減衰曲線は、単純な指数関数的ふるまいを示すのではなく、途中から減衰が緩やかになる。すなわち、速い減衰と尾を引く遅い減衰の2つの成分から構成される。速い減衰は、酸化物半導体薄膜中の深い欠陥準位に起因し、この欠陥準位はTFT移動度に影響を与える。また、遅い減衰は、酸化物半導体薄膜中の浅い欠陥準位に起因し、この準位はTFTの V_{th} シフトに影響を与えることがわかった。これらのライフタイムを測定することで、移動度、信頼性の評価が可能である。

しかしながら、速い減衰のライフタイムは低温ポリシリコンと同様に非常に短く、直接的に観察することが困難である。励起レーザーのパルス幅が、ライフタイムに対して十分に長い場合には、ピーク値はライフタイムに比例する。

そこで、本装置では速い減衰のライフタイム値の代わりに、測定精度の高いピーク値を用いて移動度の評価を行っている^{*1)}。

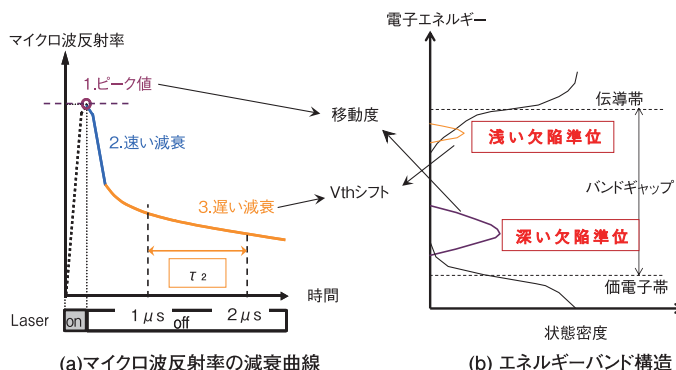
酸化物半導体の場合、速い減衰成分はピークか



らおよそ $1\mu\text{s}$ までで、ほとんどなくなっている。そのため、遅い減衰は $1\mu\text{s}$ 以降の減衰曲線から、ライフタイム(τ_2)値の評価を行うと有用であることがわかった。多くの場合、 $1\sim 2\mu\text{s}$ の時間領域で精度よく評価できることがわかっていく。

以上のように、酸化物半導体の場合には、ピーク値と τ_2 という2つの評価パラメーターが存在し、ピーク値が高く、かつ τ_2 の短いものが良質な膜であることを見出した。

第2図 マイクロ波反射率の減衰曲線とエネルギーバンド構造の関係



(a) マイクロ波反射率の減衰曲線
(1.ピーク値、2.速い減衰、3.遅い減衰
 τ_2 : $1\sim 2\mu\text{s}$ 間の傾き)

参考文献

*1)
住江伸吾ほか:R&D 神戸製
鋼技報/Vol.57(2007)No.1
p.11

D-2 測定装置

第3図に酸化半導体薄膜の評価装置の構成を示す。Siバルクやウェーハを評価する従来装置では、十分な信号を検出できるが、薄膜では信号が微弱であるため、500倍以上の高感度化が必要である。そこで、酸化半導体薄膜の評価にはマイクロ波検出系に差動 μ -PCD法を用いている^{*1)}。以下にその概略を示す。

発振されたマイクロ波は信号用と参照用導波管に分岐される。参照用導波管からはノイズ成分のみが得られる。一方、信号用導波管からはノイズ成分に加えて、過剰キャリアによる反射率の変化も含んでいる。この信号用と参照用導波管の反射率を差分することで、ノイズをキャンセルし、高感度に信号を検出できる。

装置例として、8.5世代(2200×2500mm)用 μ -PCD測定装置(LTA-2850SPHIB)を写真1に示す。励起光波長、パルス幅はそれぞれ349nm、5nsであり、最小マップピッチは0.5mmである。また現状のラインアップではR&D用途(200×200mm)～8.5世代までの試料サイズに対応可能である。試料ステージもしくは測定ヘッドが動くことにより、任意座標での測定および基板面内のマップ測定を行うことができる。測定時間例として、8.5世代サイズの基板全面マップ測定は、20分以内での測定が可能である。

装置例として、8.5世代(2200×2500mm)用 μ -PCD測定装置(LTA-2850SPHIB)を写真1に示す。励起光波長、パルス幅はそれぞれ349nm、5nsであり、最小マップピッチは0.5mmである。また現状のラインアップではR&D用途(200×200mm)～8.5世代までの試料サイズに対応可能である。試料ステージもしくは測定ヘッドが動くことにより、任意座標での測定および基板面内のマップ測定を行うことができる。測定時間例として、8.5世代サイズの基板全面マップ測定は、20分以内での測定が可能である。

第3図 酸化半導体薄膜評価装置の測定ユニットの構成

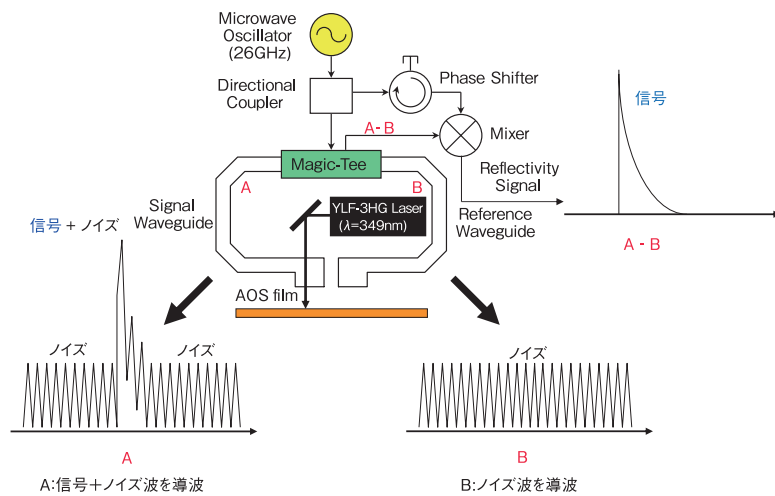


写真1 酸化半導体薄膜評価装置

(基板サイズ8.5世代：LTA-2850SPHIB)



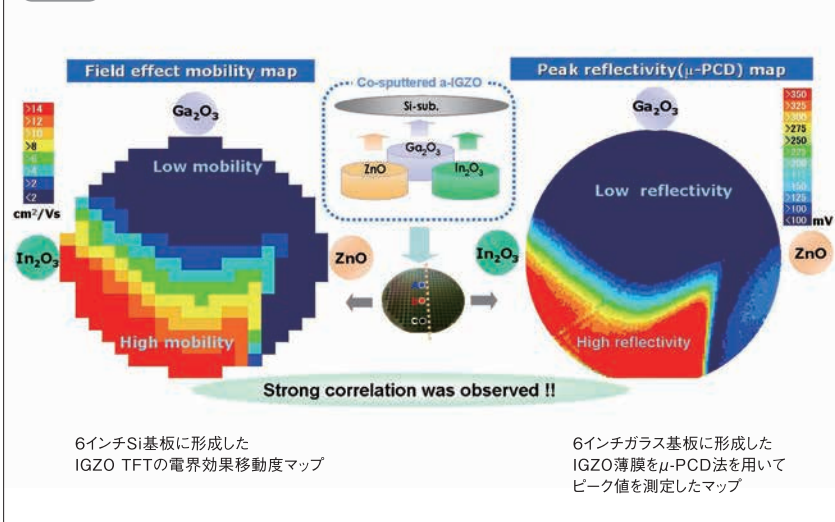
D-3 酸化半導体の評価事例

評価事例を本章に示す。 μ -PCDの測定は、配線膜およびパターニングがないIGZO単層膜または積層膜で行っている。

Ga_2O_3 、 In_2O_3 、 ZnO スパッタリングターゲットを第4図のように配置し、多元同時スパッタリングを行うことによって、TFT特性および μ -PCDの測定結果の酸化半導体薄膜の組成による違いを調べた。同図に μ -PCDで測定したピーク値とTFTの電界効果移動度の関係を示す。移動度はTFTのスイッチング特性(I_d - V_g 特性)を測定し、その測定値から、飽和移動度を算出した。ゲート電圧(V_g)は $-30\sim 30\text{V}$ 、(ド

レイン電圧) V_d は 10V として測定している。ピーク値と移動度の高低箇所は一致しており、強い相関関係があることが認められる^{*2)}。

第4図 μ -PCDで測定したピーク値とTFTの電界効果移動度の関係



参考文献

- *2)
Satoshi Yasuno et al. :
Appl. Phys. Lett. Vol.98
(2011) No.102107 p.2

また第5図に成膜後のアニール時間(大気中350℃)を変えた試料の、 τ_2 とLNBTISによるTFTの V_{th} シフトの関係を示す。LNBTISの条件は $V_g=-20V$ 、 $V_d=10V$ 、基板温度:60℃、光源:白色LED(強度25000nit)、ストレス時間:2時間である。 τ_2 と V_{th} シフトでも強い相関関係が認められる。

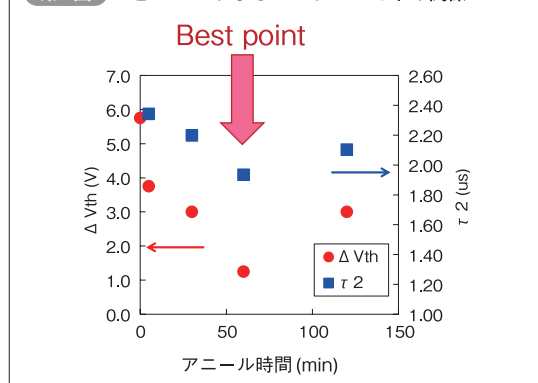
また良好な膜質を得られるアニール条件を最適化することができる。

第6図にインラインモニタリングの事例を示す。TFTを作製する際、酸化物半導体薄膜の成膜、成膜後のアニール、保護膜の成膜等のプロセスがある。μ-PCD法では、半導体層の上下に絶縁層が積層されている

も測定可能である。同図のゲート絶縁膜(Gate Insulator:GI)GI-1~5は、成膜条件(SiH_4/N_2 比、ガス圧、成膜温度)を変えている。他の試料と比べ、成膜温度の低いGI-3は、ピーク値が低く、 τ_2 が長くなっている。また、できあがったTFTの特性を測定したところ、GI-3の特性が悪いことが確認できた。このように図中に示す各プロセスにおいて、μ-PCDの減衰曲線をモニターすることで、サンプルの不良判定が可能である。

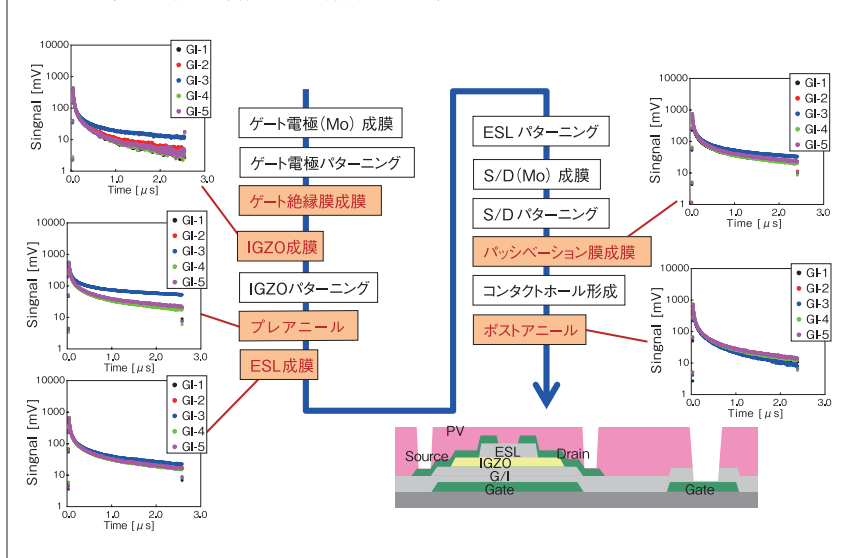
また、量産ラインにおける課題の1つとして、基板面内における膜質ムラが問題となっており、基板全面を簡便に評価できるマッピング測定が有効である。第7図に酸化物半導体薄膜(370×470mm基板サイズ)の、アニール前後におけるピーク値マッピング測定事例を示す。マップのカラースケールは320~590mVに統一している。アニール処理を行うことで、面内中央付近のピーク値が低い箇所は、平滑になっていることがわかる。アニール処理前後でピーク値の面内分布が変化していることから、膜質に変化が生じることが確認できる。このように、μ-PCDのマッピ

第5図 τ_2 とLNBTISによるTFTの V_{th} シフトの関係



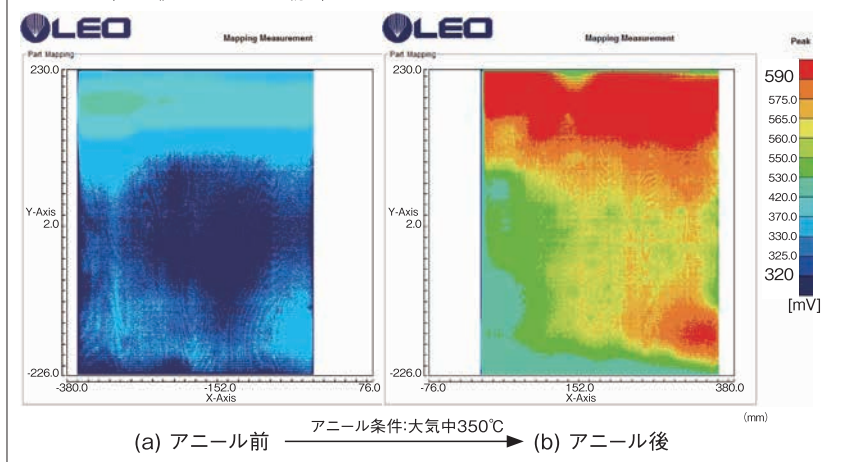
第6図 TFT作製プロセスのインラインモニタリング

(ゲート絶縁膜の条件を変え5試料作製:GI-1~5)



第7図 アニール前後におけるピーク値マッピング評価

(ピーク値:320~590 mV統一)



(a) アニール前 → アニール条件:大気中350℃ → (b) アニール後

ング測定結果を参照しながら、膜質ムラに影響する成膜装置の選択や、プロセス条件を最適化することが可能である。

酸化物半導体薄膜用のμ-PCD測定装置と評価技術を紹介した。本装置では、非接触、非破壊で測定できることに加えて、TFT作製前の各プロセスにおいて、TFT特性が予測可能であるため、量産ラインの

インライン評価を行うことが可能である。

当社の誇る高い開発力と、蓄積された評価技術を駆使し、今後も多様化するお客様のニーズを先取りした装置製作、装置提案を行ってきたい。