

FPD 向け酸化物半導体評価装置の開発

株式会社コベルコ科研 LEO 事業本部

岸 智 弥

1. はじめに

株式会社コベルコ科研（当社）LEO 事業本部では、半導体検査装置の開発、製造および販売を行っている。検査装置の一つとして、マイクロ波光電導減衰法（ μ -PCD）を用いた、半導体のライフタイム測定装置がある。本手法はサンプル中の微量の欠陥や汚染を鋭敏に反映し、電極付けなどを必要とせず非接触、非破壊で評価できることから、Si インゴットや Si ウェーハの代表的な管理技術となっている。近年、さらなる市場拡大をめざし、成長著しいフラットパネルディスプレイ（FPD）分野へ進出し、低温ポリシリコン（LTPS）の結晶化評価にも用いられている¹⁾。

FPD 分野では、4K テレビや有機 EL テレビなどに用いられる薄膜トランジスタ（TFT）に高精細、駆動周波数の高速性が求められ、タブレットやスマートフォン向けの TFT には、低消費電力性が求められる。これらの要求に応える TFT の半導体材料として、LTPS と並んで In-Ga-Zn-O（IGZO）に代表される酸化物半導体が注目されている。酸化物半導体は移動度が高く、大面積での成膜が可能、OFF 電流が低いことが特徴として挙げられる。さらに、従来材料であるアモルファスシリコンのラインを用いることが可能であるため、導入コストを抑えることができる。酸化物半導体の課題としては、TFT 特性がプロセス条件により大きく影響を受けることと、基板面内の特性バラつきが大きいことである。そのため、大面積の膜特性を高速で評価することが求められている。これらの要求に応えるべく、当社は酸化物半導体薄膜評価装置を開発した。本稿では、装置の概要と応用例について紹介する。

2. μ -PCD の測定原理と評価方法

本装置で用いている μ -PCD の測定原理を図 1 に示す。半導体に光を照射すると過剰キャリア（電子・正孔）が生成され、時間の経過とともに再結合して消滅

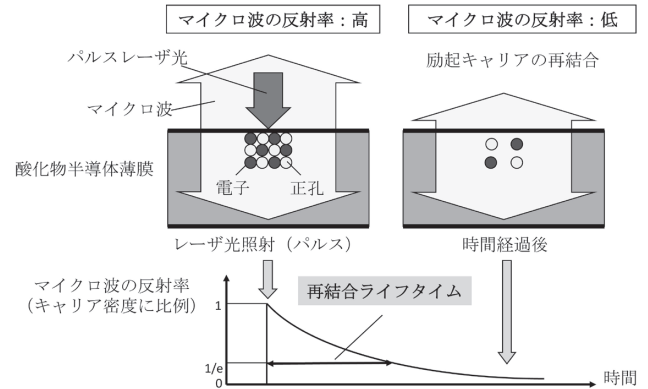


図 1. μ -PCD の測定原理

する。消滅するまでの平均的寿命はライフタイムと呼ばれ、試料の物理的特性（欠陥の準位、密度など）によって決まる時間である。過剰キャリアの生成は試料の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 は、マイクロ波の反射率の時間変化から、試料の膜質を反映するライフタイムを測定することのできる方法である。

酸化物半導体は、そのバンドギャップ中に酸素関連欠陥に由来する局在準位ができる。様々な電子状態が提唱されているが、図 2(a) に示すような①裾状準位、

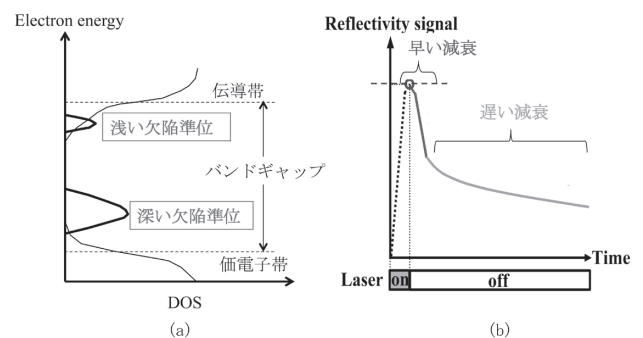


図 2. (a) 代表的な酸化物半導体の電子状態密度、(b) マイクロ波反射率の減衰曲線の模式図。

②浅い局在準位、③深い局在準位の3つの状態で議論されることが多い。そのため、複雑多岐にわたる再結合過程が考えられるが、簡単に、ここでは μ -PCDにおける減衰は、主に速い減衰と遅い減衰の2つの成分から構成されると仮定する。対応するマイクロ波の減衰曲線は図2(b)のようになる。早い減衰は、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、この準位は光+負バイアスストレス(Light Negative Bias Thermal Stress: LNBTS)におけるTFTの V_{th} シフトに影響を与える。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、早い減衰のライフタイムはLTPSの場合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、本装置では早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 $1\mu s$ までで、ほとんどなくなっている。そのため、遅い減衰は $1\mu s$ 以降の減衰曲線から算出されるライフタイム値(τ_2)とすることができる²⁾。

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を用いており、ピーク値が高く、かつ τ_2 の短いものが良質な膜である。

3. 評価事例

μ -PCDで測定されるピーク値とTFT移動度の関係については、Yasunoらによって報告されている³⁾。6インチのガラス基板上に Ga_2O_3 、 In_2O_3 、 ZnO の3つのターゲットを用いて同時スパッタリングにより成膜し、面内で組成の異なるIGZO薄膜サンプルにおいて、TFT移動度の面内分布(図3(a))と μ -PCDによりピーク値の基板面内分布(図3(b))がよく一致している。このことから、ピーク値を用いて、TFT移動度が評価できる。

酸化物半導体を用いたTFTにおいて、ストレス印加時におけるトランジスタのしきい値シフトの抑制が1つの課題とされている。TFTがバックライトにさらされる液晶パネルでは、LNBTSにおける V_{th} シフトの評価が特に重要になる。そこで、 V_{th} シフトと μ

-PCDパラメータとの相関について調べた。IGZO薄膜成膜後のアニール時間を変えたサンプルについて μ -PCDで測定したものと、同薄膜を用いてトランジスタを作製し、LNBTSにおける V_{th} のシフト量を測定したものを図4に示す。 V_{th} シフトと τ_2 はアニール時間に対して同じ挙動を示しており、 τ_2 を用いて V_{th} シフトについても本手法で評価できることが実証された^{4,5)}。

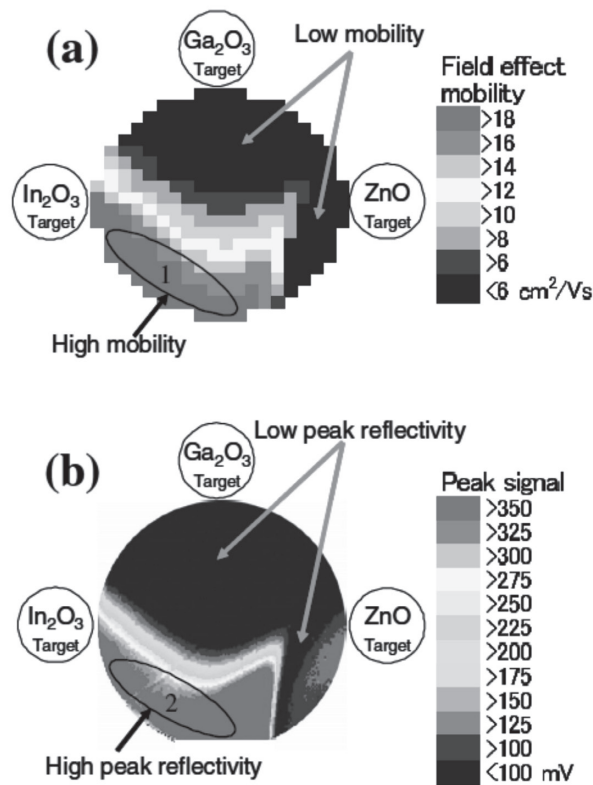


図3. ピーク値とTFT移動度の関係(a)TFT移動度の面内分布、(b) μ -PCDで測定したピーク値の面内分布³⁾

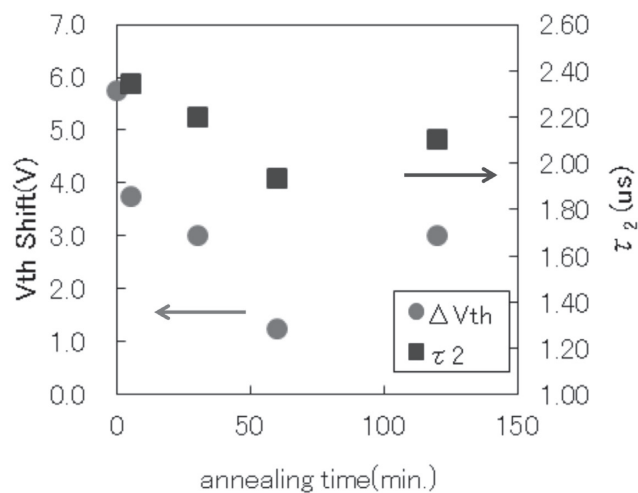


図4. μ -PCDにより測定される τ_2 とLNBTSにおけるTFTの V_{th} シフトの関係

4. おわりに

μ -PCDを用いた酸化物半導体評価装置の紹介を行った。酸化物半導体 TFT の移動度および LNBTs での V_{th} シフトが、TFT 作製前の段階で評価できる。加えて非接触、非破壊でマッピング測定が可能であり、基板内の膜質ムラの評価を行うことができる。そのため、プロセス条件最適化の時間を大きく短縮できるほか、量産工場におけるインラインモニターとして活用できる。現在では、日本国内だけでなく、台湾・韓国・中国の各パネルメーカーの研究開発部門および量産ラインに導入されている。

当社では、上記のような実験・開発を株式会社神戸製鋼所の技術開発本部と協力して行っており、豊富な実験データの蓄積がある。さらに当社の物理解析部門およびターゲット事業本部とも連携し、装置ビジネス

にとどまらない FPD 分野における総合的なビジネスの構築を目指している。

<参考文献>

- 1) 住江伸吾, 山下圭三, 尾嶋 太, 高松弘行: R&D 神戸製鋼技報 57 (2007) 8.
- 2) Hiroshi Goto, Hiroaki Tao, Shinya Morita, Yasuyuki Takanashi, Aya Hino, Tomoya Kishi, Mototaka Ochi, Kazushi Hayashi, Toshihiro Kugimiya: IEICE TRANS. ELECTRON., E97-C (2014) 1055.
- 3) S. Yasuno, T. Kugimiya, S. Morita, A. Miki, F. Ojima, and S. Sumie: Appl. Phys. Lett., 98 (2011) 2.
- 4) 岸 智弥, 日野 綾, 森田晋也, 小坂修司, 林 和志, 釘宮敏洋: 第 60 回応用物理学会春季学術講演会予稿集 (2013) 21-001.
- 5) T. Kishi, A. Hino, S. Morita, S. Kosaka, M. Inui, K. Hayashi, T. Kugimiya: IMID 2013 Digest (2013) 426.

(応物 平成 13 年卒 15 年前期 18 年後期)