

研究成果（小テーマにつき 2 ページ以内でまとめてください）

サブテーマ名：2 TFT の分析評価及び SiGe-TFT 技術の開発

小テーマ名：2-1 TFT の分析評価及び SiGe-TFT 技術の開発

サブテマリーダー（所属、役職、氏名）

高知工科大学 総合研究所 教授 山本 直樹

研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

- 1) ZnO-TFT や ZnO 透明導電膜の主構造材料である ZnO 薄膜の結晶構造・電気特性の評価ならびに評価・解析技術の開発を行なうことにより ZnO 膜の高品質化に寄与することを目的とした。特に薄膜の機械定数評価技術について顕著な成果があった。すなわち、レーザビームと X 線ビームを併用することにより、従来の評価法のように外部から力を加えることなく、非破壊で極薄膜のヤング率（物の硬さの指標）ならびに線膨張率を評価できる技術を開発した。さらにこの技術を発展させることにより非破壊で膜の接着力を評価できる技術を開発した。ZnO 透明導電膜技術開発グループと連携して反応性プラズマ蒸着（RPD）装置により形成した Ga 添加 ZnO（GZO）膜にこれらの評価法を適用した。そして RPD で形成した膜は液晶ディスプレイや太陽電池の透明導電極に広く用いられている ITO（インジウム - 錫 - 酸化物）より軟らかい（ヤング率が小さい）ことを示した。すなわち外部から機械力が加わったときにその衝撃力に対する耐性が高いことを明らかにした。またシリコン酸化物などのガラス基板に対する接着力は 1GPa（ギガパスカル）程度と非常に強いことも明らかにした。これは GZO 膜を ITO 透明電極に替えて液晶ディスプレイや太陽電池の電極に適用しても、その製造プロセスにおいて膜剥がれの心配が無い程度の強度である。
- 2) 無添加 ZnO 膜に関しては自発分極低減法を提案した。ZnO は圧電効果発現体であり、スパッタ法などで形成した膜は製膜状態で $50\text{mC}/\text{cm}^2$ 程度の分極電荷を有している。この分極電荷は ZnO 膜内を流れるキャリアを散乱させてその移動性能を劣化させることが考えられる。このため製膜状態で存在する自発分極を低減する方法として外部から特定方向の力を加える方法を提案した。具体的には ZnO 膜上にシリコン窒化膜など製膜条件により比較的強い応力を持たせることができる膜を重ねることにより、自発分極を低減できることを示した。
- 3) 探索研究として、液晶ディスプレイに用いられている Si-TFT を凌駕する高移動度 SiGe-TFT の可能性について論文などによる技術情報の調査を主とするとともに、トップゲート型 SiGe-TFT の低温（500 以下）ソース・ドレイン形成技術の開発を行なった。大型液晶ディスプレイの価格競争激化により Si-TFT においても高性能（高移動度）追求よりコスト低減技術開発が主となってきた。これに連動して高移動度を期待した SiGe-TFT に関する研究・開発（特に液晶ディスプレイを想定して 500 以下のプロセスで形成した TFT）はこの 1~2 年はほとんど報告されなくなった。プロセス技術の探索研究では 500 以下の熱プロセスの限定条件においてもゲート電極に対して自己整合的にボロンなどの不純物をドーピングし、かつこのようにして形成したソース・ドレイン表面領域に自己整合的に 250 程度の低温で Ni-Si-Ge 化合物を形成する技術を開発した。この技術によりこれらの領域の低抵抗化を実現できる見通しを得た。

研究の独自性・新規性

【分析・評価技術】

ヤング率測定は外力を加えたときの対象材料の変形から求める方法が広く用いられている。薄膜評価にはこの考え方にもとづいたナノインデンテーションと呼ばれる方法がほとんどの場合に適用されている。この方法では針を膜に押し込んだときにできる圧痕形状より求めるため、 $1\mu\text{m}$ より薄い膜への適用は難しい。液晶ディスプレイに用いられる $100\text{nm} \sim 150\text{nm}$ 厚の透明電極の測定は難しかった。本研究ではレーザ光と X 線を併用した評価法を開発した。レーザビームを基板面内方向に走査することによる膜応力を測定し、全反射角近傍の極低角度より X 線ビームを照射することにより、膜面内方向の歪を測定する。これらより薄膜のヤング率を求める。この方法は、外力を加えず膜のあるがままの状態を非破壊で評価、結晶の面方位ごとのヤング率測定が可能、積層構造で各層ごとのヤング率を評価可能、従来の方法では難しかった $10\text{nm} \sim 30\text{nm}$ の極薄膜の評価が可能、などの優れた特長を有している。

上記のヤング率測定法を薄膜の接着力測定に応用。従来は荷重をかけた針を膜上移動させる引っつき試験や膜に貼り付けた粘着テープを引っ張るピーリングテストなど膜剥がれ試験が広く用いられてきた。しかしこれらの方法で得られるのは、接着力単独でなく各種要因が重なった結果しか得られない。本研究で開発した方法では膜と下地との接着力のみを独立して、かつ試料のあるがままの状態（非破壊）でその絶対値を求めることができる特長を有する。

製造工程における熱プロセスが 500 以下の制限のもとに、トップゲート型 SiGe-TFT のゲート電極パターンをマスクとし、 $400 \sim 500$ でのイオン打ち込みと、それに続く同温度域での低温処理に

より、LSI プロセスにおいて 900 ~ 950 で熱処理して得られる抵抗率と同レベルの低抵抗ソース・ドレイン形成技術を開発した。また極薄 Ni 膜を用いた Ni-Si-Ge 三元化合物を 250 ~ 300 で上記ソース・ドレイン表面に自己整合的に形成する技術を開発することによりソース・ドレインの低抵抗化を可能にした。

研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に）

フェーズ

- ・低温多結晶シリコン TFT を凌駕する高速 SiGe-TFT の開発。移動度 $\mu_e \sim 100$

フェーズ

- ・SiGe-TFT 探索研究継続の有無を H18/3 に判断。（平成 17 年度）
- ・ZnO 薄膜の結晶構造・電気特性の評価ならびに評価・解析技術の開発を行なうことにより ZnO 膜の品質化に寄与する。（平成 18 年度～）

研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して）

ZnO-TFT に注力したため、コア研究室に SiGe-TFT 用の装置が整備されていない。中間評価の指導等により、以降探索研究とした。Zn は Si に深い不純物準位を生じる。コア研究室クリーンルームは主研究である Zn 系材料・デバイスの開発が行なわれている。それに起因した極微量の Zn 汚染による素子のリーク電流大のため開発困難と判断し、18 年度以後は SiGe-TFT の研究を継続しないことにした。なおこの判断は大型液晶ディスプレイの低コスト競争激化により Si-TFT においても高速（高移動度）素子開発の機運が低下し、高速の SiGe-TFT 開発への要求が少なくなったことも背景にある。

GZO 膜を大型液晶ディスプレイや太陽電池などの透明電極に適用する際、その製造工程やデバイス稼働中に受ける機械的、熱的外力により膜剥離やクラックが発生する可能性がある。これらに対する機械的耐性を評価するには極薄膜のヤング率、線膨張係数ならびに接着力の評価が重要である。従来は 100nm あるいはそれ以下の極薄膜のこれらの評価法、しかも非破壊評価法が無かった。本研究では非破壊で 10nm ~ 30nm の極薄膜まで評価する方法を新規に開発した。

主な成果

これまで報告例のない極薄膜のヤング率および接着力の非破壊絶対値測定を可能とする技術を開発するとともに、その評価装置の製品化に向けた基本特許を出願した。

特許件数：5 件 査読論文数：6 件（透明導電膜 Gr との共著含む） 口頭発表件数：3 件

研究成果に関する評価

1. 国内外における水準との対比

上記の 10nm ~ 30nm 極薄膜の機械定数評価技術の報告例は無い。

2. 実用化に向けた波及効果

本開発評価技術は ZnO だけでなく多くの薄膜に適用できる汎用技術である。このため発表以来、その製品化に対する要望が多方面から寄せられている。特に本開発の機械定数評価法は磁気ディスク、DVD および ULSI（超高集積回路）製品開発部門から期待されている。

残された課題と対応方針について

1. 開発した機械定数評価法は X 線回折を一部利用しているため結晶性（微結晶含む）膜に適用することを前提としている。非晶質膜にも適用できるよう今後改善していく予定である。
2. 本評価法を用いた測定装置の製品化検討を高知県内企業とともに進める。

	J S T 負担分（千円）							地域負担分（千円）							合計
	H 14	H 15	H 16	H 17	H 18	H 19	小計	H 14	H 15	H 16	H 17	H 18	H 19	小計	
人件費	0	477	0	10,517	10,554	8,389	29,937	0	34	0	176	187	287	684	30,621
設備費	0	0	0	225	0	0	225	0	2,298	0	0	0	0	2,298	2,523
その他研究費 （消耗品費、 材料費等）	0	1,176	0	5,384	5,313	2,473	14,346	0	15	0	0	0	0	15	14,361
旅費	0	115	0	1,036	970	1,026	3,147	0	0	0	0	0	0	0	3,147
その他	0	1	0	108	94	189	392	0	0	0	0	0	0	0	392
小 計	0	1,769	0	17,270	16,931	12,077	48,047	0	2,347	0	176	187	287	2,997	51,044

代表的な設備名と仕様 [既存（事業開始前）の設備含む]

J S T 負担による設備：

地域負担による設備：