

スパッタプロセスを用いた高抵抗透明電極の開発
 高橋明久^{*1}・須田具和^{*1}・新井真^{*1}・磯佳樹^{*2}・織井雄一^{*2}・箱守宗人^{*2}

Development of High Resistivity Transparent Conductive Oxide Electrode using Sputtering Process

Hirohisa Takahashi^{*1}, Tomokazu SUDA^{*1}, Makoto ARAI^{*1}, Yoshiaki ISO^{*2}, Yuichi ORII^{*2}, Muneto HAKOMORI^{*2}

^{*1} Institute for Super Materials, ULVAC, Inc., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa, 253-8543, Japan

^{*2} FPD・PV Division, ULVAC, Inc., 2500 Hagisono, Chigasaki, Kanagawa, 253-8543, Japan

For the In-Cell type touch screen panel, a high resistivity transparent electrode that can work as anti-static without affecting touch sensing is required. ULVAC selected Sputtering Process which is high in productivity and suitable for large size and successfully developed a high resistivity transparent conductive oxide electrode satisfying required specification.

1. はじめに

タッチスクリーンパネルは、iPhoneなどのモバイル端末の登場により身近なポインティングデバイスとなっている。スマートフォンやタブレット端末では、様々なタッチスクリーンパネルの電極構造が採用されている。従来のスマートフォンに採用されていたタッチスクリー

ンパネルは、Table 1に示すAdd-On型のGGと呼ばれる構造が主流で、カバーガラス、タッチセンサーとディスプレイを貼り合せて作られていた。薄型化、軽量化の市場要求に対応するため、タッチセンサーをディスプレイ内に形成するIn-Cellや、タッチセンサーをディスプレイ上に形成するOn-CellなどのEmbedded型タッチスクリーンパネルが開発された^{1, 2)}。In-Cell型タッチスク

Table 1 Touch Screen Panel Structure.

Add-On / GG	Embedded / In-Cell	Embedded / On-Cell
ガラス基板に形成したタッチセンサーをカバーガラスとディスプレイに貼り合せて作製	ディスプレイ内にタッチセンサーを形成	ディスプレイ上にタッチセンサーを形成

^{*1} (株)アルバック 超材料研究所 (〒253-8543 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500)

^{*2} (株)アルバック FPD・PV事業部 (〒253-8543 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500)

リーンパネルでは、ディスプレイの動作と高感度タッチセンシングを両立するため、タッチセンシングに使用する高周波信号を透過し、低周波/DC電圧によるディスプレイ動作の妨害を阻止する除電用透明電極が求められる。

2. 高抵抗透明電極の必要性

タッチスクリーンパネルを搭載したモバイル用液晶ディスプレイの表示方式は、液晶分子がガラス基板と水平方向に回転し、指などでディスプレイに圧力を加えても液晶分子の配向に与える影響が少ない In-Plane Switching (以下、IPS) や Fringe Field Switching (以下、FFS)^{3, 4)} が採用されている。一般的に IPS 方式や FFS 方式の液晶ディスプレイでは、ガラス基板の帯電や外部電界により、表示特性低下する現象があり、この課題を改善するため、カラーフィルターガラスの背面に Indium-Tin-Oxide (以下、ITO) などの除電用透明電極 (Anti-Static) を設けている。Figure 1 に示す In-Cell 型タッチスクリーンパネルの場合、タッチセンサーに対して、指などでタッチされるカバーガラスに近い位置に存在する除電用透明電極の抵抗が低いと、タッチセンシングに必要な高周波信号まで遮断し感度を低下させてしまうことから、低周波/DC電圧によるディスプレイ動作の妨害を阻止し、タッチセンシングに必要な高周波信号と透過する高抵抗透明電極が求められる^{5, 6)}。

3. 高抵抗透明電極の仕様

特許第 4741026 号 一体型タッチスクリーン⁵⁾では、高抵抗透明電極に求められるシート抵抗の例として、200 M から 2 G Ω/\square と記載されており、この値を参考にシート抵抗は 10^7 から 10^{11} Ω/\square の範囲、信頼性評価として、温度 60℃、湿度 90%、240 時間の恒温恒湿試験前後のシート抵抗変化率が一桁未満であることを目標値に設定した。また、透過率はバックライトのノイズ除去に用いられる薄膜 ITO の仕様である 95% 以上 (Glass Reference, 波長 550 nm) とした。

4. ITO の高抵抗化評価

ITO は酸化インジウム (In_2O_3) に不純物として酸化スズ (SnO_2) を添加した半導体材料で、スパッタ方式で成膜する低抵抗透明導電極として広く使用されている。Figure 2 に ITO の導電メカニズムを示す^{7, 8)}。 In_2O_3 は、2 個のインジウムが計 6 個の電子を放出し、3 個の酸素が計 6 個の電子を受け取り安定しているため、酸素が欠損するとインジウムが放出した電子が 2 個余り自由

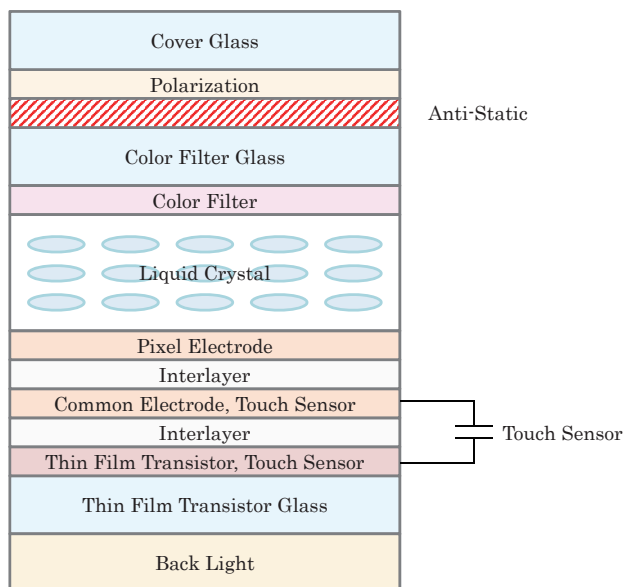


Figure 1 Structure of In-Cell type Touch Screen Panel.

電子となる、また 3 個の電子を放出するインジウムがスズに置換されると、スズは 4 個の電子を放出して安定するため、1 個の自由電子が発生し導電性を示す。成膜中に酸素を過剰に導入することで、酸素欠損を形成させず、スズがイオン化しない様に酸化させることで自由電子の放出を抑制することができる。Figure 3 に ITO を用いて酸素導入でシート抵抗を調整した高抵抗透明電極の評価結果を示す。膜厚を 10 nm に設定し、酸素導入量を調整することで、成膜後のシート抵抗は目標値の 10^7 から 10^{11} Ω/\square の値を達成することができたが、高温恒湿試験後には 10^8 及び 10^{10} Ω/\square の両水準ともに 1 桁以上シート抵抗が低下する結果となった。この現象は In_2O_3 系材料が還元されやすい材料であるため、酸素過剰の状態から還元する方向で安定化したと考察する。

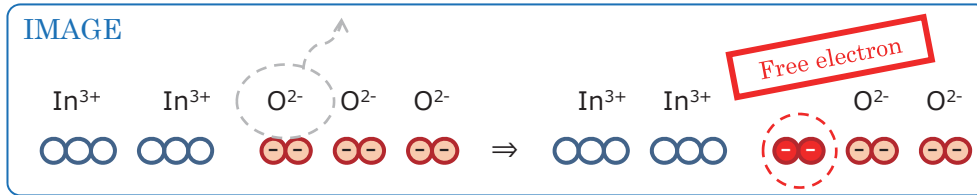
本評価結果から、低抵抗透明電極材料の ITO を用いて、酸素導入量でシート抵抗を調整する成膜プロセスは、成膜後の信頼性に課題があると判断した。

5. 高抵抗透明電極成膜プロセスの開発

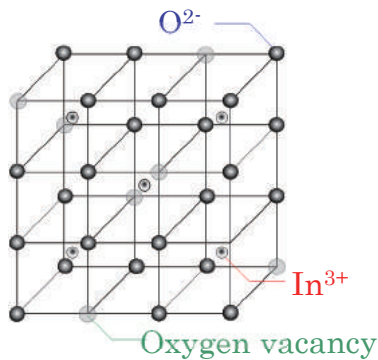
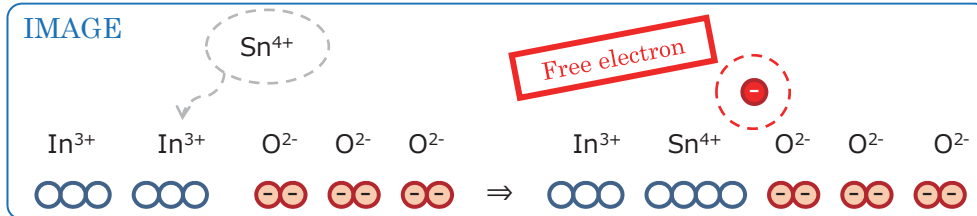
4. ITO の高抵抗化評価の結果から、目標値を達成する高抵抗透明電極を得ることは、ITO などの低抵抗透明電極をベースとしたプロセス調整では難しく、生産機展開を前提に最適化されたプロセス開発が必須であると判断し、以下の方針で成膜プロセスの基礎開発を実施した。

- ① ITO より高抵抗な導電性材料を用いベースの抵抗を増加
- ② プロセス中の反応性を鈍化しプロセスウィンドーを拡大

< Oxygen vacancy \Rightarrow Two free electron >



< Sn⁴⁺ replace In³⁺ \Rightarrow One free electron >



< Unit cell of In₂O₃ >

	13(3B)	14(4B)	15(5B)
	5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen
	13 Al Aluminium	14 Si Silicon	15 P Phosphorus
12(2B)	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium
	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin
	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead
			83 Bi Bismuth

< Periodic Table >

Figure 2 Conductivity Mechanism of ITO.

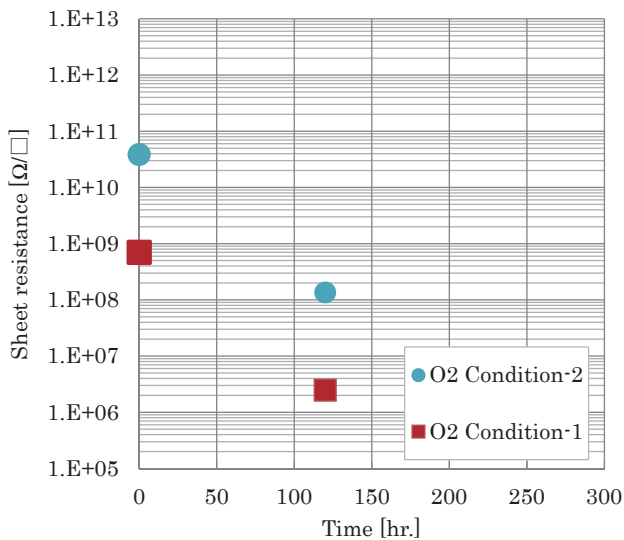


Figure 3 Sheet Resistance Stability of High Resistivity ITO Film.

- ③反応性ガスを導入し抵抗を調整
- ④抵抗調整と透過率改善は異なるガスを使用

ITO より高抵抗であるが導電性材料を用いることで、Radio Frequency などの特殊電源は使用せずに、スパッタ

プロセスの特長である高い生産性を確保しつつ、成膜プロセス中の反応性を鈍化しプロセスウィンドーを拡大、必要最小限の酸化ガスにより酸化膜の透過率を改善し、前記酸化ガスとは異なるガスによりシート抵抗を調整することで、目標値の透過率とシート抵抗を安定的に達成する成膜プロセスを開発テーマとした。

Figure 4 に当社が開発した、スパッタ高抵抗透明電極のシート抵抗を示す。Condition-A, B, C は全て同じ組成のスパッタターゲットを使用しており、膜厚は 10 nm とした。シート抵抗は目標値の 10^7 から 10^{11} Ω/\square の範囲でシート抵抗の調整可能で、温度 60℃、湿度 90%、240 時間の恒温恒湿試験前後のシート抵抗変化率が一桁未満の特性が得られた。Figure 5 に Glass Reference の透過率スペクトルを示す。Condition-A, B, C のシート抵抗は 10^7 から 10^{11} Ω/\square の範囲で変化しているが、透過率には顕著な変化は見られず、目標値の 95% (Glass Reference, 波長 550 nm) を大幅に上回る結果となった。

6. 高抵抗透明電極の生産機に求められる技術

スパッタ高抵抗透明電極の成膜プロセスは、導電性材料を用い、反応性スパッタにより 10^7 から 10^{11} Ω/\square の

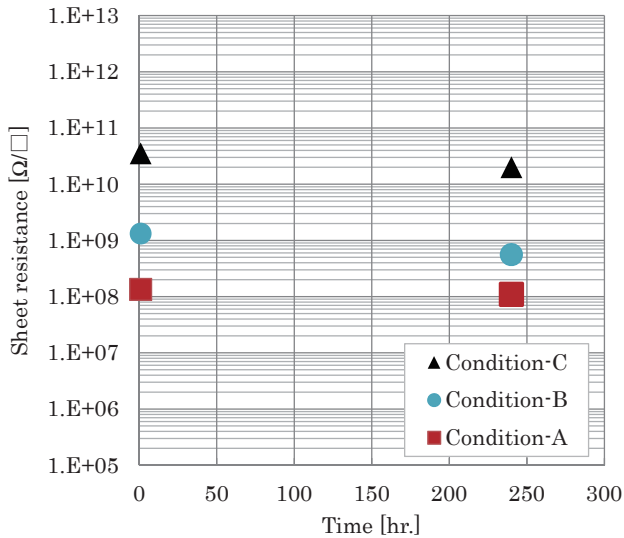


Figure 4 Sheet Resistance Stability of High Resistivity Transparent Conductive Oxide Electrode using Sputtering Process.

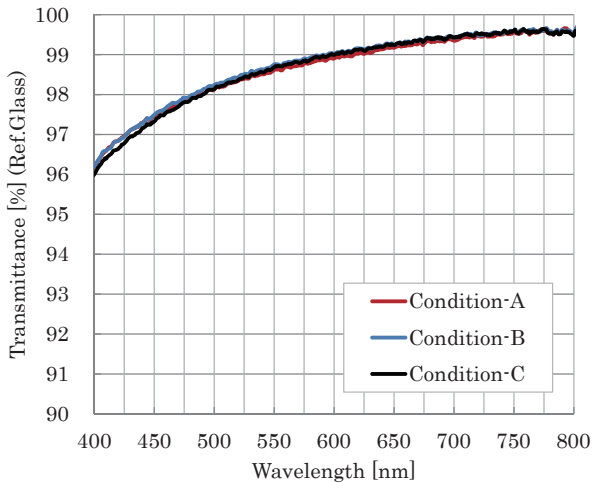


Figure 5 Transmittance of High Resistivity Transparent Conductive Oxide Electrode using Sputtering Process.

シート抵抗を得るため、ターゲットは導電性(低抵抗)、スパッタされた膜は高抵抗の特性となる。DCスパッタを用いた場合、カソードとアノード間で放電しているため、アノードに高抵抗膜が堆積すると、アノードとしての機能が低下し放電が不安定化する課題がある。この課題に対しては、ボロン(B)やリン(P)などが添加された金属のシリコン(Si)ターゲットに酸化ガスを導入し、ターゲット表面、プラズマ空間、基板上で、シリコンを酸化させ酸化シリコン(SiO_x)膜を得る光学膜用の反応性スパッタプロセスの技術が展開可能である。光学膜用の反応性スパッタプロセスでは、当社で開発したAlternate Current(以下、AC≡MF: Medium Frequency)カソードを採用している。Figure 6に示すACカソードは、2枚のターゲットに対して、1台の電源を用いて交流電力を印加するため、各ターゲットはカソードとアノ

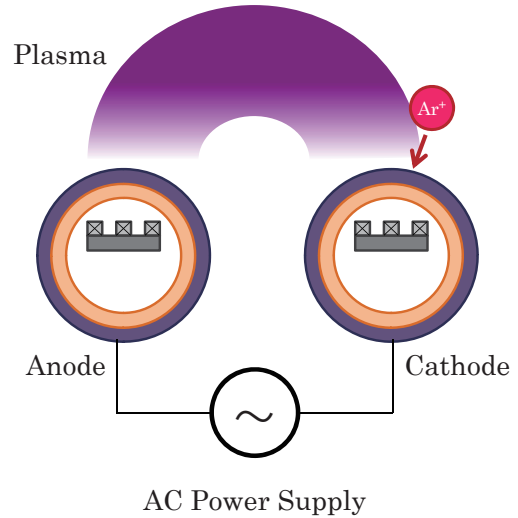


Figure 6 Schema of AC Sputtering Cathode.

ード電位に繰り返し変化する。アノードとなるターゲット上に高抵抗膜が堆積しても、次の瞬間カソード電位となり、堆積された高抵抗膜がスパッタされるため、永久にアノードを確保することができ、安定放電が得られる⁹⁾。

また、高抵抗透明電極は、カラーフィルターガラスと薄膜トランジスタガラスを接着剤で貼り合せ、その後、スリミングと呼ばれるガラスを薄くする加工を施したディスプレイに直接成膜される。ガラスがスリミングされて薄くなっていること、接着剤を使用していることから、ディスプレイの耐熱温度が低下し、成膜温度の低温化が求められる。これに対して、当社が開発した、基板温度上昇を抑制する低温スパッタの技術が有効となる。このような成膜温度に制約のあるプロセスでは、ITOなどの材料は低温で成膜すると十分な結晶化が得られず耐薬品性が低下する課題がある。Figure 7に、4. ITOの高抵抗化評価で述べたITOと、5. 高抵抗透明電極成膜プロセスの開発で述べたスパッタ高抵抗透明電極を、

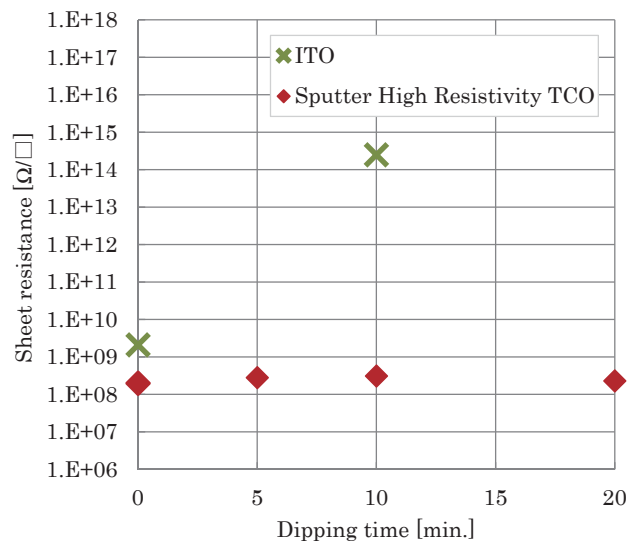


Figure 7 Chemical Corrosion Resistance Test.

室温の燐硝酸酸（燐酸 73%，硝酸 3%，酢酸 7%，水 17%）に浸漬した際のシート抵抗の変化傾向を示す。ITO、スパッタ高抵抗透明電極共に基板温度は 80℃以下で成膜している。ITO は燐硝酸酸の浸漬時間に伴いシート抵抗が増加していることから薄膜がエッチングされていると考えられる。それに対し、スパッタ高抵抗透明電極は著しいシート抵抗の変化が見られない。このことは、後工程などのハンドリングに対して自由度が高く、耐環境性に優れることを示しており、今回、開発したスパッタ高抵抗透明電極を適用可能なアプリケーションの幅が広いと考えている。

7. おわりに

本稿では、In-Cell 型タッチスクリーンパネルに求められる高抵抗透明電極のプロセス開発について述べた。スパッタ高抵抗透明電極は、ITO に代表される透明電極スパッタや光学膜で使用されている酸化シリコンの反応性スパッタなどと異なる新しい分野の成膜技術である。しかしながら、スパッタプロセスとして ITO や酸化シリコンの知見や実績がなければ生産機として完成することは困難である。スパッタプロセスを中心とした当社の開発力を生かし、電極成膜技術を市場に提供すること

で、時々刻々と進化を続けるタッチスクリーンパネルの生産技術に貢献して行く所存である。

文 献

- 1) Synaptics Incorporated : Clear Capacitive Technology from Discrete Sensors to In-Cell and TDDI, (2012)4
- 2) 大井 祥子 : The 28th DisplaySearch Japan Forum, (2016)11
- 3) <http://www.j-display.com/technology/jdilcd/pictureq.html>
- 4) Dae Hyung Kim et al., Journal of Information Display, 15(2014)99-106
- 5) アップルインコーポレイテッド：特許第 4741026 号, (2010)28
- 6) 林哲史：タッチ・パネル最前線 2013-2014, (2012) 168
- 7) 株式会社東レリサーチセンター調査研究部門：新しい透明導電膜, (2005)6
- 8) 澤田豊：月間ディスプレイ, (1996)33-36
- 9) 大石 祐一 他, ULVAC TECHNICAL JOURNAL, 64 (2006)25

ココニモ、 アル。 アルバックの 真空テクノロジー。

私たちがあたりまえに使っているタブレット端末のディスプレイにもアルバックの真空技術が役立っています。
真空技術の応用分野は、半導体、電子部品、薄型テレビ、太陽電池、自動車、医薬、食品など多岐にわたり、
多くの産業分野と科学の発展に必要不可欠な基盤技術となっています。

「ココニモ、アル。アルバックの真空テクノロジー。」
アルバックは、技術革新が進む様々な分野で、
真空の極限を追求していきます。