

透明導電膜

(1960 年代～現在)

Key-words：酸化インジウムスズ、フラットパネルディスプレイ、太陽電池、スパッタリング法

透明導電膜はフラットパネルディスプレイや太陽電池の透明電極を中心として広く使われている。またその応用可能性は広く産業領域が多岐にわたることから多くの研究開発がなされてきた。中でも ITO（酸化インジウムスズ）膜はその特性、加工性、耐久性の観点からフラットパネルディスプレイ用の透明電極として最適である。2000 年代にインジウム価格の高騰やインジウム資源の枯渇問題が話題となり、In 代替材料の開発も行われたが、リサイクル技術が進展し供給不安が解消された。ITO 膜は現在でも透明導電膜の代名詞であり今日の便利で豊かな世の中を支えている。ITO 膜は透明性、導電性には優れているが、屈曲に弱いという欠点があり柔軟性が必要とされるフレキシブルデバイス用の透明電極としては使いづらい。近年では柔軟性を備えた透明電極として導電性高分子、Ag ナノワイヤー、グラフェンなど、新しい透明導電膜の開発も進展している。

1. 製品適用分野

ディスプレイ分野、太陽電池分野、建材分野など

2. 適用分野の背景

透明導電膜とは、その名の通り「透明」でかつ「電気」を流すことのできる膜である。電気を流す材料と言えば一般的には金属で、可視域で大きな吸収係数を持ち不透明である。一方でガラスのような透明材料は一般的には絶縁体であり、電気を流すことと透明であることを両立するのは困難であった。透明導電膜として現在最も利用されている ITO 膜は、1969 年に工業技術院大阪工業技術試験所^{注1)}の勝部氏らによって開発された。導電性、透明性、パターニング加工性が優れていることから、フラットパネルディスプレイ（FPD）用の透明電極として急速に普及した。ITO 膜に使用されているインジウムは希少金属であるため、資源枯渇が懸念され、代替材料の開発が盛んに行われた時期があった。しかしながら、リサイクル技術が進んだことで、現在では供給不安が解消され価格も安定している。

3. セラミックスの特徴

広いバンドギャップを有する可視域で透明な半導体材料に、適切な元素を添加することで透明導電膜とすることができる。バルク状態では黄色～灰色だが、図1に示すように薄膜にするとほぼ無色透明となる。表1に代表的な透明導電膜の特徴を示すが、酸化インジウム（ In_2O_3 ）ベースの材料が他の材料と比較して万能であり使用しやすい材

表1 代表的な透明導電膜と特徴

半導体材料	In_2O_3	SnO_2	ZnO
添加元素	Sn, Zn, Ce など	F, Sb, Ta など	Al, B, Ga など
低抵抗	◎	△	○
高透過	○	△	◎
パターニング性	◎	×	△
耐久性	○	◎	×

料であると言える。

4. 製品

酸化インジウム（ In_2O_3 ）ベースの材料の中でも、特にスズ（Sn）を添加した ITO 膜は、他の透明導電膜と比較して低抵抗化しやすく、酸に溶解しアルカリに耐性があることからパターニング性に優れているため、FPD 用の透明電極として最適である。図2に静電容量型タッチパネル付液晶表示装置の構造を示す。今や世界中の人が手にしているスマートフォンの高精細なディスプレイとタッチセンサー機能の実現に必要不可欠な存在となっている。

酸化スズ（ SnO_2 ）ベースの透明導電材料は、化学的に安定しており耐久性が高いことから、アモルファス Si 太陽電池のガラス基板側の透明電極や、建材用の低放射（Low-e）ガラスなどに用いられている。

酸化亜鉛（ ZnO ）ベースの透明導電材料は、吸収ロスが少ないという特徴から特に低温プロセスにおいて厚膜化しても透明性を維持することができる。化合物太陽電池の窓層の透明電極として採用実績がある。その他にも、透明電極は結露解除や着雪防止を目的とした「透明ヒーター」にも使用されている。



図1 ITO 膜付きガラス

ガラス基板に厚さ 150 nm の ITO 膜を形成し、電気抵抗をテスターで測定し導通が確認された様子

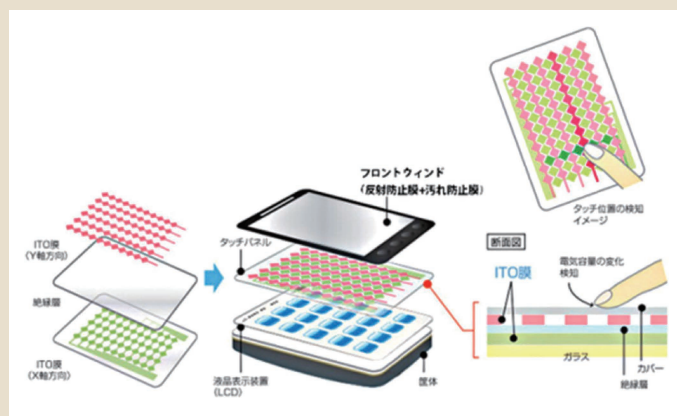


図2 静電容量式タッチパネル付液晶表示装置の構造

タッチパネルは下の画面が見えるようにタッチする部分は透明で無ければならない。また、電氣的にタッチした箇所を検出するので、透明で、かつ電気を通す透明導電膜が電極として使用されている。

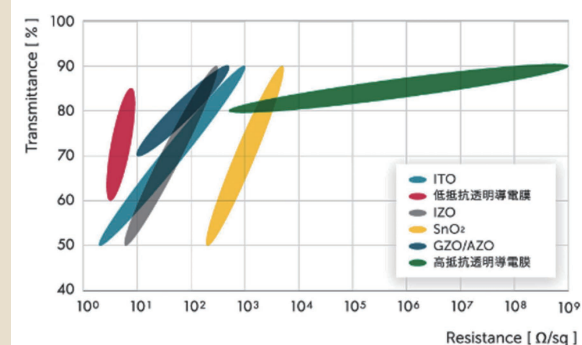


図3 各種透明導電膜の透過率とシート抵抗

ITO：Snをドーブした In_2O_3
 IZO：Znをドーブした In_2O_3
 GZO：Gaをドーブした ZnO
 AZO：Alをドーブした ZnO

5. 製法

ITO膜は真空蒸着法によって初めて工業化されたが、今日ではスパッタリング法が最もオーソドックスな成膜手法となっている。真空蒸着法とは真空中に薄膜としたい物質を設置し、それを加熱蒸発させ基板に堆積して薄膜化する方法である。一方スパッタリング法とは真空中に設置したターゲットへイオン化させた希ガス元素を衝突させ、ターゲット表面の元素をはじき出すことで基板に堆積して薄膜化する方法である。いずれも物理気相成長（PVD）法と呼ばれ、気相中で基板の表面に物理的手法により目的とする物質を堆積する方法である。

一方で、ITO以外に実用化されている透明電極である SnO_2 にフッ素（F）を添加したFTOや、 ZnO にホウ素（B）を添加したBZOは、CVD法^{注2}と呼ばれる手法で作製されている。

6. 製品性能・スペック

図3は各種透明導電膜の透明性と導電性を示したものである。ベース材料や添加材料を選択することによって、多種多様な特性を実現することができる。

7. 現在・将来展望

透明導電膜は、これまでFPDや太陽電池の分野を中心に、産業応用上重要な材料として広く研究開発されてきた。中でもITO膜はスマートフォンやタブレットPCといった情報端末の普及という観点から、今日の便利で豊かなSociety4.0（情報社会）の実現に大きく貢献した材料である。一方で、今後のSociety5.0（超スマート社会）の実現に向けて近年盛んに研究されているウェアラブルデバイス分野では、透明性と導電性に加えて「柔軟性」を備えた透明電極が必要とされている。しかしながら従来広く用いられてきたITO膜は、屈曲すると割れやすい問題を抱えている。そのためITO膜に変わる透明導電材料として、導電性高分子、Agナノワイヤー、グラフェンなどの研究開発が盛んに行われており、徐々に実用化され始めている。

注2 化学気相成長法：Chemical Vapor Depositionの略で、目的となる薄膜の原料ガスを供給し、熱、プラズマ、光などのエネルギーを与えて化学反応により基板の表面に膜を堆積する方法。

〔連絡先〕 伊東 孝洋（いとう たかひろ）
 ジオマテック株式会社 研究開発部
 〒146-0093 東京都大田区矢口3-13-7