

フレキシブル透明導電酸化物薄膜の導電性劣化機構
 Conductivity degradation mechanisms of flexible transparent conducting oxide films
 村野 海渡(電気電子工学科)
 Kaito Murano
 高性能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 准教授

1. イントロダクション

現在液晶ディスプレイやタッチパネルの基板にはガラスが用いられている。ガラス基板では、フレキシブルデバイスの作製は難しい。ガラス基板よりも衝撃や屈曲に強い PET 基板を用いることで、フレキシブルデバイスの作製が可能だと考えられる。しかしながら、従来の透明導電膜材料として用いられている ITO は、形状変化に対して弱く、電気的特性が変化してしまう特徴ことが知られている。¹⁾ ITO は硬く、脆いため曲面や折り曲げ利用でのデバイスへは向かないとされている。しかしながら、その劣化機構について、どのように膜の劣化が生じるか詳しくわかっていない。形状変化に対して導電特性が変化してしまうとデバイス化したときの性能が左右されてしまう問題がある。そのため、フレキシブル透明導電膜では形状変化による特性変化のないものが求められている。本研究では、透明導電酸化物 ITO 薄膜の形状変化に対する電気伝導性特性のリアルタイム変化を測定することで劣化要因の解明を目的とした。加えて形状変化に強いとされるカーボン材料に着目し、導電性劣化の抑制に関する評価を行った。

2. 実験方法

2.1 ITO の形状変化試験

フレキシブル透明導電酸化物として、市販の ITO 付き PET 基板(Sigma-aldrich,639393-1EA,膜厚 130nm)を用いた。屈曲試験機を用いて ITO-PET 基板を形状変化させ、その時の抵抗値の変化を測定した。形状変化は、5 mm の押し込み後戻しを 2 回行った。

2.2 アニール処理条件の最適化

大気アニール処理は、120min 一定で、温度を 50,70,100,120,140,150,160°C で変化させ、最適化を行った。

2.3 形状変化試験後の基板表面観察

屈曲試験後の ITO-PET 基板を走査型電子顕微鏡(jsm-6380LA)を用いて作動距離 15 mm,加速電圧 7kV の条件で表面観察を行い、基板形状変化に伴う薄膜モルフォロジーへの影響を観察した。また、形状変化の回数と抵抗値の上昇の依存性を確認するため、1 回折り曲げの基板と 2 回折り曲げの基板を観察し、比較した。

3. 結果

3.1 ITO の形状変化試験

形状変化の基板状態の概要図と、それに伴う抵抗変化の結果を図 1 に示す。基板を折り曲げているときに抵抗値が上昇し、形状が戻るにつれて抵抗値が元に戻っていくことが分かる。また、2 回目の折り曲げの方が抵抗の上昇が大きくなった。

基板形状変化後の表面抵抗測定の結果を図 3 に示す。形状変化前では抵抗値はどこをとっても一定値であったが、変化後では中心部分の抵抗値が非常に高くなった。

3.2 アニール処理条件の最適化

図 1 より 120°C でアニール処理を施すと、抵抗値の上昇が一番低くなることが分かった。これにより、本実験で使用した ITO-PET 基板は 120°C が最適アニール温度であることが分かった。

また、120°C アニール処理を施した基板の表面抵抗測定の結果を図 3 に示す。120°C アニールを施すと抵抗値が下がり、形状変化に伴う抵抗値の上昇も抑えられることが分かった。

3.3 形状変化試験後の基板表面観察

基板表面観察結果を図 4 に示す。1 回折り曲げでは点のような断裂がいくつか点在していることが分かる。それに対し、2 回折り曲げでは細長い断裂と点のような断裂が 1 回折り曲げ基板よりも多く観察された。

3.4 カーボンインク塗布

カーボンインクを塗布した基板の抵抗変化の結果を図 2 に示す。何もしていない ITO-PET 基板に対してカーボンインクを塗布するとかなり低い抵抗変化量になることが分かった。

4. 考察

基板形状を変化させたときの抵抗の上昇は図 3 より基板折り曲げ時に頂点になる基板中央部分で、図 4 の観察図より、ITO 膜に断裂が起こることによって生じていると考えられる。また、1 回目の折り曲げで点の断裂が生じ、2 回目の折り曲げにより点の断裂が拡大し長い断裂になると考えられる。そこに新しい点の断裂が生じ(d)のような状態になると考えられる。断裂が拡大、増加したことで、1 回折り曲げの抵抗値よ

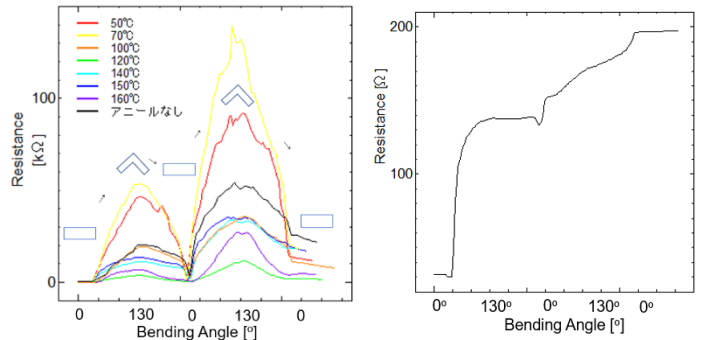


図 1 アニール温度による抵抗変化比較と変形概略図

図 2 カーボンインク塗布基板の形状変化抵抗測定

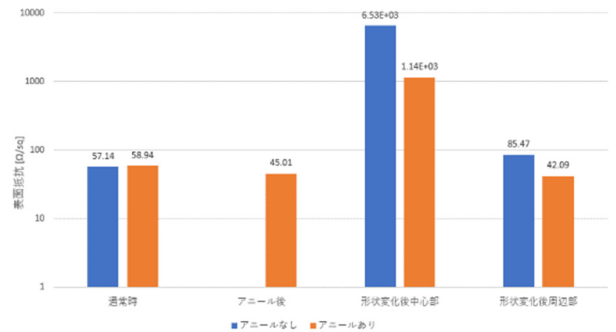


図 3 表面抵抗測定結果

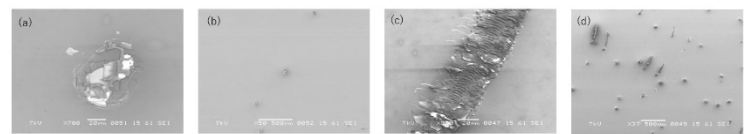


図 4 (a),(b) 1 回折り曲げ基板の断裂図と周辺拡大図
(c),(d) 2 回折り曲げ基板の断裂図と周辺拡大図

りも 2 回目の抵抗値の方が高くなっていると考えられる。アニール温度条件では、図 1 から 50,70°C のアニールでは抵抗値が低下していない。これは温度が低く、ITO 膜の構造が変化していないと考えられる。また、140°C 以上の温度でのアニールでは抵抗値は低下しているが、120°C よりも低くない。これは、ITO 膜の構造は変化しているが、下地の PET 基板にダメージが入ることで抵抗値が少し上昇し 120°C よりも低くならなかったと考えられる。

5. ITO-PET 基板の課題とそれに対するアプローチ

形状変化により電気的特性のないフレキシブル透明導電膜を目指すために、中央部分での ITO 膜の断裂や基板変形時の抵抗上昇のメカニズムを解明し、改善するプロセスが必要となる。解決策の 1 つとして、今回の実験で触れたカーボンインクが有用だと考えられる。実験結果からも抵抗上昇の抑制効果があると分かったため、今後塗布条件などを最適化することで高透過率かつ特性変化の少ないフレキシブル透明導電膜が得られると考えた。

6. まとめ

本実験ではフレキシブル透明導電膜の実現のために ITO-PET 基板の形状変化による特性変化の測定と原因の調査、カーボンインクの評価を行った。屈曲試験による ITO 膜への影響の観察、またその影響による電気的特性の変化を測定することができた。今後は、カーボンインクをさらに改良し、透過率や導電率の向上、形状変化による抵抗上昇を抑えることで、性能の良いフレキシブル透明導電膜の作製を目指す。

7. 参考文献

1) 渡邊 雅人,小池 淳一,エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集,2006,20 巻,第 20 回エレクトロニクス実装学会講演大会,セッション ID 24C-19, p.275-227