

銀ナノワイヤー網目堆積層を使ったフレキシブル半透明電極 の試作と導電性・酸化耐性・屈曲性の向上

Fabrication of Ag Nanowire Deposited Semitransparent Electrode and Its Improvement
Concerning the Electrical Conductivity, Antioxidation Resistance and Bending Durability

大阪電通大工¹ ○増田 啓宏¹、富岡 明宏¹

Osaka Electro-Comm.Univ.¹, ○Akihiro Masuda¹ and Akihiro Tomioka¹

E-mail:mf14a009@oecu.jp

【背景】現在液晶パネルやタブレット端末などに使用されている透明電極としては、ITO (Indium Tin Oxide) という導電性酸化物薄膜が使われている。このIは「インジウム」という希少金属のことで、こうした希少金属は高価だけでなく、今後政情不安により入手が不安定になる可能性がある。このような背景から希少金属を使わない透明電極の開発が急務となっている。そこで、銀ナノワイヤーを基板上に適当な密度で堆積することにより、交差する銀ナノワイヤーの網目が電流の流れる経路を形成しつつ、網目の隙間が光の透過領域となるような半透明電極を作製した。

本研究では、銀ナノワイヤーの表面吸着高分子による導電性低下、硫化・酸化防止の効果を測定した。また、透明プラスチック基板上に銀ナノワイヤーを堆積させ屈曲可能（フレキシブル）半透明電極を作製した。

【結果と考察】Ar プラズマ処理を行っていない銀ナノワイヤーは加熱温度 300℃で、Ar プラズマ処理を行った銀ナノワイヤーでは 450℃で玉状に変形した。これは融解でなく、Rayleigh-Plateau 不安定性による形態変化であることが知られている。事実、示差走査熱量測定 (DSC) の結果では 250～350℃にブロードな発熱ピークのみ観測され、これは再結晶化によるより安定な相への相転移であることを示している。この相転移がアニーリングによる 4 桁の導電性向上に対応していると考えられる。この転移温度が Ar プラズマ処理によって 300℃から 450℃へ上昇したことは、PVP 高分子が Ar プラズマ処理により一部脱離し、銀ナノワイヤーの表面エネルギーが上昇したと考えれば説明できる。即ち高分子吸着により銀ナノワイヤーの表面エネルギーが低下し転移温度が下がっていた（融点低下と同様の機構）のが、高分子の部分脱離より転移温度が上昇したと考えられる。従って Ar プラズマ処理によって、半透明電極作製時に可能な温度範囲が 450℃未満まで広がったといえる。

酸化による伝導性の低下は観測されなかった。銀ナノワイヤーは 300℃アニーリングにより、シート抵抗値は約 1/100 万に低下、その後 10 日間経時変化は 1%以下とほとんどなかった。比較のため純粋な銀フレークを堆積した場合は導電性が日を迫って 2 桁ずつ低下した。この結果から表面吸着した PVP 高分子が銀ナノワイヤーの硫化・酸化を防いでいることがわかる。

プラスチック基板に銀ナノワイヤー懸濁液を脱濡れ法で塗布した。基板に塗布した銀ナノワイヤー層の上から銀ペースト電極パターンを塗り、平らな状態と 90° 屈曲（半径 2mm）した状態、もう一度平坦に戻した状態で測定した。フレキシブル半透明電極の屈曲前、屈曲中、平らに戻した時でも導電性はほとんど変化がなかった。銀ナノワイヤーの切断や交叉の消失が起こっていないと考えられる。

【結論】Ar プラズマ処理により PVP 高分子が部分除去され、400℃までの加熱を行ってもファイバー形状が維持されるようになった。半透明導電層製造に必要とされる各種処理の温度制限が事実上なくなったといえる。また、導電性向上のためのアニーリングは 200℃までの加熱で十分であった。空気中の酸素や硫化水素による銀ナノワイヤーの導電性の劣化は少ない。これは Ar プラズマ処理を行っても、ナノワイヤー表面に残存する高分子が十分に酸化を防ぐ効果をもっているからだと考えられる。透明プラスチック基板上に堆積させた銀ナノワイヤーは屈曲による導電性変化は小さく、フレキシブル半透明電極に実用可能である。