

Title	柔軟エレクトロニクスにむけた配線技術開発
Author(s)	荒木, 徹平
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/50521
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (荒木 徹平)

論文題名 柔軟エレクトロニクスにむけた配線技術開発

論文内容の要旨

衣服や肌などに貼り付けても違和感のないウェアラブルエレクトロニクスの実現にむけて、柔軟な電子材料の開発が進められている。その結果、金属配線材料には、フレキシビリティだけでなく電子デバイス全体のひずみを負担するための伸長性が必要であり、さらに、集積化により電子デバイスを高性能化するための微細配線形成が求められている。また、大量製造可能なロール・トゥ・ロールプロセスにおいて、電子材料を印刷により短時間形成することが期待されている。そこで、第1章では、動向調査および課題抽出を行い、目標として「伸縮性導体材料の開発およびその材料を用いた印刷微細配線プロセスの構築」を定めた。

多くの研究は、シリコン基板上へ伸縮性導体を貼り付けた構造を採用していた。シリコンは、耐熱性・耐候性に優れているが異種材料との密着性に乏しい。そのため、シリコンを基材とした伸縮性導体は、煩雑な密着性向上プロセスを必要とし、さらに2倍程度の伸長で導電性を失っていた。そこで第2章では、シンプルな作製方法で高伸長可能な伸縮性導体の開発を目的とした。ポリウレタン基板上へ印刷形成された銀フレック/ポリウレタン複合材料の伸縮性導体は、簡便な作製方法にもかかわらず、ポリウレタンの優れた密着性によりポリウレタン基板から剥がれることなく、さらに断線することもなく7倍伸長時に通電することを明らかにした。

銀ナノワイヤのランダムネットワークは、高導電性に加えて伸長性を備えるため、次世代の透明導電膜材料として期待されている。しかし、従来の銀ナノワイヤ（直径約70 nmで長さ約10 μm ）透明導電膜は、ワイヤの光散乱により5%-15%の高いヘイズ（曇り度）を有し、ディスプレイ材料において課題を残した。そこで第3章では、銀ナノワイヤをロング化できる化学合成法を確立し、高アスペクト比のワイヤで少ない本数のランダムネットワークを構築して、光散乱を抑えた低ヘイズ透明導電膜の開発を目的とした。ポリオール法において化学合成温度と攪拌時回転数の影響を明らかにし、長さ約44 μm の超ロング銀ナノワイヤを開発した。超ロング銀ナノワイヤ透明導電膜は、現行のリジッドなディスプレイで使用されているITO（酸化インジウムスズ）と同等のヘイズ（1%-3%）を達成した。

今までの伸縮性導体材料は、蒸着や加熱などの長時間プロセスで形成されていた。また、印刷微細配線は、版を用いた接触式の印刷法で形成されていた。そこで第4章では、連続的に電子材料を積層していくロール・トゥ・ロールプロセスにむけて、既に形成された素子を傷めることが無い非接触でかつ高速に描画できるレーザー転写印刷により微細配線を描画し、短時間に配線の高導電性化を行うことを目的とした。銀ナノワイヤを用いた場合、転写印刷により焼結配線が形成され、低抵抗率に加えて伸縮性や透明性を有する微細配線が形成できることを明らかにした。銅錯体インクを用いた場合、微細液滴を転写印刷でき、さらにインク配線は短時間（数秒以内）の光照射で銅配線として還元できることを明らかにした。

以上より、本研究では、超伸長可能な伸縮性導体材料、および導電性フィラーとして超ロング銀ナノワイヤを開発した。また、超ロング銀ナノワイヤおよび開発した銅錯体インクを用いて印刷による微細配線形成技術を確立した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (荒 木 徹 平)			
論文審査担当者	(職)	氏	名
	主 査	教 授	菅 沼 克 昭
	副 査	教 授	関 谷 毅
	副 査	准教授	能 木 雅 也
	副 査	教 授	浅 田 稔
	副 査	教 授	中 谷 彰 宏
	副 査	教 授	平 田 勝 弘
	副 査	教 授	南 埜 宜 俊

論文審査の結果の要旨

近年、ウェアラブルエレクトロニクスの実現に向けて、衣服や肌などに貼り付けても違和感のない柔らかな電子材料の開発が進められている。その結果、金属配線材料にはフレキシビリティだけでなく電子デバイス全体のひずみを負担するための伸縮性が必要となり、また、集積化により電子デバイスを高性能化するための微細配線形成や、場合によっては配線自体の透明性が求められつつある。ITO 代替技術として期待される銀ナノワイヤ透明導電膜は、高導電性と伸長性を備えるが、ディスプレイ等の用途にむけて高いヘイズ（曇り度）が課題である。

そこで本研究では、銀粒子や銀ナノワイヤなど金属フィラー分散高分子による伸縮性導体材料の開発、ITO 代替材料としての銀ナノワイヤ透明導電膜特性の向上、銀ナノワイヤを用いたレーザー転写法による印刷微細配線プロセスの開発、光照射による短時間配線キュア法の開発を行った。その結果、以下の成果を得た。

- (1) 印刷形成した銀粒子/エラストマー複合材料の伸縮性導体において、銀粒子とエラストマーの界面密着性の良否が特性に大きく影響し、エラストマーにポリウレタンを選択することで7倍伸長可能な伸縮性導体が達成される。銀粒子/ポリウレタン伸縮性導体は、ポリウレタンの優れた銀粒子への密着性により断線することなく、さらに基板から剥がれることもなく伸長可能な配線材料である。
- (2) 銀ナノワイヤの合成条件を最適化することにより、従来の4倍以上となる数十 μm から100 μm の長さの銀ナノワイヤの化学合成が可能である。この銀ナノワイヤを用いることで、透明導電膜のヘイズが改善され、従来のITO透明導電膜と同等なヘイズ値と、より優れた透明性と低抵抗特性が得られる。
- (3) 銀ナノワイヤを用いたレーザー転写印刷により、優れた焼結配線が形成され、低抵抗率に加えて伸縮性や透明性を有する微細配線が形成できる。
- (4) アミン溶媒の銅錯体インクを配線し光照射を行うと、短時間（数秒以内）で還元銅配線を作製可能である。この銅錯体インクを用いたレーザー転写印刷により、微細液滴が形成できる。

以上のように本論文では、伸縮性導体材料において、エラストマーの有する密着性が高伸長化にむけて重要であること、および金属ナノワイヤのアスペクト比が光学的特性の改善に重要であること、さらに、レーザー転写や光照射などの印刷微細配線プロセスの構築により、伸縮性や透明性を有する微細配線を非接触式の印刷技術で作製可能なことを明らかにした。これらの知見や技術は、電子材料を連続的に印刷するロール・トゥ・ロールプロセスむけて有意義である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。