



Title	銀ナノワイヤを用いた印刷アンテナの作製と特性評価
Author(s)	菰田, 夏樹
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59899
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【110】	
氏 名	こも だ なつ き 菰 田 夏 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 6 1 7 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科知能・機能創成工学専攻
学 位 論 文 名	銀ナノワイヤを用いた印刷アンテナの作製と特性評価
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 菅 沼 克 昭 (副査) 教 授 平 田 勝 弘 産 業 科 学 研 究 所 招 へ い 教 授 大 塚 寛 治 准教授 能 木 雅 也 教 授 浅 田 稔 教 授 中 谷 彰 宏 教 授 南 埜 宣 俊 教 授 安 田 秀 幸

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、プリントドエレクトロニクス分野で注目を浴びている銀ナノワイヤを高周波用配線、特にアンテナ用配線の配線材料として着目し、その電気的特性に関する知見を得た。また、印刷技術ならではのフレキシブルで高機能なアンテナ作製を行った。以下にまとめる。

第2章では、銀ナノワイヤを銀ペースト材料として高周波用配線としての評価を行った。
銀ナノワイヤペーストで作製した銀ナノワイヤ印刷配線の体積抵抗率は、最も低くても $21\mu\Omega\text{cm}$ と、バルク銀の10倍程度と大きな値ではあったものの表面は非常に滑らかであることが確認された(表面粗さ(Ra): $0.8\mu\text{m}$ 未満)。

高周波線路では、電磁波が導電部の表面部に集まってくる表皮効果と呼ばれる性質があり、この滑らかな表面は高周波特性のアプリケーションに大きな利点であった。実際にフィラーの異なる種々の銀ペースト、銅箔で評価を行うとどの配線材料よりも表面が滑らかで0.5から5.0 GHz の範囲で良好な高周波特性を示した。100℃で加熱してもその表面平滑性は損なわれないため、プラスチック基板上にも適応可能であった。アンテナ配線材料としての銀ナノワイヤの新しい用途を提案した。

第3章では、さらなる低損失な配線材料として銀塩インクを取り上げた。
銀塩インクは有機銀錯体が溶媒にイオンの形で溶融しているインクで析出時に非常に小さな銀クラスターが基板を覆うため、表面が非常に滑らかで鏡面のような光沢を有する特徴がある。一方で銀塩インクは正味銀量が非常に小さいため $1\mu\text{m}$ 程度の薄膜しか作成できない。高周波線路では、電磁波が導電部の表面部に集まってくる性質があるものの数GHzでは、表面から数 μm 程度の部分に電磁界が生じるため、銀塩インク単体では損失が大きくなることが分かった。銀塩インクの鏡面のような滑らかな表面と高導電性を活かす方法として圧膜の配線表面へインクジェット印刷で重ね塗りする方法を提案した。印刷後の配線表面は非常に滑らかで、光沢のある表面が得られ高周波特性の向上に寄与した。さらに、インクジェット印刷を用いることでマスクレス、非接触であることから既にパッケージングが行われている製品のアンテナ特性向上にも効果があることを実験で証明した。

第4章、第5章では、第2章、第3章で得られた知見をもとに基板の影響を評価した。低温で作製できる銀ナノワイヤとセルロースナノファイバー基板という新たな紙基板を用いて折り畳み可能な印刷アンテナを作製した。一般的な紙であるパルプ紙上の銀ナノワイヤ印刷アンテナでは、その10～30 μm 幅のマイクロサイズのセルロース

繊維による大きな表面粗さが感度を悪化させたがセルロースナノペーパーでは繊維のサイズが20～60 nmと非常に小さく、パルプ紙に比べて著しくスムーズな表面が得られたことで、セルロースナノファイバー上のアンテナはプラスチックアンテナと同等の高周波特性を得ることができた。また、感度は落ちるものの、銀ナノワイヤの特徴である高アスペクト比、高導電性を利用した透明導電膜を応用した透明アンテナの作製を行った。銀ナノワイヤ印刷アンテナは、その配線部と基板部の複雑なネットワーク構造のため、高い折り曲げ性を示した。銀ナノワイヤとセルロースナノファイバーという高アスペクト比な材料を組み合わせることで、好感度で折り曲げ可能な新たな機能アンテナを提案した。

以上、銀ナノワイヤの導電性の高さのアスペクト比の高さというメリットを用いることで今までにない新しいアンテナを提案することができた。電子機器に限らず、あらゆるものに通信機能が付与されている現代のニーズに合ったアンテナ評価、研究は今後の社会発展に多大な貢献ができるものと自負する。

論文審査の結果の要旨

プリントド・エレクトロニクスは、機能性ナノインクと印刷技術を用いてエレクトロニクス機器を製造する次世代の産業技術として期待されている。本研究では、この分野で実用が期待される銀ナノワイヤをナノインクとし、高周波用配線、特に、アンテナ用配線材料として評価を行い、種々の電氣的特性に関する知見を得た。また、印刷技術ならではのフレキシブルで高機能なアンテナ作製を行い、本技術の可能性を検討した。その結果として、以下の成果が得られている。

- (1) 作製した銀ナノワイヤ印刷配線は、体積抵抗率は $2.1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$ 程度であり銀の 10 倍程度大きいのが、0.5GHz から 5.0 GHz の高周波範囲で、種々の異なるフィラーを用いた銀ペーストや銅エッチング箔により形成したアンテナより良好な周波数応答特性を示した。この効果は、銀ナノワイヤ配線の表面粗さ (Ra) が $0.8 \mu\text{m}$ 以下になり、この平滑さが有効に働いたためであることが示された。
- (2) 銀塩インクで描画した配線では、含有銀量が少なく $1 \mu\text{m}$ 程度の厚さになる。このため、数 GHz の周波数では表面から数 μm 程度の部分に電磁界が生じ、銀塩インク単体の配線で損失が大きくなることが分かった。そこで、銀塩インクを銅配線など厚膜表面ヘインクジェット印刷で重ね塗りする方法を提案した。印刷後の配線表面は平滑で光沢があり、高周波特性の向上に寄与した。
- (3) 銀ナノワイヤとセルロースナノファイバー基板を用い、折り畳み可能な印刷アンテナを作製した。市販のパルプ紙上の銀ナノワイヤ印刷アンテナは、その 10～30 μm 幅の粗大セルロース繊維による表面粗さが感度を悪化させたが、セルロースナノファイバー基板では繊維のサイズが 20～60 nm と非常に小さくスムーズな表面が得られ、プラスチックアンテナと同等の優れた高周波特性を得ることができた。
- (4) 銀ナノワイヤの特徴である高アスペクト比、高導電性を利用した透明導電膜を応用し、透明アンテナの作製評価を行った。銀ナノワイヤ印刷アンテナは、好感度であるばかりでなく、基板のセルロースナノファイバーとの密着性に優れ、優れた折り曲げ性を有することが明らかになった。

以上のように、本論文は、銀ナノワイヤの高導電性と高アスペクト比、更にセルロースナノファイバーを用いた基板の特長を生かし、これまでに無い新しい印刷アンテナの製造方法を提案することができた。本技術は、あらゆる物に通信機能が付与されるこれからの社会ニーズに対し、少なからぬ貢献ができるものと期待される。

よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。