

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18060

研究課題名(和文)印刷デバイスの形状自由度を損なわない常温配線実装技術の開発

研究課題名(英文)Development of interconnection techniques at room temperature for printed devices with a high form factor

研究代表者

野村 健一(Ken-ichi, Nomura)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・フレキシブルエレクトロニクス研究センター・主任研究員

研究者番号：00580078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：印刷・フレキシブルデバイスに向けた柔軟性の高いコネクタ構造、およびその電極・配線の高速製造技術の開発に取り組んだ。接続部の柔軟性に加え、フィルム基材に熱負荷をかけない手法として、粘接着体を利用した貼付型の電極・配線接続に係る技術開発を推進するとともに、転写印刷技術を利用し、微細で厚膜の電極・配線を粘接着体上に効率的に形成する技術を確立した。さらに、それら技術を利用して実際の回路動作にも成功した。

研究成果の概要(英文)：Developments of a connector structure for flexible interconnection and a technique of electrode fabrication for mass production of the connectors have been performed for various printed/flexible devices. In particular, techniques of adhesive-assisted flexible interconnection without applying heat and transfer printing to form fine and thick electrodes on adhesives efficiently have been developed. Furthermore, circuit operation was successfully performed using the developed interconnection systems.

研究分野：印刷エレクトロニクス

キーワード：フレキシブルデバイス 印刷デバイス 電極・配線 常温実装 コネクタ

1. 研究開始当初の背景

プラスチックフィルムを基材としたフレキシブルデバイスや、その発展形としてのストレッチャブルデバイスに関する研究開発が各研究機関で勢力的に実施されている。薄く、軽く、形状自由度が高く、時に伸縮性も有するデバイスは、衣服型デバイスを始めとするこれまでにないパラダイムを切り拓くと考えられる。しかしながら、そういったデバイスを駆動させるのに必要な実装技術については、これまでほとんど開発されていない。厚くて固いコネクタや圧着端子等を用いてデバイスを駆動しているのが現状である。これでは、本体は曲がっても接続部は曲げられない中途半端なフレキシブルデバイスになってしまい、その魅力が半減してしまう。真にフレキシブルなデバイスを構成するためには、接続部もフレキシブル性を有することが必須である。さらに、そういったコネクタが実用化された際には、大量製造することが求められるため、その高速製造技術も併せて開発する必要がある。

2. 研究の目的

コネクタ部も含めた全フレキシブルデバイスの創生を目指し、フレキシブルな実装技術・コネクタの開発を行った。その際に重要となるのは、柔軟性もさることながら、基材が耐熱性の低いフィルムのため、熱レスで実装を行うことである。そこで、本研究開発では、粘接着体上に電極・配線が形成された貼付型コネクタ構造をベースに、常温かつ柔軟性を維持できるフレキシブルな実装技術を確立するとともに、そのようなコネクタに求められる線幅 50 μm 以下、厚み 5 μm 以上の電極・配線を、粘接着体上に高速で形成しうる製造技術を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)印刷技術を用いた粘接着体上への微細電極・配線の形成手法確立

コネクタの大量製造に耐えうる電極・配線形成法として、印刷技術の適用を図った。具体的には、自身が以前に開発したスクリーンオフセット印刷なる印刷技術を用い、所望の線幅・厚みを有する電極・配線の形成を目指した。この印刷法は、転写体となるシリコンゴム上に、スクリーン印刷法により導電インクを印刷した後、続いてゴム上のインクを基材に転写するものである。シリコンゴムがインク中の溶剤を吸収するため、インクパターンの濡れ広がりが抑えられ、通常のスクリーン印刷よりも微細な電極・配線形成が可能となる。また、通常のスクリーン印刷では、刷版に粘接着体が貼りついてしまうため、タック性を有する基材への印刷は不可能だが、シリコンゴムからの転写を利用すれば実現できる。

(2)微細電極・配線の厚膜化技術の開発

スクリーン印刷、あるいはスクリーンオフセット印刷は、他の印刷法に比べ、厚膜を形成できることが特徴であるが、とはいえ、線幅が 100 μm 以下になると、膜厚が顕著に減少し、所望の膜厚を達成することが難しくなる。これを解決するため、重ね刷りによる厚膜化技術の開発を行った。具体的には、シリコンゴムの上に複数回インクをスクリーン印刷することで厚膜化を図った。重ね刷りをする場合、通常は基材上のインクをいったん乾燥させ、その後、インクを重ね刷る。一方、スクリーンオフセット印刷では、前述の通り、シリコンゴムがインク中の溶剤を吸収するため、ゴム上のインクはすでに粘度が高まっており、直ちに次のインクを重ね刷ることができる。

(3)印刷電極・配線および常温フレキシブル実装技術によるデバイス駆動

スクリーンオフセット印刷により、粘接着体上に電極・配線を形成したフレキシブルコネクタ構造を構成し、実際のデバイス駆動が可能かの検証を行った。

4. 研究成果

(1)印刷技術を用いた粘接着体上への微細電極・配線の形成手法確立

まずは、最初のトライアルとして、粘接着性のない PET (ポリエチレンテレフタレート) フィルムに対してスクリーンオフセット印刷を行い、パターンの細線度を確認した。線幅の設計値が 20 μm の直線パターンを有する製版を用い、通常のスクリーン印刷で Ag インクを印刷した場合と、スクリーンオフセット印刷で印刷した場合とを比較したところ、前者ではインクの濡れ広がりにより、線幅が倍以上に広がってしまったが、後者では設計値通りの幅 20 μm の直線状パターンが形成できることを確認した(図 1)。

続いて、基材を粘接着層付のフィルムに変更して印刷を行った。結果、幅 20 μm の配線は薄膜状で転写時にクラックが生じやすかったためか断線が生じてしまったが、30 μm 幅の場合は、断線もなく、安定的に形成することができた(図 2)。汎用のコネクタで用いられている電極の最小幅(幅 40~50 μm)に比べれば、幅 30 μm も十分に細線であり、電気電子デバイスのより一層の微細化にも適用しうる細線化技術を確立できたと考える。

(2)微細電極・配線の厚膜化技術の開発

上記(1)では電極・配線の細線化を行ったが、膜厚は 3~4 μm であり、安定的な実装を実現する膜厚(5 μm 以上)には及んでいない。実装用途に資する厚膜化を実現するため、前述の積層印刷技術により、厚膜化の可否を検証した。図 3(a)-(c)に、線幅の設計値が 20 μm の直線状パターンを単層刷りした場合、2 回重ね刷りした場合、3 回重ね刷りした場合の 3 次元像をそれぞれ示す。1 回刷りでは、

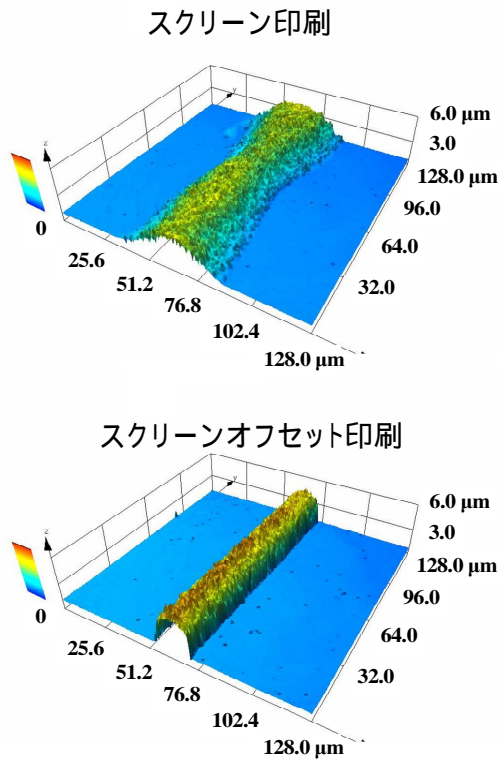


図 1 印刷配線 (線幅設計値 20 μm)

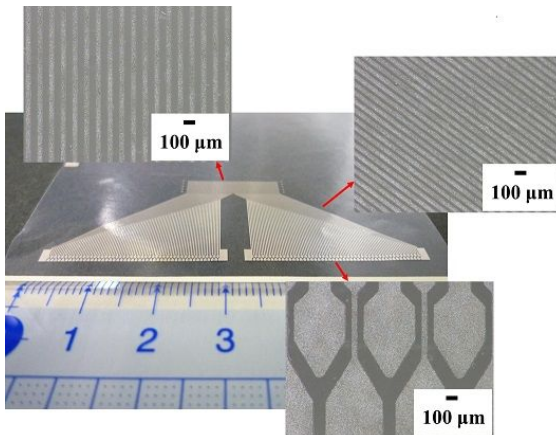


図 2 粘接着層付フィルムの粘接着層上に形成したピッチ変換コネクタ用の配線。右上の写真中の斜線の線幅は 30 μm

線幅は 20 μm で設計値通りだが、膜厚が 4 μm 以下である。一方、2 回刷りを行うと、線幅は 20 μm で変わらないまま、膜厚が 1 回刷りの倍近くの 7 μm まで増加した。さらに、3 回刷りの場合は、線幅が 1~2 μm 増加してしまったものの、厚みは 9 μm 弱となった。時間のかかる熱乾燥工程を複数回行わずとも、電極・配線を簡易に厚膜化できる技術を確認することができた。

(3)印刷電極・配線および常温フレキシブル実装技術によるデバイス駆動

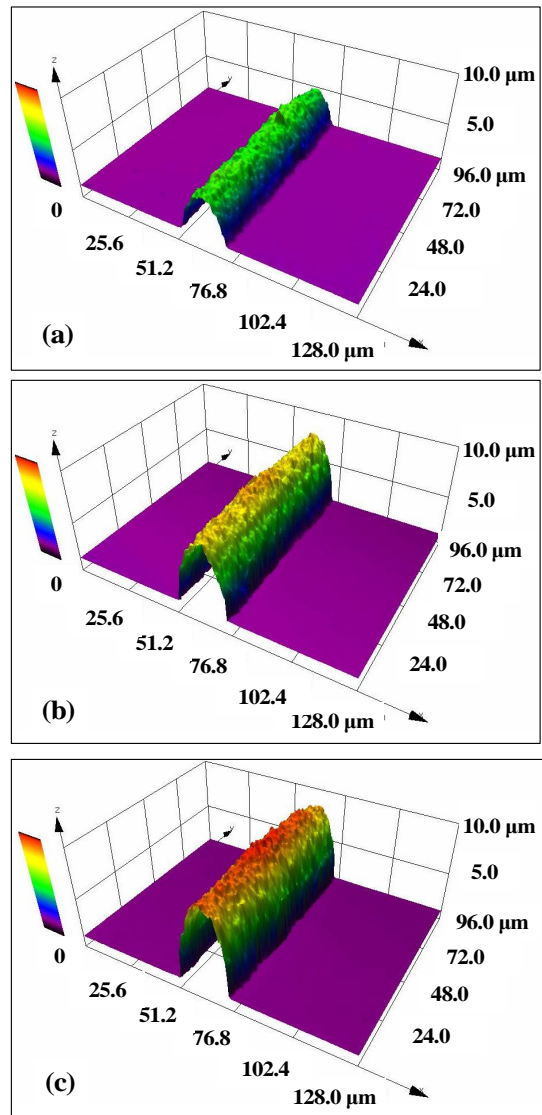


図 3 重ね刷りした電極・配線。(a)1 回刷り、(b)2 回重ね刷り、(c)3 回重ね刷り

最後に、スクリーンオフセット印刷技術により、粘接着層上に電極・配線を形成した上で、その電極・配線上に IC、LED、チップ抵抗、ボタン電池等を実装して、回路として適切に機能するかを確認した。図 4 は、粘接着層上の電極・配線に各種部品を実装する際の手順および接続の機構を示す概念図である。部品を接続させる際は、部品の電極と粘接着層上の電極との位置を合わせながら、部品を押し付ける。この時、粘接着層上の電極間から、その粘接着層がせり出して部品の背面に付着する。さらに、変形した粘接着層は、元に戻ろうとして部品を引き寄せると同時に、部品の電極と回路側の電極間の接圧が確保されて互いに導通する。

粘接着層付のフィルムを凹面に曲げた場合は電極間の接圧が確保される方向に働くため導通に問題はなかったが、凸曲げの場合は、曲率半径を小さく(曲げを強く)すると導通不良が生じた。部品をシーラント材により

補強することである程度の導通不良は回避できるが(図 5)、これでは厚みが増してしまう場合があり、低背化には不利となる。この点は今後の課題と考える。

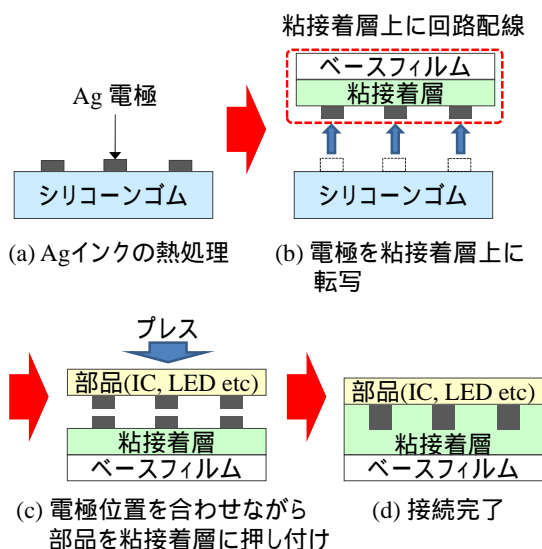


図 4 粘接着層上の電極と部品の電極間の接続手法の概念図

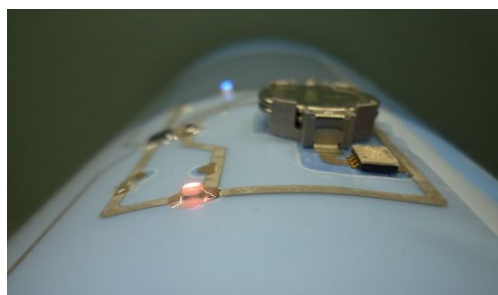


図 5 粘接着層上の電極・配線に、LED、ボタン電池、スイッチ等の各種電子部品が実装された電気回路を凸方向に曲げた様子。曲率半径は 7.5 cm。取扱いを容易にするため、粘接着層は、部品との接続部を除いてレジストでカバーされている

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Ken-ichi Nomura, Hirobumi Ushijima, Kazuro Nagase, Hiroaki Ikedo, Ryosuke Mitsui, Junya Sato, Seiya Takahashi, Shin-ichiro Nakajima, Masahiro Arai, Yuji Kurata, and Shiro Iwata, Simultaneous formation of fine and large-area electrode patterns using screen-offset printing and

its application to the patterning on adhesive materials, Japanese Journal of Applied Physics, 55, 03DD01(1-5), 2016, DOI:10.7567/JJAP.55.03DD01, 査読有

〔学会発表〕(計 4 件)

Ken-ichi Nomura, Hirobumi Ushijima, Kazuro Nagase, Hiroaki Ikedo, Ryosuke Mitsui, Junya Sato, Seiya Takahashi, Shin-ichiro Nakajima, Masahiro Arai, Yuji Kurata, and Shiro Iwata, Simultaneous formation of fine and large-area electrode patterns using screen-offset printing, 8th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics, Tokyo, 2015.6.24

Ken-ichi Nomura, Shusuke Kanazawa, Noritaka Yamamoto, Hirobumi Ushijima, Hiroaki Ikedo, Kazuro Nagase, Masahiro Arai, and Yuji Kurata, Simple overprinting technique for thick conductive patterns, 42nd International Conference on Micro and Nano Engineering 2016, Vienna, Austria, 2016.9.22

牛島 洋史, 野村 健一, 日下 靖之, 堀井 美德, 尾上 美紀, 山本 典孝, フレキシブルエレクトロニクスにおけるデバイスと製造プロセス, エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム, 横浜, 2017.2.1

Hirobumi Ushijima, Yasuyuki Kusaka, Mariko Fujita, Ken-ichi Nomura, Shusuke Kanazawa, Yoshinori Horii, Koji Abe, and Noritaka Yamamoto, Developments of High Precision Printing Process for Fabricating Flexible Electronics, 2017 International Conference on Electronics Packaging, Tendo, 2017.4.21

〔その他〕

ホームページ等

<https://unit.aist.go.jp/flec/asp/index>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 健一 (NOMURA, Ken-ichi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・フレキシブルエレクトロニクス研究センター・主任研究員

研究者番号：00580078