

銀ナノインク・導電転写箔の配線に対する強固なはんだ付け部品実装手法

鈴木 智仁* 真鍋 宏幸*

概要. 電子回路製作はパーソナルファブ리케이션において重要な要素である。一般的な電子回路実装手法としてプリント基板 (PCB) があるが、個人での作製には時間やコストの面での負担が大きい。このような課題を解消するため、個人でも手軽に作製できる電子配線手法が研究されてきた [4, 2, 3] が、通常のはんだによる部品実装を行えないという課題があった。本論文では、フラックスフリーのはんだを用いることで、これらの配線に対して部品実装を行う方法を提案する。抵抗値評価、せん断強度試験、デバイスの実装による評価を行い、本手法が強度と導電性を両立する手法であることが分かった。

1 はじめに

個人でも導入可能な安価な工作機械が登場したことで、パーソナルファブ리케이션の動きが進みつつある。例えば、安価な3Dプリンタやレーザーカッターを用いることで、製作物の形状を自由に造形できるようになった。しかし製作物にインタラクティブな機能を加えるには、電子回路が必要となる。電子回路を手軽に実現する方法として、ブレットボードやマイコンボードを用いる方法が存在するが、回路の形状と大きさが固定されてしまうため、小さな制作物や、複雑な形状の製作物に組み込むことが困難である。形状と機能のカスタマイズ性が高い電子回路の実装方式として、プリント基板 (PCB) が存在するが、個人による PCB の製作は時間や金銭的コストの負担が大きい。

このような課題に対して、PCB よりも手軽かつ高速に電子回路を製作できる手法が数多く研究されてきた。例えば、Kawahara らの研究 [4] では、市販のインクジェットプリンタにより銀ナノインクを用いた配線パターンを印刷することができる。Imai らの手法 [2, 3] では、アクリルや木材などの素材面に対して、3Dプリンタを用いて導電転写箔を箔押し印刷することで配線パターンを作成することができる。しかし一般に、配線パターンを作成するだけでは電子回路は完結せず、電子部品実装にも注目する必要がある。PCB では、はんだ付けを行うことで部品実装を実現しているが、Kawahara らや Imai らの手法では、通常のはんだ付けを行うと配線が剥がれてしまうため、はんだ付け以外の方法での部品実装が用いられている。例えば、Kawahara らは導電エポキシ接着剤 [4]、Imai らは部品実装に低融点のはんだ [2, 3] を用いているが、実装のしやすさや強度の面で課題があった。

2 関連研究

はんだ付けは部品実装として一般的な方法である。高い導電性と接合強度を両立でき、部品実装完了後、即座に回路をテストできるため、PCB をはじめ数多くの電子回路製作手法 [5] で用いられている。一方で、溶けたはんだは高温であり、熱に弱い配線や基材に対しては適用することができない。

はんだ付け以外の実装手法として、銀粒子等の導電性の素材が練り込まれた導電エポキシ接着剤を使う手法 [4] があるが、塗布時に広がりやすく、配線のショートを誘発しやすい。高さ方向にのみ電気的導通が取れる Z 軸コンダクティブテープ (Z テープ) を使う方法 [4] もあるが、電極の面積が小さいチップ部品に対しては導通が取りづらい、テープが皺になりやすく配線への貼付けが難しい、などの課題がある。低融点のはんだを用いて部品実装を行う方法 [3] は、実装後の強度が弱く、はんだがはがれてしまうため、接着剤等による追加の補強が必要となる。

Andersson らは、ピンセット形状の特殊なはんだごとを使用し、こて先で表面実装部品の電極のみを加熱し、電極と配線の接点にはんだを適用することで、銀ナノインク配線に対するはんだ付けによる部品実装を実現している [1]。しかし、従来のはんだ付けと比べ難易度が高く、専用のスキルが要求される。

3 提案手法

我々はフラックスフリーのはんだを使うことで、銀ナノインクや導電転写箔の配線に対してはんだ付けによる部品実装が行えることを発見し、それを用いた部品実装手法を提案する。なお、この発見は、それらの配線にはんだ付けが行えない原因は温度ではなく、はんだに含まれるフラックスであることを意味する。本手法を用いることで、通常のはんだごとを用いて、導電性と強度を両立した部品実装を行うことができる。また、フラックス入りはんだを用いる場合でも、熱したはんだごとではんだを紙面等

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 芝浦工業大学

表 1. 10 Ω 抵抗実装時の抵抗値. ※ 1: 銀ナノインク配線上の Z テープは, 導通が取れた 1 箇所のみ の計測値を記載.

	導電エポキシ	Z テープ	低融点はんだ	ヤニ除去はんだ	ヤニなしはんだ
銀ナノインク	12.4Ω	35.3Ω (※ 1)	11.2Ω	11.2 Ω	11.5Ω
導電転写箔	11.2Ω	断線	11.2Ω	10.5Ω	10.5Ω

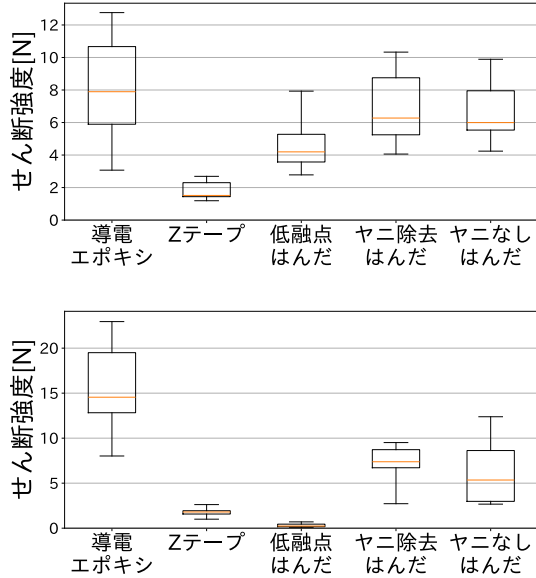


図 1. 配線上に実装した 1608 抵抗のせん断強度. 上: 銀ナノインク配線, 下: 導電転写箔の配線.

にこすりつけることでフラックスを除去すれば, 部品実装を行うことができる. ただし, 配線をはんだごてで加熱してはんだ付けする通常の手順ではなく, はんだごて上にはんだの塊を作り, それを配線に移し替える形ではんだ付けを行うことが必要である. しかし, [1] の手法ほどのスキルは要求されない.

4 評価実験

提案手法を用いた部品実装手法の性能を評価するため, 銀ナノインクや導電転写箔の配線上に, 導電エポキシ接着剤 (8331D, MG Chemicals), Z テープ (Z 軸コンダクティブテープ 9703, 3M), 低融点はんだ (SMD-H05, サンハヤト, 融点 60 °C), フラックス入りはんだを溶かし, 紙面にこすりつけることでフラックスを除去したはんだ (H-714, HOZAN, 融点 183 °C) (ヤニ除去はんだ), 元からフラックスが入っていないはんだ (SMD-SC-SN96AG4-0.031-1oz, ChipQuikInc, 融点 221 °C) (ヤニなしはんだ) それぞれを用いて部品実装を行い, そのせん断強度と抵抗値の評価を行った. なお, 部品実装の際には細めのコテ先 (T18-C05, HAKKO) を使い, 低融点はんだは 120 °C, ヤニ除去はんだは 300 °C, ヤニなしはんだは 350 °C 設定でそれぞれ実装を行った.

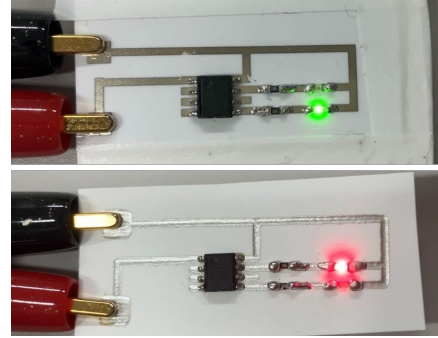


図 2. 提案手法を用いたデバイスの実装例. 上: 銀ナノインク配線, 下: 導電転写箔の配線.

1608 サイズの $10 \pm 5\% \Omega$ 抵抗をそれぞれの部品実装手法で 10 個実装し, 抵抗値測定を行った. 測定は, 抵抗を実装した地点から左右それぞれ 5mm 離れた地点にマルチメータの端子を当てて行った. 測定値の平均を表 1 に示す. Z テープ以外の手法では, 抵抗値に大きな差はなく, いずれも実用上問題ない抵抗値である. 一方で, Z テープではほとんどが断線し, 導通が取れても抵抗値は 35.3Ω と高かった.

せん断強度試験では, 実装した 1608 サイズの抵抗に対してフォースゲージを用いた測定を 10 回ずつ行った. その結果 (図 1), 導電エポキシ接着剤が最も強度の中央値が高く, 次いで, 提案手法 (ヤニなしはんだ, ヤニ除去はんだ) の順となった. また, 提案手法はいずれの配線に対しても低融点はんだや Z テープよりも強度が高かった.

さらに, 提案手法を用いて銀ナノインク, 導電転写箔の配線上に, 赤と緑の LED が交互に光る回路を実装し, 正常に動作することを確認した (図 2).

5 まとめ

本研究では, 銀ナノインク配線と, 導電転写箔の配線に対して, フラックスフリーのはんだを用いた部品実装を提案した. せん断強度試験と抵抗値評価や, 提案手法を用いたデバイスの実装を行い, 提案手法の評価を行った. その結果, 抵抗値は実用上問題なく, Z テープや低融点はんだよりも強固な部品実装が可能であることが分かった.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K11184 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] H. A. Andersson, A. Manuilskiy, S. Haller, M. Hummelgård, J. Sidén, C. Hummelgård, H. Olin, and H.-E. Nilsson. Assembling surface mounted components on ink-jet printed double sided paper circuit board. *Nanotechnology*, 25(9):094002, 2014.
- [2] Y. Imai, K. Kato, N. Segawa, and H. Manabe. Hot stamping of electric circuits by 3D printer. In *Adjunct Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 128–130, 2019.
- [3] Y. Imai and H. Manabe. Single-sided Multi-layer Electric Circuit by Hot Stamping with 3D Printer. In *Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 126–128, 2021.
- [4] Y. Kawahara, S. Hodges, B. S. Cook, C. Zhang, and G. D. Abowd. Instant inkjet circuits: lab-based inkjet printing to support rapid prototyping of UbiComp devices. In *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pp. 363–372, 2013.
- [5] N. Umetani and R. Schmidt. SurfCuit: surface-mounted circuits on 3D prints. *IEEE computer graphics and applications*, 37(3):52–60, 2017.