

3D プリンタと2種類の転写箔を用いた片面実装多層基板の製作手法

今井 悠平* 真鍋 宏幸*

概要. パーソナルファブリケーションの発展により、ユーザが自らの手で物理的な物体を作り出すことが可能になったが、個人での電子回路のプロトタイピングは未だ困難な作業である。電子回路のラピッドプロトタイピング手法の研究が精力的に行われているものの、素材の制限を受ける、複雑な配線を構築できないなどの課題がある。本稿では、我々が提案した3Dプリンタと金属転写箔を用いた電子配線印刷手法に新たに絶縁転写箔を加えることで、様々な素材の表面に片面実装多層回路を構築する手法を提案する。印刷した電子配線の上から絶縁転写箔で絶縁層を印刷することで、電子配線の立体交差が可能になる。透明なアクリル板に対して3層の片面実装多層基板を製作する実験を行い、提案手法による基板製作が可能であることを確認し、さらに提案手法を用いて製作したアプリケーション例を示す。

1 はじめに

3Dプリンタやレーザカッターの個人所有が増えつつあるが、個人による電子回路のプロトタイピングはハードルが高い。個人による電子配線の印刷を容易に行う手法として、我々は3Dプリンタと導電転写箔を用いた様々な素材を基材とした片面基板の製作手法や、両面基板の製作手法を提案してきた[1, 10]。両面基板は片面単層基板よりも複雑な配線を構築することが可能であるが、両面基板は表面と裏面の配線をつなぐビアの製作が必要である。このため、基材は穴を開けられるような薄い板状のものである必要があり、さらにドリル等による穴あけ加工が必要である。個人で行う電子基板のラピッドプロトタイピングのためには、簡便な多層基板作成手法が望ましい。

2 関連研究

電子基板のラピッドプロトタイピング手法の一つとして、導電性インクを用いて電子配線を構築する手法がある[3]。さらにこの手法を発展させた両面基板の製作手法もある[8]。しかし、これらの手法は適用可能な基材となる素材が専用紙のみと限られている。

多層基板の製作手法として、特殊な装置を用いて電子回路を内蔵したオブジェクトを作る手法[7]があるが、特殊な専門技術や高価な装置が必要であり、個人での導入は難しい。他にも、液体金属をシリコンで密封して多層基板を製作する手法[5]、3Dプリンタで造形した3Dオブジェクトに対して銅箔テープを用いて電子配線を行う手法[9]、カプトン

と銅を用いてフレキシブルな多層基板を製作する手法[4]が提案されているが、いずれも層間の配線の接続にはビアが必要であり、個人による製作の難易度を高めている。

我々は過去に、FMD方式の3Dプリンタと金属転写箔、ボールキャストを用いた電子配線の印刷手法を提案している[1]。この手法では、金属転写箔を用いてロゴマークなどを印刷するホットスタンプと呼ばれる技術と3Dプリンタを組み合わせ、様々な素材に対して電子配線を印刷することができる。さらにこの手法を応用して両面基板を製作する手法[10]や、カプトンテープを用いて多層基板を製作する手法[11]も提案している。後者では、異なる層間の配線が交差する部分にカプトンテープを貼り付け、その上にさらに転写箔で配線を印刷することで、電子配線の立体交差を可能にしている。この手法ではビアを製作する必要がないため、個人での製作が容易であると言える。また、基材となる素材やオブジェクトに対して穴を開ける必要がないため、既存のオブジェクトのデザインを損なわずに片面実装多層基板の実装をすることが可能である。しかしこの手法は、カプトンテープの貼り付け部とそうでない部分との段差が大きく、配線が段差を乗り越えられずに断線してしまうことがあった。また、カプトンテープの貼り付けは手作業であり、細かな部分のマスキングを手作業で正確に行うのは難しかった。

3 提案手法

提案手法では、我々が過去に提案したFDM方式の3Dプリンタとボールキャスト、金属転写箔を用いた電子配線印刷手法[1]に、絶縁転写箔を加えて片面実装多層基板を製作する[2]。下層の電子配線の印刷後に、交差する部分の配線を絶縁転写箔を用いて印刷を行いマスクし、さらにその上から上層の電子配線を印刷することで、配線の立体交差を可能

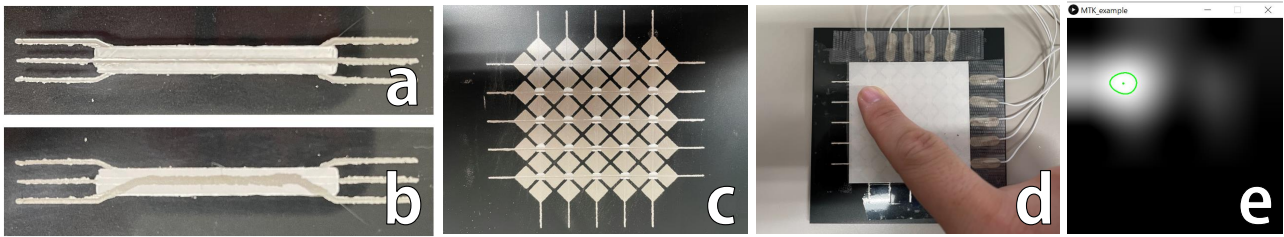


図 1. 製作実験で製作した 3 層の片面実装多層基板とアプリケーション例. (a): 3 層の片面実装多層基板の表面, (b): 裏面, (c): アプリケーション例のタッチパネル基板, (d): タッチパネル基板を動作させている様子, (e): タッチパネル基板から得たデータのスクリーンショット.

にする. 今回使用した絶縁転写箔はカプトンテープと比べ非常に薄く, 転写後の段差は目視ではほとんど確認できない. 提案手法は絶縁層の構築も 3D プリンタによって行われるため, 任意の場所に正確に絶縁層を構築することが容易である.

4 製作実験

提案手法による多層基板の製作が可能であるか確認するために実験を行った. 実験では, 透明アクリル板の表面に対して 3 層の配線を持つ片面多層基板を製作する. 使用した 3D プリンタは CREALITY の Ender5-pro である. この 3D プリンタは単純なシングルエクストルーダの 3D プリンタである. 付け替えるボールキャストとして, ネジ径 6 mm の 6 角ボルトの頭部にドリルで穴を開け, そこにボール径 1.6 mm のボールペンのペン先を挿入し, パテで固定したものを使用した. さらに銀ペースト導電転写箔を導電転写箔として, 白色顔料転写箔を絶縁転写箔として用いる. 絶縁転写箔の印刷後の厚みは約 55 μm であり, 従来研究 [11] で用いたカプトンテープ (厚さ 0.035 mm) の約 1/640 である. ボールキャストを 200 $^{\circ}\text{C}$ (絶縁層の場合は 180 $^{\circ}\text{C}$) に加熱し, 加熱したボールキャストを基材の上に配置した転写箔の上から押しあてながら移動させる. この過程を, 1 層目の配線→絶縁層→2 層目の配線→絶縁層→... のように最上層の配線の印刷が終わるまで繰り返す. 図 1a, b は実験で製作した基板である. 3 本の電子配線が基板中央で 1 か所に合流し, 両端で分岐しているが, お互いの電子配線同士は導通しない. このように, 3 本の配線を 1 本分のスペースで通すことが可能であり, 電子配線の省スペース化が期待できる.

5 アプリケーション例

提案手法によって製作したアプリケーション例を示す. 図 1c は, 黒色アクリル板上で製作した静電容量方式のタッチパッド基板である. さらに, 印刷したタッチパッド基板を配線し, 動作確認を行った (図 1d, e). 動作確認には Multi-Touch Kit[6] を用

い, 正しく動作することを確認した. なお, タッチパッド基板の表面には普通紙を貼り付けている. このように, 紙以外の基材でも手動による電極や絶縁層の貼り付け作業を必要としないアプリケーション製作が可能である.

6 今後の展望

提案手法により様々な素材の表面に回路を直接作ることが可能であるため, 既存の物体やデバイスにデザインを損なうことなく, また省スペースで電子配線を追加できる. 現状では様々な素材の平らな面にのみ適用が可能であるが, 将来的には曲面や 3 次元物体の表面に対して適用できるようになることを目指す. また, 今回行った製作実験では, 確実な絶縁をとるために絶縁転写箔を 2 回印刷することで絶縁層を形成している. これは, 1 度の印刷ではまれに交差する配線間がショートしてしまう場合があるためである. そのため, 1 度の印刷で絶縁層の形成が可能な転写箔の調査をさらに行う. 1 度の印刷で絶縁層の構築が可能になれば, 製作にかかる時間を大幅に短縮することが可能になる.

7 結論

3D プリンタ, ボールキャストと 2 種類の転写箔を用いて片面実装多層基板を製作する手法を提案した. 製作実験を行い, 提案手法による片面実装多層基板の製作が可能であることが分かり, さらにアプリケーション例を示した.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K19851 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Y. Imai, K. Kato, N. Segawa, and H. Manabe. Hot Stamping of Electric Circuits by 3D Printer. In *The Adjunct Publication of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software*

- and Technology, UIST '19, p. 128–130, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [2] Y. Imai and H. Manabe. Single-Sided Multi-Layer Electric Circuit by Hot Stamping with 3D Printer. In *The Adjunct Publication of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, p. 126–128, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [3] 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*, UbiComp '13, p. 363–372, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.
- [4] M. Lambrichts, J. M. Tijerina, T. De Weyer, and R. Ramakers. DIY Fabrication of High Performance Multi-Layered Flexible PCBs. *TEI '20*, p. 565–571, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [5] S. Nagels, R. Ramakers, K. Luyten, and W. Deferme. *Silicone Devices: A Scalable DIY Approach for Fabricating Self-Contained Multi-Layered Soft Circuits Using Microfluidics*, p. 1–13. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2018.
- [6] N. Pourjafarian, A. Withana, J. A. Paradiso, and J. Steimle. Multi-Touch Kit: A Do-It-Yourself Technique for Capacitive Multi-Touch Sensing Using a Commodity Microcontroller. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '19, p. 1071–1083, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [7] S. Swaminathan, K. B. Ozutemiz, C. Majidi, and S. E. Hudson. *FiberWire: Embedding Electronic Function into 3D Printed Mechanically Strong, Lightweight Carbon Fiber Composite Objects*, p. 1–11. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2019.
- [8] T. Ta, M. Fukumoto, K. Narumi, S. Shino, Y. Kawahara, and T. Asami. Interconnection and Double Layer for Flexible Electronic Circuit with Instant Inkjet Circuits. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '15, p. 181–190, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [9] N. Umetani and R. Schmidt. SurfCuit: Surface-Mounted Circuits on 3D Prints. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 37(3):52–60, 2017.
- [10] 今井悠平, 加藤邦拓, 瀬川典久, 真鍋宏幸. 3Dプリンタと転写箔を用いた両面基板の製作手法. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2020-HCI-188(13):1–7, 2020.
- [11] 今井悠平, 真鍋宏幸. 3Dプリンタと転写箔を用いた片面実装多層基板の製作手法. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2020-HCI-190(2):1–6, 2020.