

真空印刷技術を用いた微小穴へのペースト充填について

Vacuum screen printing technology to fill paste into microholes

内田 一成¹, 古川 諒人¹, 小野寺 浩¹, 神保 至²

Kazunari UCHIDA¹, Asato FURUKAWA¹, Hiroshi ONODERA¹, Itaru JIMBO²

¹シーマ電子株式会社, ²シーマ電子株式会社顧問

¹SHIIMA Electronics Inc, ²Advisor with SHIIMA Electronics Inc.

In order to develop small, high-density packaging for electronic devices, the filling or plugging of resin into via holes on PCBs, is one of the most important techniques to realize the interlayer connections and pad on via structures, etc. In this study, a newly developed vacuum printing mechanism was tested to fill resin into microholes. Solder paste was filled into the microholes set on a printing simulation board, and the filled amount was obtained with an optical measurement, which showed an outstanding performance. Detail comparison was made with the resultant data from conventional screen printing. Effects of printing velocity and printing pressure and the interaction are also discussed.

1. はじめに

近年の電子機器の小型軽量化、薄型化の進歩は目覚ましく、電子機器を構成するプリント基板の高密度化やデバイス部品の小型化などの高密度実装技術が欠かせない要素となっている。プリント基板に目を向けてみると、配線の層間接続やパッドオンビア構造などを、導電性ペーストの印刷で形成することが、微細化と低コスト化の目的で期待されている。

本稿では、微小穴への印刷によるペースト充填性について、新たに開発された真空印刷技術の効果を従来のスクリーン印刷の結果と比較して調査した。併せて、印刷における主要な要因である印刷速度、印刷圧力について、それぞれのペースト充填性に関する効果と交互作用についても調査した。

2. 実験

2.1 実験材料

2.1.1 微小穴を開けたサンプル基板

板厚 3 mm の透明アクリル板に直径 0.15 mm から 3.00 mm までの様々な寸法の貫通穴を 12 種設けた。外観写真を Fig. 1 に示す。

微小穴へのペースト充填においては 2 種の考え方がある。スルーホール(貫通穴)への充填とブラインドビア(非貫通穴)への充填である。本実験でもその 2 種を想定した実験を行った。前述のアクリル板上の貫通穴部において、底面側開口部全てをマスキングテープで塞ぐことにより、ブラインドビア形状を構築した。

2.1.2 ペースト

半導体パッケージ実装で一般的に使用される鉛フリーはんだペーストを使用した。はんだ粒径は 15~25 μm 、ペースト粘度は 200 Pa·s 品を選定した。これは高粘度に分類される。

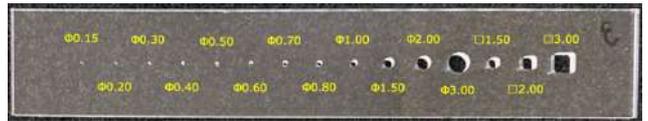


Fig. 1 A picture of sample board with microholes (unit: mm)

2.2 実験設備

印刷機はイーエスイージャパン株式会社製の「US-2000DX1」を使用した。この印刷機は真空印刷機と従来のスクリーン印刷機の両機能を備えた装置であり、ヘッドパーツの付け替えにより、各々の機構を切り替え可能である。印刷スキージの材質はウレタンゴム硬度 100、スキージアタック角度は 60°で統一した。

Fig. 2 に真空印刷機の構造について示す。ヘッド本体内部に真空室を有しており、印刷対象部周辺のみを局部的に真空状態にする。その後、ヘッド本体内部に充填されたペーストを、ピストン加圧により押し出しながら印刷スキージングが行われる¹⁾。なお、ここで述べる真空状態とは、装置の減圧機構によって生じる、印刷対象部周辺の減圧状態のことを意味する。

また、Fig. 3 には従来のスクリーン印刷機の構造を示す²⁾。

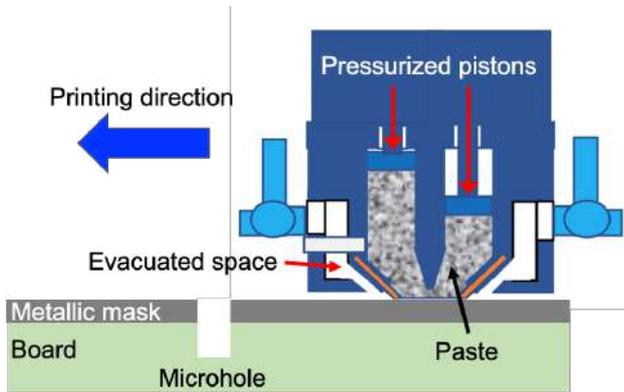


Fig. 2 A detail of vacuum printing machine

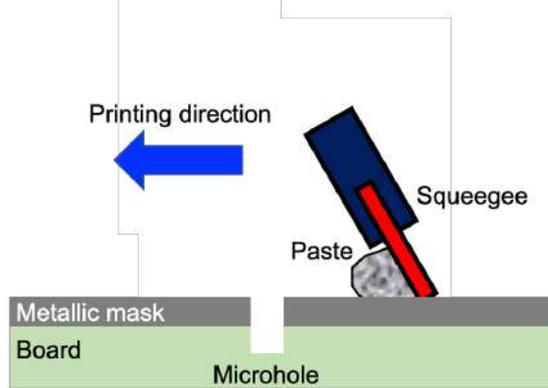


Fig. 3 A detail of screen printing technique

2.3 実験方法

新たに開発された真空印刷機と、真空減圧機構を有しない従来の通常印刷機にて、それぞれでスクリーン印刷を実施し、そのペースト充填量を測定して比較した。アクリル板に設けた複数の直径の微小穴に対し、スクリーン印刷にてはんだペーストを充填した。はんだペースト量の測長及び状態観察のために、金属顕微鏡とデジタルマイクロスコープを使用した。

印刷条件は、印刷速度と印刷圧力を Table 1 に示した水準とし、実験目的に応じ、適宜、各水準を組み合わせた^{3,4)}。実験は各印刷条件とも3回繰り返した。

Table 1 Experimental condition on printing velocity and pressure

	Velocity (mm/s)	Pressure (kg/cm ²)
Conventional	5, 20, 50	3, 20
Vacuum	5, 20, 50	3, 5

3. 実験結果

3.1 ブラインドビア基板での充填量比較

Fig. 4 に印刷速度 5 mm/s における真空印刷時と通常印刷時のペースト充填結果を示す。全開口径において、通常印刷と比較し、真空印刷時の充填量は大幅に向上した。真空印刷においては、直径 2.00 mm と直径 3.00 mm にて基板の厚みである 3 mm 全域を満たす充填ができた。また、小開口径においては、直径 0.15 mm でアスペクト比 10、直径 0.40 mm でアスペクト比 5 の充填が期待できる結果となった。Fig. 5 に基板側面から撮影したペースト充填後画像を示す。

3.2 スルーホール基板での充填量比較

Fig. 6 に印刷速度 5 mm/s 時における真空印刷時と通常印刷時のペースト充填結果を示す。真空印刷においては、直径 0.30 mm 以上の全開口径でサンプル基板の厚みである 3 mm 全域を満たす充填ができた。一方、通常印刷では、基板厚 3 mm 全域を充填できる開口径は見られず、真空印刷技術の優位性が明らかとなった。Fig. 7 に基板側面から撮影したペースト充填後画像を示す。

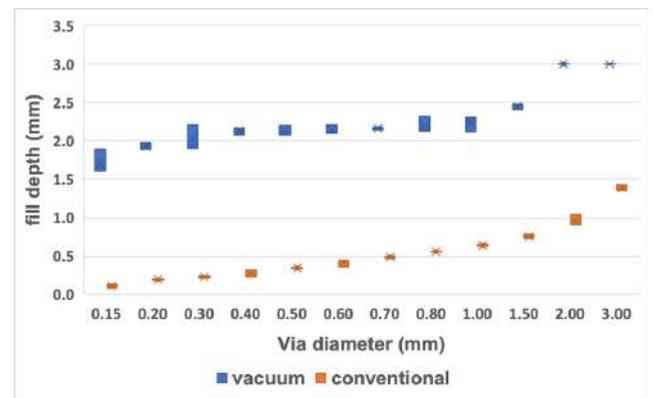


Fig. 4 Filling characteristics for blind via

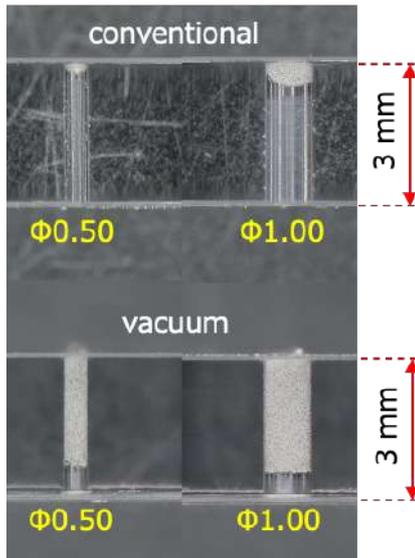


Fig. 5 An example of fill for blind vias of 0.5 and 1.0 mm diameter

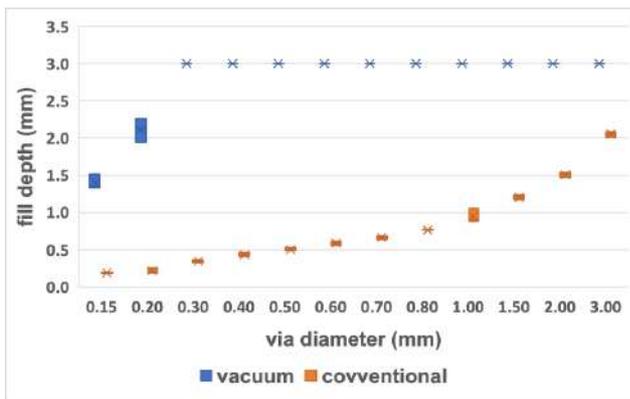


Fig. 6 Filling characteristics for through hole

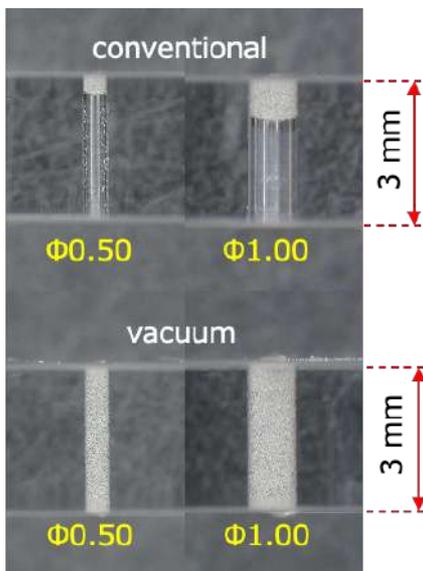


Fig. 7 An example of fill for through holes of 0.5 and 1.0 mm diameter

3.3 各印刷パラメータの効果と交互作用

真空印刷における主要な要因である、印刷速度と印刷圧力について、それぞれの効果、及び、交互作用について分散分析手法を用いて解析した。実験はブラインドビアについて行った。

3.3.1 印刷速度の効果

Fig. 8 に印刷速度を 3 水準変更させた場合の、代表的な穴径に対するペースト充填結果を示す。印刷圧力は 5 kg/cm^2 で統一した。全ての開口径で、速度を遅くすることによりペースト充填量を増やす効果が確認できた。($F(1, 5) = 7.70, P < .05$)

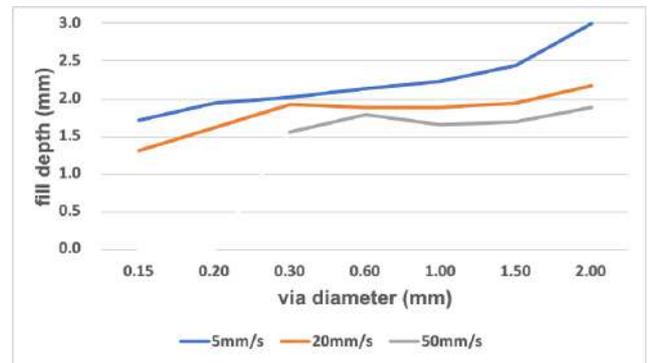


Fig. 8 Effect of printing velocity on blind via

3.3.2 印刷圧力の効果

Fig. 9 に印刷圧力を 2 水準とした場合の、代表的な穴径に対するペースト充填結果を示す。印刷速度は 5 mm/s で統一した。全ての開口径で、圧力を高くすることによりペースト充填量増加の傾向が見られた。($t(3) = 2.35, P < .05$)

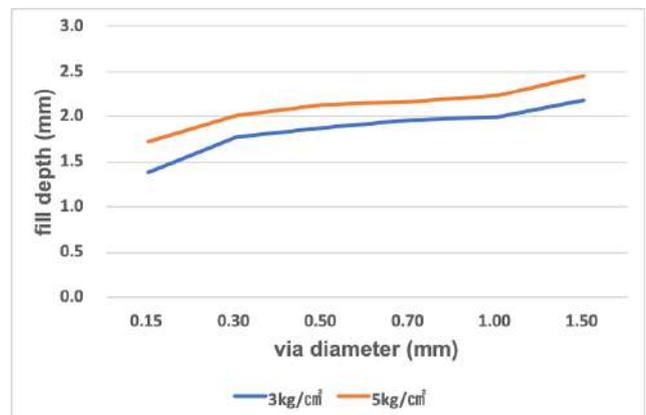


Fig. 9 Effect of printing pressure on blind via

3.3.3 印刷速度と印刷圧力の交互作用

印刷速度 5 mm/s と 20 mm/s の 2 水準, 印刷圧力 3 kg/cm² と 5 kg/cm² の 2 水準を組み合わせた合計 4 条件の実験結果から, それぞれの効果と交互作用の効果を分析した。分析対象の穴径は, 全 4 条件で安定して充填された直径 0.30 mm から 1.50 mm とし, それぞれの穴径ごとに分散分析を行った。

結果, 速度が遅く, 圧力が高い条件下で充填量が増えることが確認できた。(F(1, 11) = 5.31, P < .05)

一方, 両者の交互作用については有意な差は確認できなかった。(F(1, 11) = 5.31, P > .05)

4. 考察

4.1 真空印刷実験結果の優位性

ブラインドビア, スルーホールともに真空印刷技術の優位性が確認されたが, その理由は 2 つあると考える。1 つは真空機構を使用することで充填対象箇所の減圧が行われる結果, 差圧充填効果によって充填量が増加することである。2 つめは真空印刷機の装置機構であるピストン加圧により, ペーストが直接吐出される効果である。

特にブラインドビアにおいては, 有底の閉塞穴であるため, スルーホールと比べ, 穴内の減圧効果が高くなる。よって, 真空機構による差圧充填効果は重要な要素と考える。この差圧充填とピストン加圧による 2 つの効果の違いについては, 今後, 調査していく必要がある。

4.2 印刷速度と印刷圧力の効果

印刷速度の効果としては, 速度が遅くなることによって, 充填対象の穴部に対してペーストが接触している時間が長くなるため, 充填量が増えると考えられる。

印刷圧力の効果としては, 圧力が高くなることにより, 単位時間あたりにヘッド本体から吐出されるペースト量が増えるため, 充填量が増えると考えられる。

交互作用については, 今回の実験では確認できなかった。今後, 実験回数を増やして検証していく必要があると考える。

5. 結言

新たに開発された真空印刷技術は, 通常のスクリーン印刷と比較してペースト充填性を大きく向上させるこ

とが確認できた。併せて, 各印刷パラメータの充填性への影響とその傾向が確認できた。

本真空印刷充填技術により, プリント基板製造工程での微小穴充填に加え, ドライフィルムレジストに設けた微小穴へのペースト充填によるマイクロバンプ形成も期待できると考える。また, 真空印刷技術により, 充填性が向上することで, 製品量産時の加工タクトタイム短縮にも寄与できると考える。

今後の展開として, 今回の実験ではペースト充填性のみ注目して調査したが, 一方で品質面ではペースト内のボイド残留という課題が残されている。この課題についても継続的に実験検討を重ねていき, より品質の高い印刷充填技術を構築していきたい。

謝辞

本実験の実施にあたり, イーエスイージャパン株式会社の向井 範昭氏, 菊池 啓介氏のご協力に感謝致します。

参考文献

- 1) 向井範昭, 高亭来: "真空スキージ機能を具備したスクリーン印刷機" 第 29 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集, p.59, 2019
- 2) 藤本公三: マイクロ接合・実装技術, pp.418-420, 2012
- 3) 向井範昭: 印刷最適化/高品質化のための最新スクリーン印刷利用技術〜トラブル対策から応用事例まで〜, pp.250-270, 2009
- 4) 向井範昭: 高精細スクリーン印刷における印刷条件の最適化とトラブル対策, pp.94-107, 2003