

プリントド・エレクトロニクス

電子部品開発センター 今井 隆之¹

Printed Electronics

T. Imai

フジクラはプリントド・エレクトロニクスの先駆けともいえるメンブレンスイッチを約 30 年にわたり、製造、販売してきました。様々な市場でお使いいただいているメンブレンスイッチの製品動向と、印刷技術、部品実装技術など進化しているプリントド・エレクトロニクス技術について紹介します。

We have been manufacturing and selling membrane switches, heralds of printed electronics, for approximately 30 years. This paper describes the trends of the membrane switches used in various markets and progressive printed electronics technologies such as printing and surface mounting technologies.

1. ま え が き

～プリントド・エレクトロニクスについて

薄いポリエステル基材上に、銀インクをはじめとする導電インクや絶縁インクをスクリーン印刷した後に、インクを乾燥・硬化して配線を形成した印刷配線板は、メンブレン配線板とも呼ばれ、メンブレンスイッチと呼ばれる安価でフレキシブルなシート状のスイッチに応用されています。メンブレンスイッチの基本構造は、印刷配線板 2 枚を、スペーサと称する複数の穴があいた絶縁フィルムを介して対向させたものです。配線の一部である接点電極同士は隔離された状態で対向しているため、配線板のスペーサ穴部を押しこむことで基材がたわんで接点電極同士が導通し、この部分が電気接点として機能します。決まった面積の中に接点をいくつ作っても実質的にコストが上がらないスイッチであるため、数多くのキーを持つパソコンのキーボードなどに使われています。

プリントド・エレクトロニクスとは、印刷技術を使って電子回路／センサー／素子などを製造することを意味しています。近年では、導電インクや絶縁インクのみならず、半導体材料や発光材料をも基材上に印刷形成して能動素子を作り込む開発がなされており、欧州や韓国、台湾で国家プロジェクトが動いています。日本でも、省エネ、省資源、高生産性でフレキシブルディスプレイやフレキシブル入力デバイスを製造するプリントド・エレクトロニクス技術を早期に実用化することを目指して、2011 年 5 月に次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合（Japan Advanced Printed Electronics Technology Research Association, 略称 JAPER A）が始

動しました。

現在は、電子回路や電子素子の製造プロセスでは、主にフォトリソグラフィによるサブトラクティブプロセス、スパッタなどの真空プロセス、エッチング、めっきなどのウエットプロセスが適用されています。これらのウエットプロセスを、常圧下のフルアディティブプロセスかつドライプロセスである印刷法に置き換えることによって、省エネ、省資源を実現し、さらには圧倒的に生産性を高めることがプリントド・エレクトロニクスの狙いです。印刷法としては、スクリーン印刷、グラビア印刷、フレキソ印刷、インクジェット印刷などがあります。これらの印刷法は設備コストやマスク、版など新規設計実現のための初期コストが比較的低い上、ウエットプロセスや真空プロセスと比較すると、生産品種切り替えのための段取り替えも容易です。したがって、少量多品種の生産に適しており、今後もますます多様化する電子部品の生産革新につながる可能性も秘めています。

2. 当社のプリントド・エレクトロニクス製品

当社は、1980 年代に産業機器入力パネル用、デスクトップキーボード用のメンブレンスイッチの製造、販売を開始したのを皮切りに、電子レンジ入力パネル用、ノートブックパソコンキーボード用、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラなどの AV 機器入力インタフェース用のメンブレンスイッチを開発、製造、販売してきました。ノートブックキーボード用では世界で初めて実用レベルの防水化を達成しました。また、印刷配線板をアンテナ、静電容量センシングなど、スイッチ以外の用途にも適用してきており、パソコン、家電、自動車など

¹ 機能部品開発部部長

様々な分野でお使いいただいています。当社が生産している印刷配線板のいくつかを紹介します。

2. 1 デジタル家電用メンブレンスイッチ

当社は 2003 年に、藤倉化成株式会社と非ハロゲン系難燃レジストインクを共同開発し、世界で初めてハロゲン含有しない難燃印刷配線板を実現しました。それ以来、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラなどの AV 機器入力インタフェースや、パソコン用ではキーボード以外の補助ボタンや LED インジケータの配線板として、また携帯電話や携帯ゲーム機用などのデジタル家電分野で広くお使いいただくようになりました。これらの機器の高機能化と軽薄短小化にともない、印刷配線板への要求も高まってきており、それに合わせて、小径スルーホール接続高信頼性両面配線、狭ピッチ耐マイグレーションコネクタ端子、高耐久性印刷摺動抵抗、感圧スイッチなど様々な要素技術を開発し適用してきました。製品例を図 1 に示します。小径スルーホール接続高信頼性両面配線においては、高精度穴あけ工法と低コストなスクリーン印刷による穴埋め印刷により、接続孔径 0.25 mm、接続ランド径 0.75 mm の省スペースで、10 回以上の折り曲げにも耐える高耐久性の両面接続構造を実現しました。その構造を図 2 に示します。3. 2 項に述べるように、印刷配線板上への種々の部品実装法も確立しています。高精度印刷抵抗、PET エンボスキュー、基板間接続技術、導光フィルムによるキーの照光技術、機構部品との組み合わせによるモジュール化なども、これらデジタル家電用メンブレンスイッチの市場拡

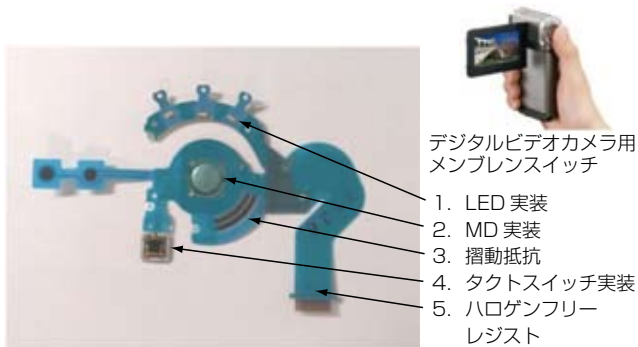


図1 デジタル家電用メンブレンスイッチ製品例
Fig. 1. An example of membrane switches for digital appliance.

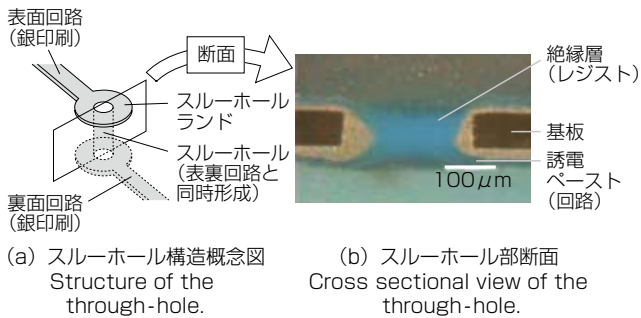


図2 スルーホール接続構造
Fig. 2. Structure of the through-hole.

大と付加価値向上に貢献しています。

2. 2 静電容量式タッチセンサ

ノートパソコン、AV機器、携帯電話などの入力インタフェースには、静電容量式タッチセンサも数多く使用されています。静電容量式タッチセンサは図 3 に示すように、X,Yマトリクス配置された多層電極および電極からの引き出し配線を高解像度、高精度に形成する必要があるため、従来はサブトラクティブ法によるプリント配線板が主に使用されてきました。当社では、これまで培ってきた精密印刷技術を駆使して、より安価な印刷配線板へ置き換えることに成功しました。細線印刷に適した粘性挙動を有する新規開発の導電インクと層間絶縁インクを適用することで、センサ回路の形成に必要な高解像度印刷を確立しました。さらに、1 層目の導電パターンと 2 層目の導電パターンの位置を高精度に合わせる多層印刷の技術および静電容量精密制御、測定技術を確立しました。今後、静電容量式タッチセンサへの印刷配線板適用の可能性が広がり、コストダウンおよび機器の軽薄短小化への貢献が期待できます。

2. 3 人体検知センサ

メンブレンスイッチのような多接点からなるスイッチの技術や印刷電極による静電容量検出技術は、自動車や医療・介護の分野で人の有無や体型、体格を検知するセンサにも使われています。一例として、自動車の助手席乗員にシートベルト着用を促すシートベルトリマインダシステムに使われる、助手席に人が乗っているかどうかを検知するセンサを図 4 に示します。センサは助手席

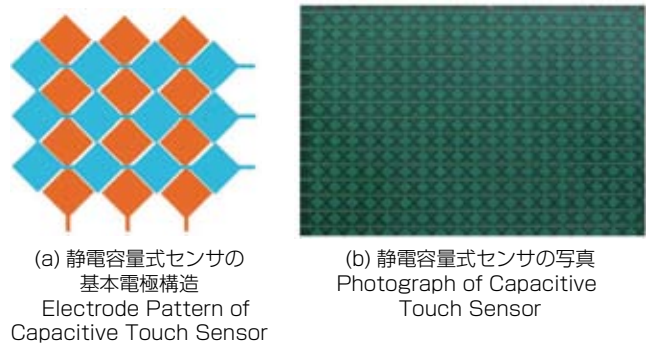


図3 静電容量式センサの例
Fig. 3. An example of capacitive touch sensors.



図4 シートベルトリマインダ用着座センサ
Fig. 4. Occupant detection sensor for seat-belt reminder system.

に設置され、前述のメンブレンスイッチ同様の機構で人が座ったときに接点を押されて導通状態になることにより、乗員を検出します。接点の一部は直列接続されており複数の接点が導通した時にオンになる回路構成をとっており、接点を座席の形状などに合わせて最適配置することで、乗員がどんな姿勢で座った場合でも検知しやすく、かつ荷物などを誤検知にくくしています。

このような、人を検知する用途では大面積の電極や基材が必要となる場合が多いので、安価なポリエステル基材を適用した印刷配線板が適しています。また、センサから信号処理システムまで信号を伝送するため、図 4 にその構造例を示すように、印刷配線板とワイヤを電気的、機械的に接続する必要があります。ポリエステル基材は耐熱性が低いため、通常のはんだ接続が適用できないこと、銀インクを乾燥、硬化した回路に対して金属端子を圧接する際の長期信頼性の確保が困難であること、など、ワイヤとの接続技術が印刷配線板の課題のひとつとなっていました。当社では、車載仕様にも適合した金属端子の印刷配線板への圧着技術や接続部の防水化技術を他社に先駆けて確立し、車載用途においても 10 年以上にわたって品質トラブルゼロを継続しております。

3. 当社のプリントド・エレクトロニクス技術紹介

3.1 高解像度印刷技術

以上のような印刷配線板はスクリーン印刷により生産されています。当社では線幅 $75 \mu\text{m}$ 、線間 $75 \mu\text{m}$ ($L/S = 75 \mu\text{m} / 75 \mu\text{m}$) 程度までの高解像度スクリーン印刷が可能です。また、ロール・トゥ・ロール方式のスクリーン印刷ラインを適用し、独自のインク乾燥機構とフィルム搬送機構を最適化することで、最薄 $12 \mu\text{m}$ のポリエステルフィルム基材上への印刷と世界最高クラスの高精度多層印刷を実現しています。この乾燥方式、搬送方式を適用することにより、ポリエステルフィルムの加熱による白濁も抑制できるため、窓ガラスなどに貼り付けるフィルムアンテナのように基材の透明度を要求される用途にも印刷配線板の適用が広がってきました。

印刷の解像度をたかめることで、スクリーン印刷法による印刷配線板をサブトラクティブ法によるフレキシブルプリント配線板 (FPC) に置き換える試みが成され、 L/S (ライン/スペース) = $30 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}$ 程度までの高解像度印刷がスクリーン印刷により実現しつつあるという報告があります¹⁾。また、新規な印刷方法とスクリーン印刷の組み合わせにより、有機薄膜トランジスタアレイを作成する試みも報告されています²⁾。当社でもスクリーン印刷のさらなる高解像度化、高精度化を目指す一方、新規印刷方法による $L/S = 30 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}$ もしくはさらなる高解像度印刷に挑戦しており (図 5 参照)、今後急伸するであろうプリントド・エレクトロニクス市場における各種要求に応えられるよう鋭意準備してい

ます。

3.2 部品実装技術

当社は、印刷回路上に導電性接着剤を用いて抵抗、コンデンサ、LED や IC を実装する技術を他社に先駆けて開発し、部品実装印刷配線板を製造、販売してきました。導電性接着剤を用いた実装方式は、接合材料自身の柔軟性が高いことにより繰り返し熱ストレスに強い、環境にやさしいなどの長所があります。反面、はんだ実装と異なり導電性接着剤は実装ランド部分に対して選択的には濡れないため、狭ピッチの実装においてはランド間でショート不良が発生しやすい、実装強度が弱く封止樹脂による補強を必要とするなどの欠点がありました。当社はタムラ製作所殿と共同開発した樹脂入り低融点はんだを、世界で初めて印刷配線板に適用しました。リフロー工程の最適化などにより高い接続信頼性と接着強度を実現しながら、導電性接着剤実装と比較して低コスト化に成功しました。本技術により、部品実装の省スペース化を達成するとともに、今までは実装が困難であった小サイズの部品や端子ピッチの狭い IC チップを実装することが可能となりました。IC チップの実装例を図 6 に示します。この技術により、印刷配線板の用途がさらに拡大しています。

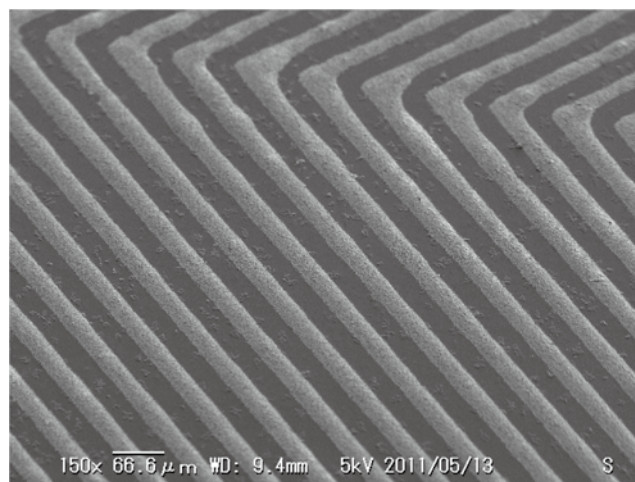


図5 超ファイン印刷回路 ($L/S = 30 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}$)
Fig. 5. Ultra-fine printed circuit ($L/S = 30 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}$)

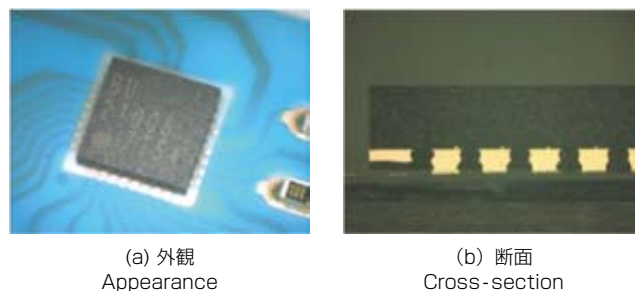


図6 ICチップの実装状態
Fig. 6. IC chip mounting.

3. 3 材料技術

印刷配線板にもさらなる狭ピッチ化が求められていることは、3. 1 項で述べたとおりです。回路幅が狭くなることによる回路抵抗値の増大、回路間隔が狭くなることによる回路間絶縁性の低下などが問題になってくると予想されます。前者の抵抗値上昇の問題解決のため、当社は藤倉化成（株）と共同で、酸化銀微粒子還元法を応用した低温焼成型の銀インクを開発し、回路抵抗値を一桁下げることになりました。このタイプのインクを世界で初めてフィルムアンテナ用途に適用し、量産しています。後者に関しては、銀はイオンマイグレーションを最も起こしやすいことから、今後プリントド・エレクトロニクスの課題となると考えています。銀価格の高騰ももう一つの動機になり、銅ナノインクなど銀以外の導電性インクの開発が活発化しています³⁾。当社でも素材メーカーとの協業により、この課題を解決すべく検討を行っています。

印刷生産性向上も課題の一つとなります。高速印刷の実現のためには、インクの硬化プロセスも高速にする必要があります。当社は互応化学殿と共同で、電子線による高速硬化銀インクの基礎開発を行い、実用レベルの塗膜特性を達成しております。本技術も将来のプリントド・エレクトロニクスの進化に必須になると考えています。

4. むすび

当社のメンブレンスイッチの動向とプリントド・エレクトロニクスへの取り組みを紹介しました。2015年には1兆円規模になるといわれているプリントド・エレクトロニクス市場ですが、技術課題も多く残されている上、具体的なアプリケーションが定まっているわけではありません。産学連携の推進や異業種交流などをおして、これらの課題を解決してゆきたいと考えています。

参 考 文 献

- 1) 尾崎：「印刷工法を用いたフレキシブルプリント回路の開発動向」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.14, No.6, pp. 460-465, 2011
- 2) Kinaほか：「Printed Organic TFT Backplane for Flexible Electronic Paper」, 日本印刷学会誌, Vol.48, No.6, pp33-37, 2011
- 3) 柏木ほか：「プリントド・エレクトロニクスのための銅系ナノ粒子インクによる配線形成」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.14, No.6, pp. 449-452, 2011