

# 1 PEの製品化とMEMSデバイスのローコスト化を実現する 「第三世代」スクリーン印刷の真価

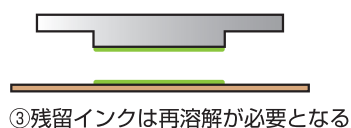
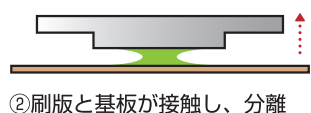
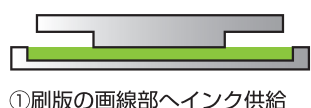
アディティブプロセスの一つであるスクリーン印刷は最も設備コストが廉価で印刷安定性が高い為、プリントエレクトロニクス（PE）の製品化に最適な工法です。

PE業界では、10年間にわたる各種印刷方式の実践検証を経て、古くて新しい技術であるスクリーン印刷がPE製品化の実現に最も有効であると認識され始めてきました。

微細パターンを印刷で形成するためには、基板の表面エネルギーの影響を受けにくく、印刷後の形状保持性が高い高粘度インクを使用する必要があります。しかし、一般印刷方式では、版に残ったインクが乾燥しやすく、高粘度インクが使用できません。スクリーン印刷はインキングと転写のメカニズムに於いて、一般印刷方式と異なり、インクの「先入れ先出し」原理でインク供給されるため、高粘度インクを連続で安定して印刷することができます。

## 高粘度インクを連続印刷できるスクリーン印刷

～インキングと転写のメカニズムの違い～



凸版印刷

インク供給

インク転写

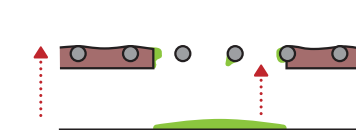
インク残り



①スキージ移動によりインクが開口部へ供給される



②スクリーン上の余分なインクを掻き取りながら転写



③残留インクは次に供給される新しいインクに押し出される  
**先入れ先出しの原理**

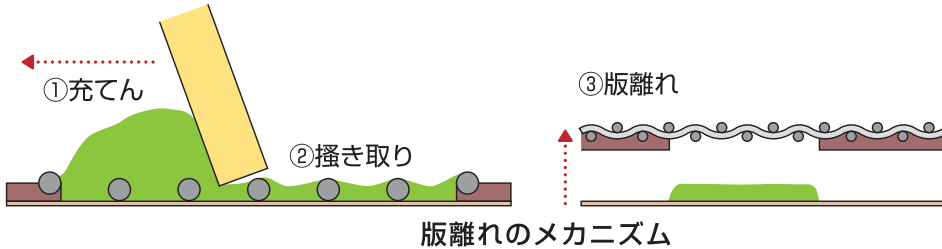
スクリーン印刷

スクリーン印刷用のステンレスメッシュは微細化、高強度化実現に向け、開発が続けられてきました。今、スクリーン印刷は従来の2.5倍の強度の線材料を使用した超高強度高精細スクリーンメッシュが実用化され始めています。高粘度インクと高強度メッシュの要素技術の向上により、誰もが高い寸法精度で高品質な印刷ができるスクリーン印刷「第三世代」に入りました。

30年以上の歴史をもつMEMSデバイスの製造分野に於いても、数年前から変化が見え始め、ローコスト化に対応できる製造プロセスが求められるようになりました。このため、従来のサブトラクティブプロセスであるフォトリソ、真空成膜に替わり、厚膜形成が容易で、穴埋めや積層印刷にも適用できる高品質なスクリーン印刷が注目され始めました。

**「第三世代」スクリーン印刷は、  
PEの製品化とMEMSのローコスト化に貢献します。**

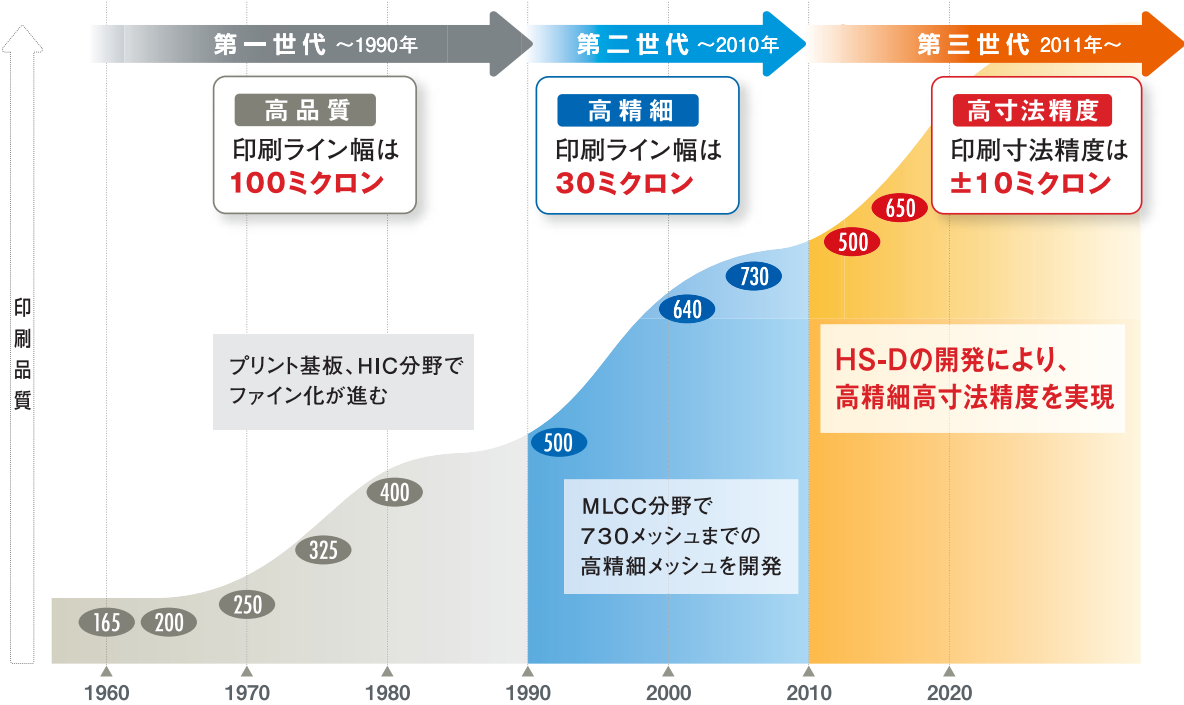
スクリーン印刷は、スクリーンメッシュに感光性乳剤を塗布し、画像パターンを形成した版<sup>(※写真1)</sup>の開口部をインクが通り抜けるという原理です。①初めにインクが開口部に充てんされ、②スクリーン上の余分なインクがスキージで掻き取られ、③開口部のインクが基板に密着した直後、スクリーンメッシュの反発力で引き離されます。このメカニズムを「版離れ」と呼びます。安定した印刷には十分な「版離れシア速度」が必要となり、インクの粘度が高い場合や塗布エリアが大きい場合は特に重要になります。



※写真1：画像パターンを形成した版

「版離れ」の良し悪しは「スクリーンメッシュの強度」により大きく左右されます。強度の高いメッシュを高い張力で枠に張ったり、大きなクリアランスを採ったりすることで、印刷時のスクリーンメッシュの反発力を大きくすることができます。反対に、強度が低いメッシュは反発力を大きくできず、「版離れシア速度」も遅くなるため、印刷解像性の低下、印刷膜厚の不均一を引き起こしやすくなります。安定した版離れを実現させるには、強度が高いメッシュが不可欠となります。

スクリーンメッシュの強度は、線材の（強度）×（断面積）×（メッシュ数）で算出できます。長年に亘るスクリーンメッシュの開発により、現在では730メッシュなどの高メッシュも量産で使用されるようになりました。しかしながら、高メッシュほど線材が細くなり、強度が低下してしまうため、版離れや寸法精度という点に於いては課題があり、高粘度インクを使用することができませんでした。



アサダメッシュはこの課題を解決するため、超高強度ステンレス線材を高精細に製網することに挑戦し、325メッシュの1.5倍の強度を有する650メッシュの開発に成功しました。

HS-Dメッシュは極細線を使用した高精細メッシュで、かつ強度も十分に高いというスクリーン印刷の全ての課題を克服した次世代型ステンレスメッシュです。寸法精度が高く、長期の印刷でも版ひずみしない高品質ファインパターン印刷を実践できるようになり、スクリーン印刷「第三世代」が始まりました。

### 3 「無変形スクリーン版」の3大特長

#### ① 印刷膜厚均一性向上

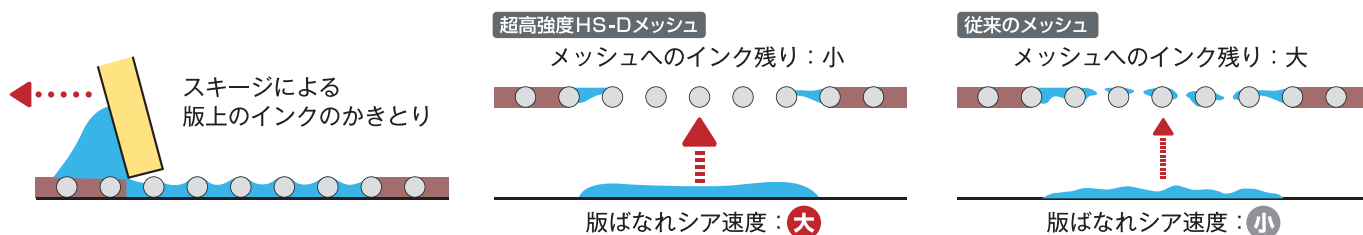
#### ② 印刷寸法精度向上

#### ③ 高粘度インク版離れ性改善

均一な厚みのスクリーンメッシュを使用するスクリーン印刷は、印刷膜厚の均一性が最も高い印刷工法です。弾力性のあるゴム製のスキージの印圧で版表面の余分なインクを掻きとることで、大型 PDP のような大面積でも ±5% の印刷膜厚精度が達成できます。

強度の高い HS-D メッシュを使い十分なクリアランスで印刷することで、スクリーンメッシュが基板上に転写されたインクと一瞬で分離する「版離れシア速度」を上げることができます。このことで印刷後のメッシュへのインク残りが極小となり、基板への転写量の均一性が増します。インクに与えるせん断速度も高くなるため、レベリング性も向上します。特に粘度が高いインクや塗布面積が大きい印刷の場合、HS-D メッシュは膜厚均一性の向上に有効です。

#### 版離れ時のメッシュへのインク残りと印刷膜厚の均一性のイメージ

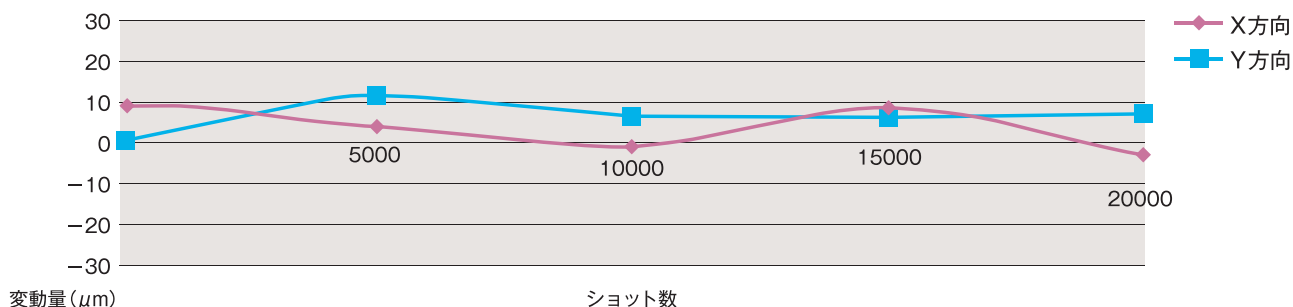


HS-Dメッシュは従来と比べて強度2.5倍の線材を開口率40%で稠密製網しているため、耐力点が非常に高く、塑性変形を起こしにくくなっています。0.15mm以上の高いテンションで紗張りすることもできます。

HS-Dメッシュを使用した「無変形スクリーン版」は、クリアランスを大きく設定し、高粘度インクでの版離れ性を向上させることができます。

HS-Dメッシュはクリアランスを通常の2.5倍の設定で2万回連続印刷しても塑性変形を起こしません。印刷物二軸方向の変動量は±10ミクロン以内で安定しており、印刷寸法精度は飛躍的に向上しています。

#### HS-D500 連続印刷での座標変動量

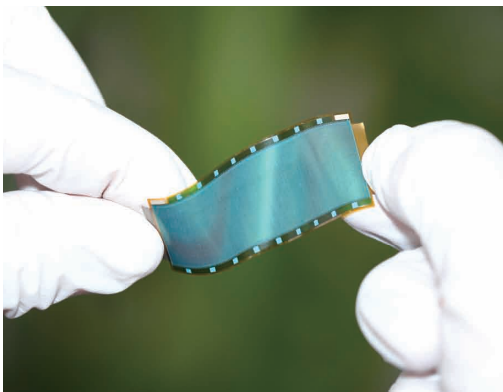


| タイプ  | メッシュ数 | 線径 (μm) | 紗厚 (μm) |       | 紗張り        | バイアス角度 | ピッチ (μm) |
|------|-------|---------|---------|-------|------------|--------|----------|
|      |       |         | ノーマル    | カレンダー |            |        |          |
| HS-D | 360   | 25      | 59      | 41/29 | SSコンビネーション | 20°    | 71       |
| HS-D | 500   | 19      | 45      | 25    | SSコンビネーション | 20°    | 41       |
| HS-D | 650   | 14      | 34      | 23/17 | SSコンビネーション | 20°    | 39       |

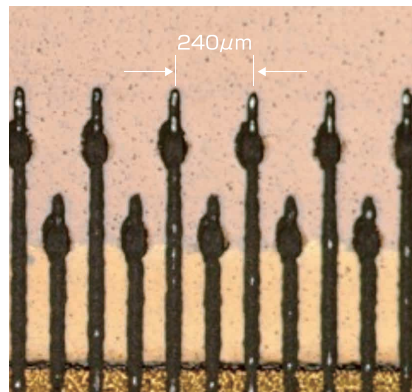
## 4 フレキシブルクランプ式電流センサー

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 製造は、これまでは半導体プロセスを利用して、センサー、アクチュエーター、電子回路をシリコンやガラスなどの無機基板上に作り込んだデバイスが主流でした。しかし、近年ではプラスチックの基板上に制作するフレキシブルMEMSが必要とされてきました。スクリーン印刷は、成膜やパターニングだけでなく、厚塗り、穴埋め、積層および三次元実装にも適用できるため、MEMS製造に最も適した印刷プロセスです。

以下に、外寸：20×50mmのフレキシブルな基板上にスクリーン印刷を適用したフレキシブルクランプ式電流センサーの製造プロセスを紹介します。この電流センサーは、店舗やオフィスの各配線に後付けで設置する事ができ、配線ごとの消費電力を監視し、ネットワーク化することで省エネルギーに貢献します。



フレキシブル性を兼ね備えた電流センサー



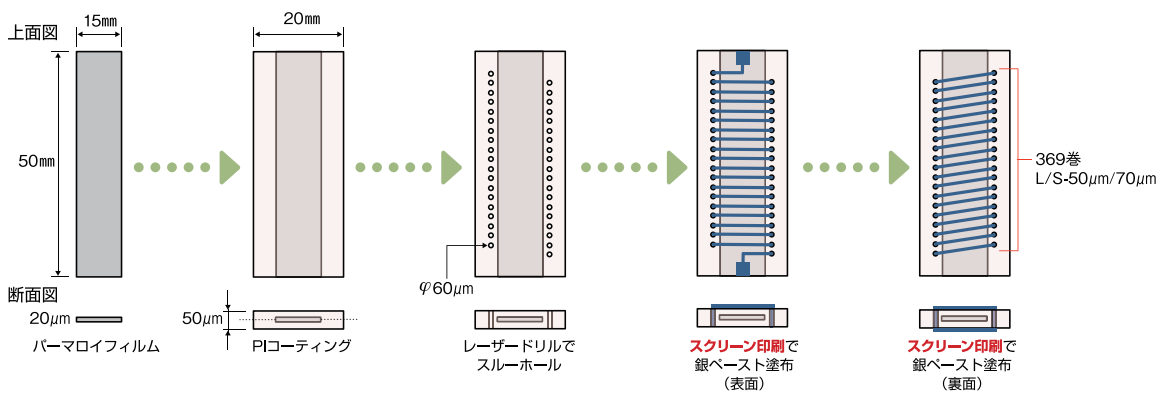
作製した電流センサーの側端部分

薄膜材料の両面に粘弾性の高い導電性ペーストをスクリーン印刷で塗布し、コイル構造を形成しています。両面の導通も、スクリーン印刷でビア埋めしています。

## 電流センサーの作製方法

- ① パーマロイ基材の両面にカプトンシートを熱圧着により張り合わせ
- ② レーザー加工により 240 ミクロン間隔で径 60 ミクロンの貫通穴を片側 369 個形成
- ③ スクリーン印刷で銀ペーストを穴埋め (25 ミクロン厚メタルマスク)
- ④ 両面にライン/スペースが 50/70 ミクロンの微細配線を印刷 ※銀ペースト粘度 350Pa・S
- ⑤ 両面に絶縁ペーストでカバーレイ印刷

## 電流センサーの作製プロセス模式図



謝辞: 本成果は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務である、「グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクト (GSNプロジェクト)」により得られたものである。

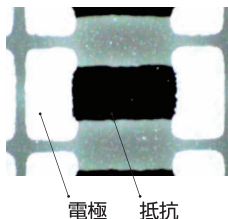


# 超高強度HS-Dメッシュによる最先端スクリーン印刷技術

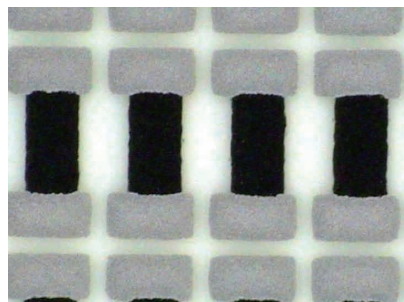
## A チップ抵抗部品アレイ状テストパターン印刷

～均一膜厚と高い相互位置合わせ精度を実現～

HS-Dメッシュを使用した高品質スクリーン印刷により、膜厚均一性と印刷位置精度が向上します。チップ抵抗部品の印刷に於いては、抵抗値のバラツキ低減で「ノートリミング」での製造が可能になると期待されています。写真は、200×200 mmの大面积フィルムに1.0 mm × 0.5 mmサイズのチップ抵抗パターンを±10 ミクロンの位置合わせ精度で8 万個印刷したものです。カーボン抵抗ペーストの印刷で±10%の抵抗値の均一性を実現できました。



電極 抵抗



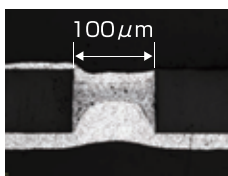
基板：PETフィルム

- 枠サイズ：550×550 mm
- メッシュ：HS-D500 / 19 / CL25 / EOM9

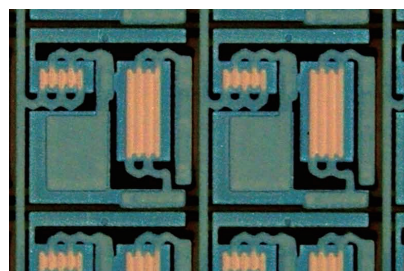
## B 有機トランジスタアレイプリンテッドエレクトロニクス

～有機EL用「2T1C」2.5mmピッチ～

有機ELの駆動用に、有機トランジスタ形成面の基板裏側に画素電極を配置する構造（東京大学染谷研究室協力）のデバイスを作製しました。ゲート電極とチャンネル長30 ミクロンのS/D電極をHS-D650メッシュを使用して印刷しました。銀ペーストは、平坦性が高いトーヨーケム® RAFS089です。100ミクロンφのビア穴埋めもスクリーン印刷で接続しています。



ビア穴埋め断面



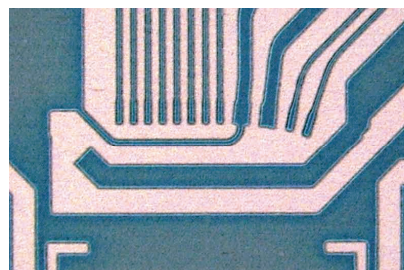
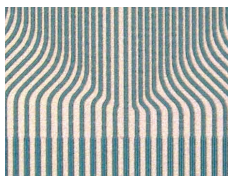
基板：ポリイミドフィルム

- 枠サイズ：450×450 mm
- メッシュ：HS-D650 / 14 / CL17 / EOM10 (S/D電極)

## C UV硬化型エッチングレジストインク印刷

～脱フォトリソ 225ミクロンピッチ～

銅貼り積層板にドライフィルム（DFR）をラミネートする工法に変えて、高粘弾性エッチングレジストインクを直接スクリーン印刷し、エッチングする工法を紹介します。超高強度HS-Dメッシュで良好な版離れを実現し、印刷解像性と寸法精度の両立が可能になりました。高粘度ペーストをHS-D500メッシュで印刷し、設計値120ミクロンに対し、印刷後130ミクロンのラインを形成できました。



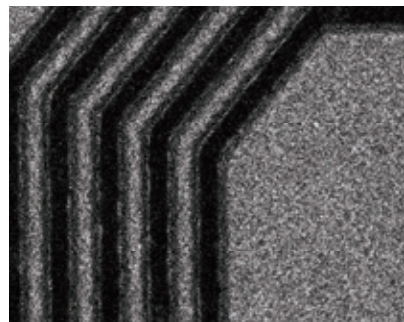
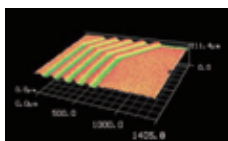
基板：銅貼り積層板

- 枠サイズ：950×950 mm
- メッシュ：HS-D500 / 19 / CL25 / EOM15

## D アルミナ基板回路3層印刷

～150ミクロンピッチ電極～

アルミナ基板にHS-D650で高粘度の焼成型銀ペーストを3層印刷しました。1層印刷の際の焼成後の厚み約6ミクロンに対し、3層印刷では2倍の約12ミクロンです。熱安定性が高いアルミナ基板に150ミクロンピッチの平坦な電極をスクリーン印刷で形成しています。感光性銀ペーストやフォトリソプロセスを使用せず、スクリーン印刷だけで基板の小型化、高性能化、コストダウンに繋がります。



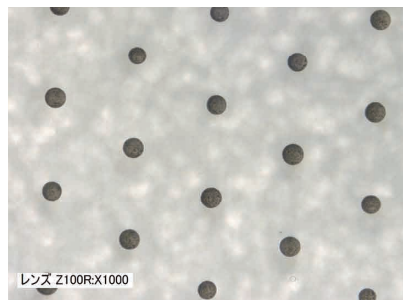
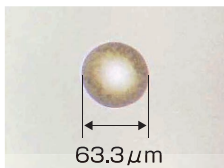
基板：アルミナセラミック

- 枠サイズ：320×320 mm
- メッシュ：HS-D650 / 14 / CL17 / EOM10

### E LCD 導光板バックライトのドット印刷

～最小径は60ミクロンφを実現～

大型 LCD のバックライトは、現在、厚さ数ミリのアクリル板にスクリーン印刷で 300 ミクロンφ程度のドットが多数形成されています。今後、中型 LCD やタブレット用 LCD では、導光板の厚さが 0.4 mm 程度と薄くなり、印刷されるドットのサイズを 60 ミクロンφ程度にする必要があります。高精細 MS640 メッシュを使用することで、スクリーン印刷で 60 ミクロンφの微細パターンも形成可能です。



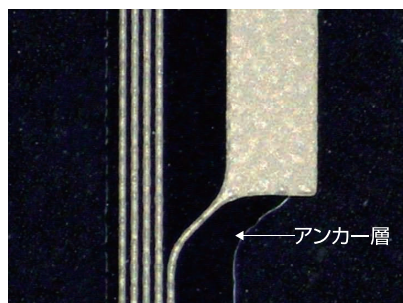
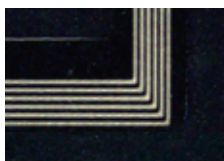
基板：アクリル板

- 枠サイズ：450×450 mm
- メッシュ：MS640 / 15 / CL21 / EOM20

### F タッチパネル 40ミクロンピッチ電極印刷

～アンカー印刷併用工法～

世界最高精細ステンレスメッシュ - 線径 12 ミクロンの MS-D900 (開発品) でタッチパネル引出電極形成のスクリーン印刷の極限に挑戦しました。下地となるアンカー層は MS640CL21 で印刷(乾燥後膜厚約 1.0 ミクロン)。電極の設計値は 40 ミクロンピッチ (23/17 ミクロン) です。



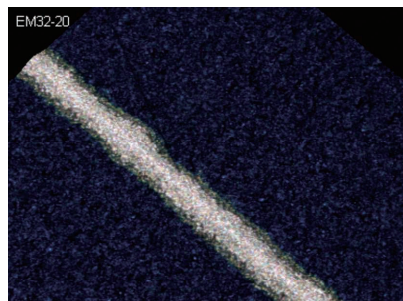
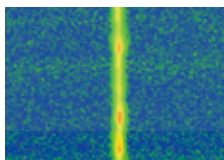
基板：PETフィルム

- 枠サイズ：320×320 mm
- メッシュ：MS-D900 / 12 / CL15 / EOM10

### G 太陽電池フィンガー電極印刷

～ライン幅は 50 ミクロンから 40 ミクロン以下の時代へ～

シリコン結晶系太陽電池は高シート抵抗セルの変換効率の向上のために、フィンガー電極が狭ピッチ化し、ライン幅もさらに細くする必要があります。現在、印刷後 60 ミクロンのライン幅は 50 ミクロン以下へファイン化が進んでおり、より高精細なスクリーンメッシュが必要になっています。ライン幅 50 ミクロン以下には 500 メッシュ、40 ミクロン以下には 640 メッシュを使用してください。



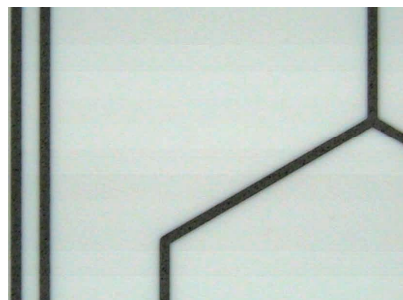
基板：シリコンウエハ

- 枠サイズ：450×450 mm
- メッシュ：MS640 / 15 / CL21 / EOM15
- インク提供：京都エレックス®

### H スクリーン印刷用 CNTインク

～機能材料メーカーの皆さまへのご提案～

いかなる塗布型機能材料も機能と塗布性能を両立しなければ有効に利用できません。他の塗布工法で利用している各種機能材料に「粘弾性」を付与することで、スクリーン印刷が可能になります。これまで高濃度化が困難であった CNT 分散液も「粘弾性」を付与し、スクリーン印刷性能を高めることが出来ました。印刷後の平坦性が高く、設計値 150 ミクロンに対し印刷ライン幅は 175 ミクロンで印刷されています。



基板：PETフィルム

- 枠サイズ：550×550 mm
- メッシュ：MS500 / 19 / CL25 / EOM10
- インク提供：神戸天然物化学®