

新技術説明会 (JST)

スポンジでゴシゴシっと配線印刷、
曲面ワークに線幅10 μ m！

Development of print-production technology
for high-resolution circuits on free curved surfaces

東京大学 大学院工学系研究科 長谷川・荒井研究室

特任研究員 井川光弘

2023年1月20日

従来技術とその問題点

自由曲面などの複雑な3次元構造物上において、
高精細に配線形成する方法がない。

- ・ フォトリソグラフィ :

対象物に1cm以上の高低差があると対応不可

- ・ 印刷法 :

緩やかに湾曲した表面のみ対応可、
線幅 $10\mu\text{m}$ 以下などの高精細化は未達。

たとえば
マウス形状。



今回見出した新技術は上記を可能とする。

自由曲面：平面曲げから作り得ない

(配線幅(W) $10\mu\text{m}$ 以下、対象物の曲率半径: 23~112 mm)

電子デバイスの作製プロセス

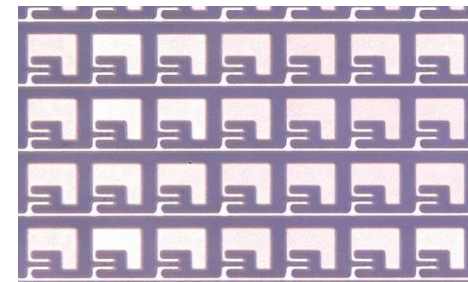
フォトリソグラフィ

真空プロセス、高温、多工程⇒**お金も時間もかかる。**

Single flat film formation → Resist coating → Lithographic exposure → Development → Resist removing

信頼性:高

(高解像度、高精度)



例:トランジスタの電極配線

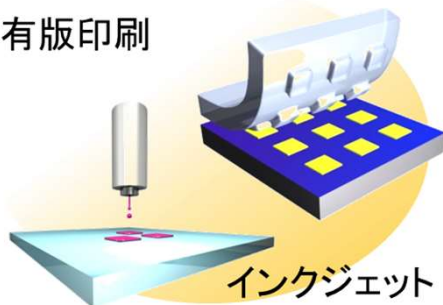


印刷

真空プロセスがない、低温、工程が簡易 ⇒ **安くて速い。**

信頼性:低

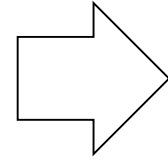
有版印刷



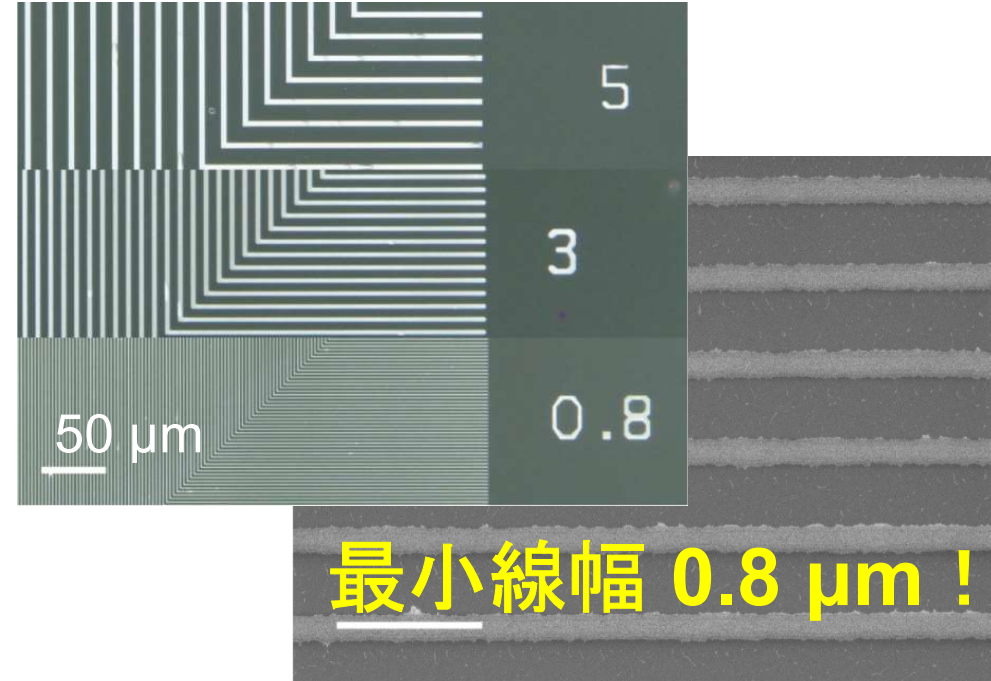
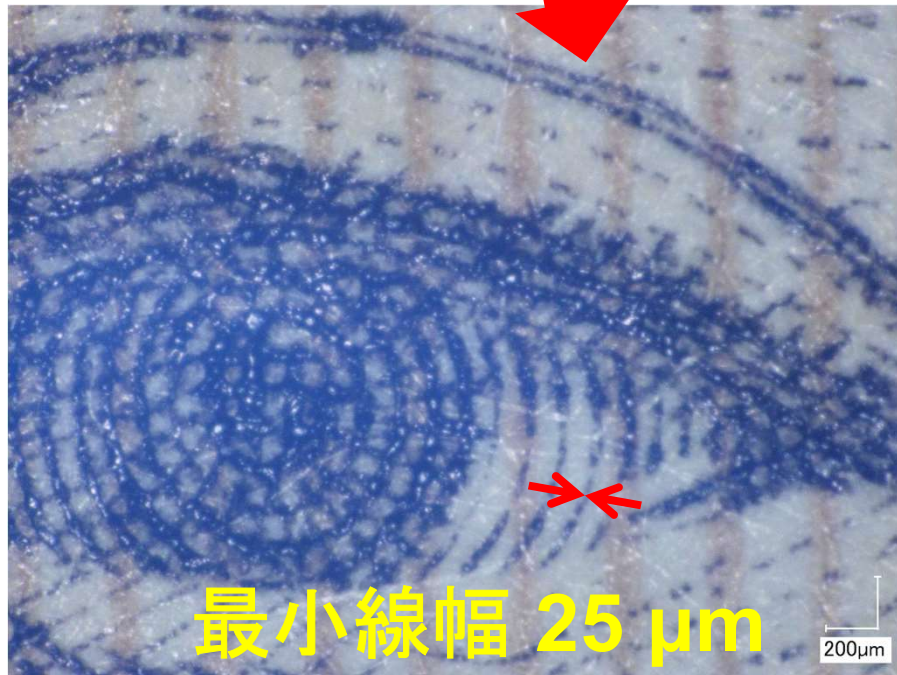
これらが徐々に改善

プリントド、なう (70%)

伝統印刷技術の粋



新原理印刷技術



3次元構造物上への
形成が可能に

スーパーナップ法 (7075)



■ 曲面プラスチック上の電子回路形成へのニーズ

「人とコンピューターをつなぐ Key Device」



多大なメリット

小型軽量・デザイン性・基板レス・筐体一体化...

- ・ 現行技術では精細度と形状に限定がある
(複雑な形状には製造不可能)。
- ・ 量産を見越した技術がない。

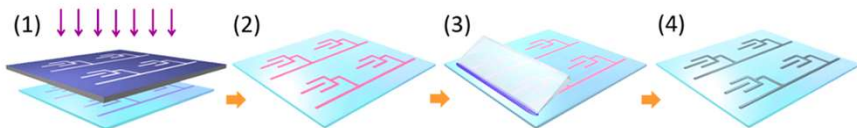
■ 基盤技術

● スーパーナップ法 「光をあてて塗るだけで高精細な印刷が可能」

表面光反応ナノメタル印刷 (SuPR-NaP; Surface Photo-Reactive Nanometal Printing) 法

プロセス概念図

- ・ マスク露光 (VUV照射 on Cytop薄膜)
- ・ 銀ナノインクの塗布



最小線幅 0.8 μm

開発のエッセンス

高精細な立体型
(一品物)

ガラスフォトマスクの製造

スーパーナップ法
先進印刷技術による
『型写し』(量産化)
自由曲面プラスチック上
に配線形成

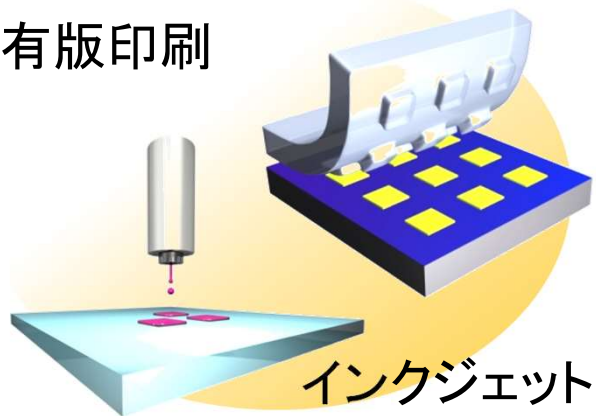
Yamada et al. *Nat. Commun.* 7, 11402 (2016).

■ プリントドエレクトロニクス

「印刷」を用いたデバイス製造のためのシーズ

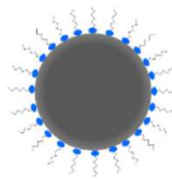
電子素材を含むインクを常温・常圧で塗布

有版印刷

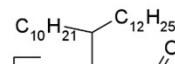


インクジェット

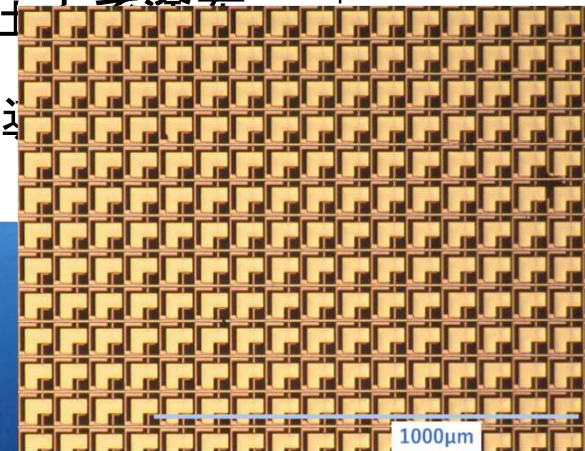
金属ナノインク



ポリマー半導体



製造工程の自由化



TFTアレイ(300 ppi)

現状

- 金属配線の高精細化・半導体
- 高精細・高性能TFTの全印刷

課題

材料・プロセス技術は成熟して「印刷」の特徴をフル活用した

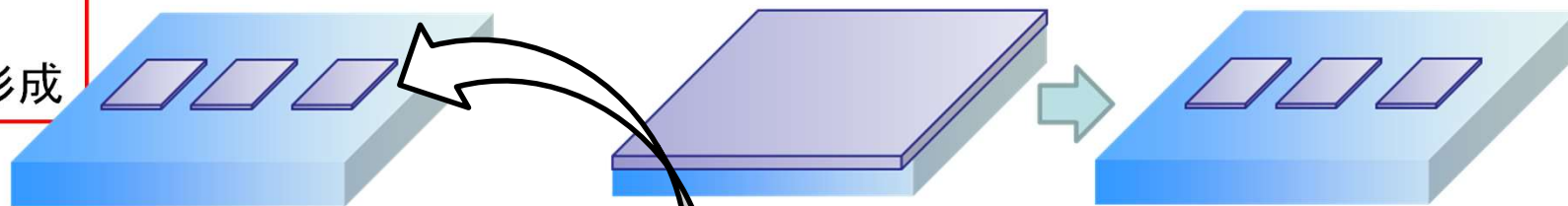
A-STEP機能検証フェーズ研究開発課題
『全塗布型 & 超高精細ポリマーTFTアレイシートの開発』
2018年12月～2019年12月

印刷法の種別

Printing technique: **Direct Patterning & Film Formation**

B: ベタ作製後に
パターンを形成

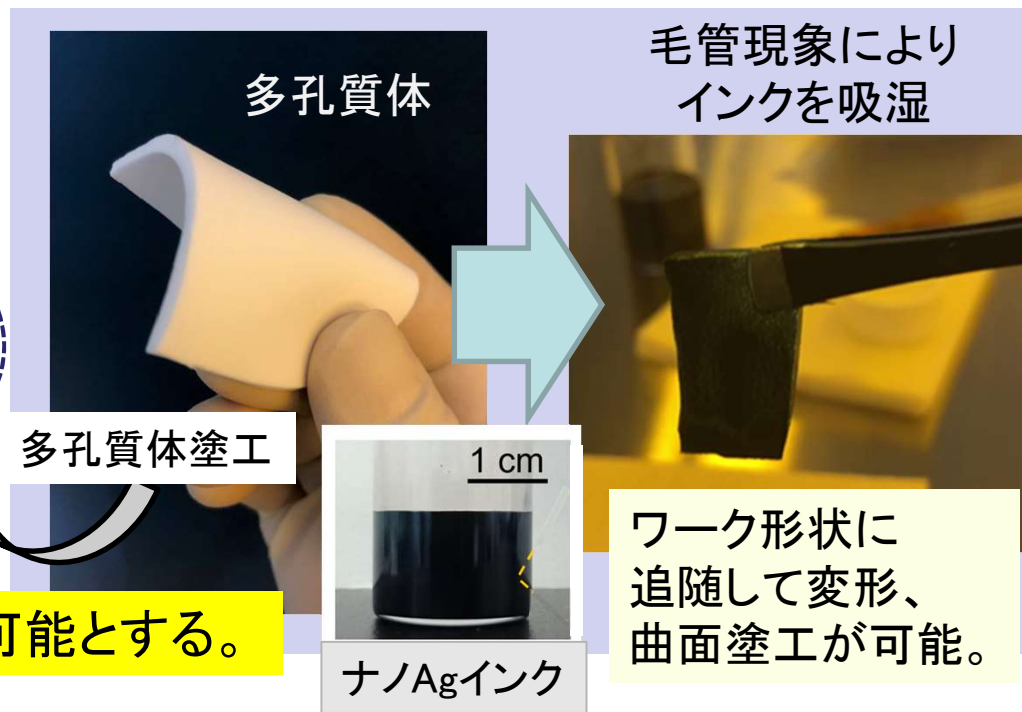
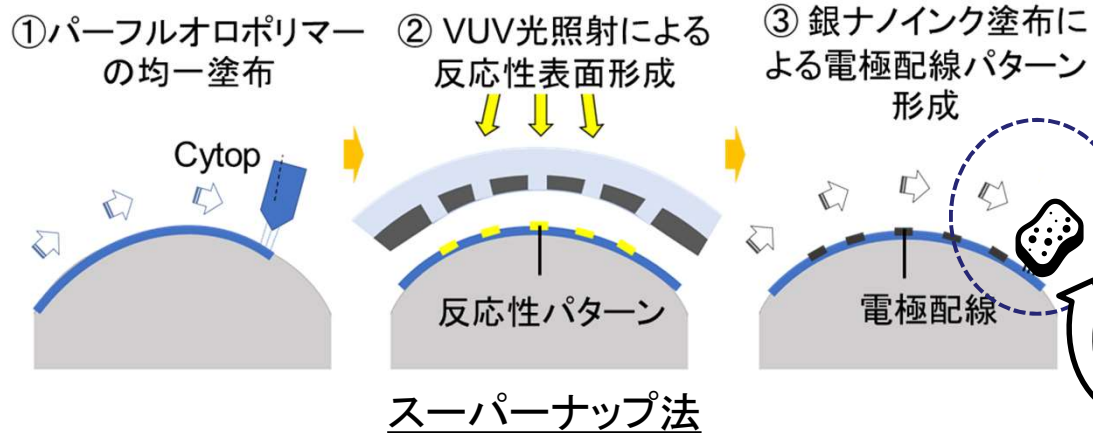
A: ダイレクトに
パターンを形成



e.g.)
Ink jet printing, Screen printing

e.g.)
Reverse offset printing, Microcontact printing

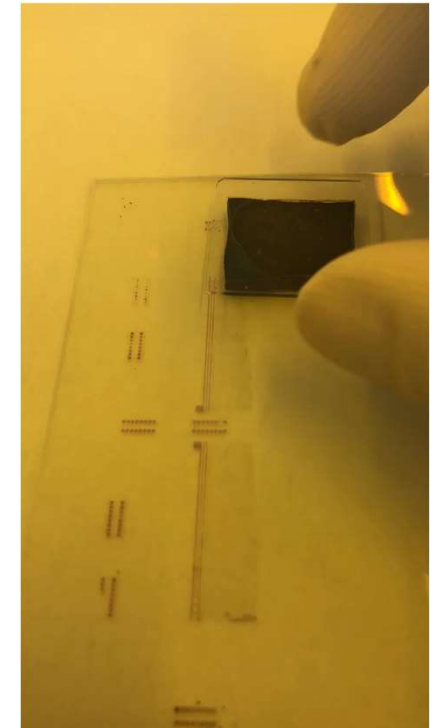
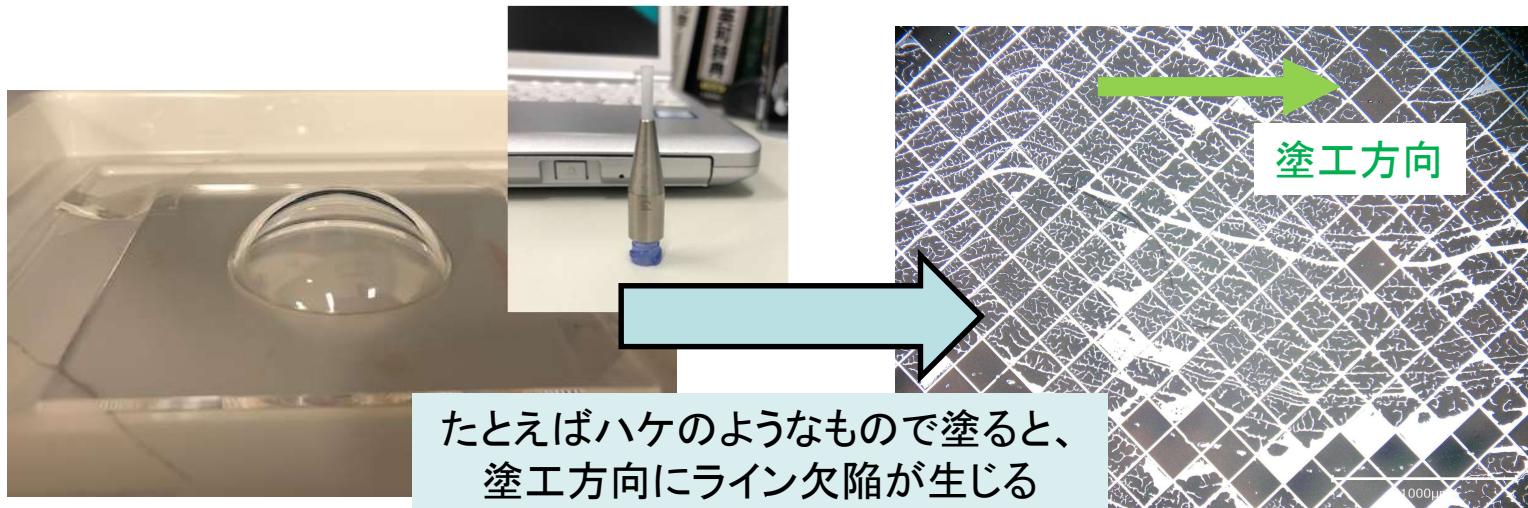
今回の発明



多孔質体塗工を他印刷技術と組み合わせ、Aを可能とする。

新技術の概要、メリット

- 多孔質体の細孔による毛管力（吸液）と多孔質体/基板間の毛管力（吐液・塗工）を利用した印刷法。
- 立体形状物上に塗工の際、**インクが流れ滴ることなく、保持**。均一に塗工・印刷が可能である。
- 多孔質体は柔らかい素材のものをを用いることで、**下地のダメージは問題とならない**。
- 多孔質体の孔のサイズは**マクロ孔以上**であることが望ましい（電子素材が浸透する必要性がある）。
- 例えば本例のようにスーパーナップ法（既存の印刷法）と組み合わせることで、従来不可能であった**立体形状物上への高精細印刷**が可能となる。



ざっくりと、こんな感じ
(平面上のデモ)

柔らかくて、耐溶剤性が
良く、孔のサイズはイン
ク・下地との兼ね合い。



物理特性 (PHYSICAL PROPERTIES)

グレード Grade	K001	VT20	TM38	ST15-50	ST20-200AQL
セル径 (μm) Cell Size	200	90	10	50	200
気孔率 (%) Cell Ratio / Porosity	80	80	64	85	80
密度 (g/cm ³) Density	0.200 (12.49pcf)	0.170 (10.6pcf)	0.330 (20.6pcf)	0.139 (8.68pcf)	0.2 (12.49pcf)
引張強度 (KPa) Tensile Strength	729 (105psi)	450 (65psi)	1,807 (262psi)	229 (33psi)	670 (97.5psi)
伸び (%) Elongation	244	170	555	220	150
硬度 (Asker C) Hardness	22	11	52	8	35

ポリオレフィン系
多孔質体



材質はこれに限らない

[MAPS \(inoac.co.jp\)](http://maps(inoac.co.jp))

透液安定性

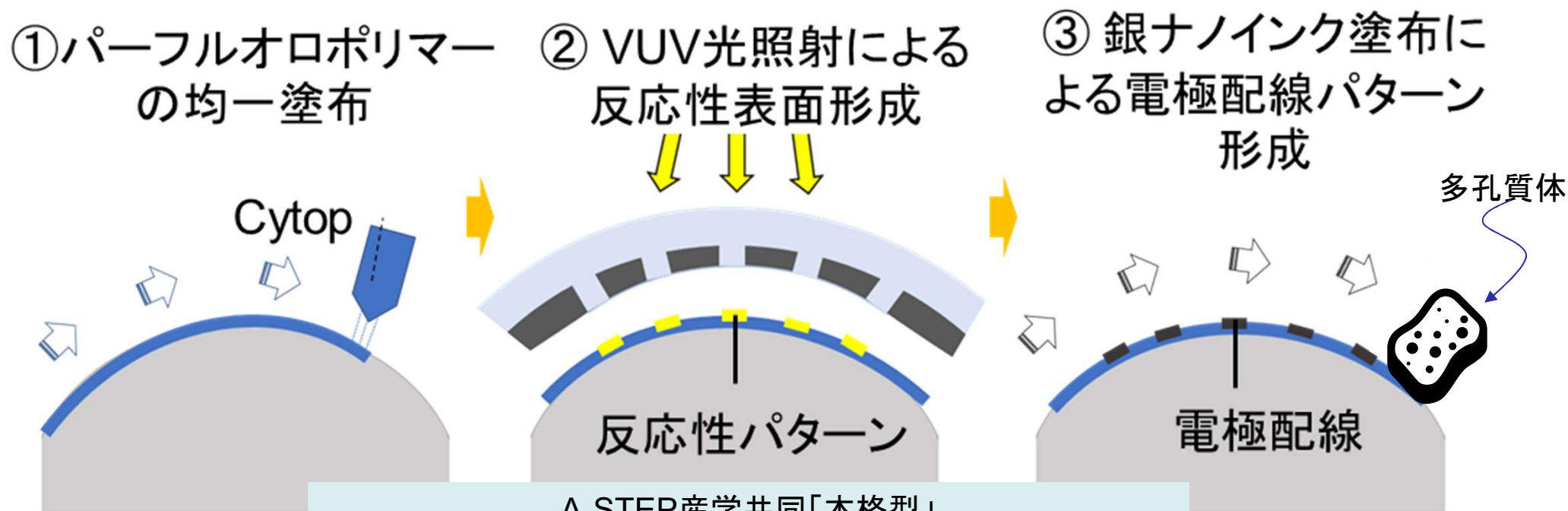
セル径をコントロールすることで、用途に合わせた透液性を得ることが可能。
また、セルの大きさが揃っているため透液性能が安定。

耐溶剤、薬品性

オレフィン素材をベースとした MAPS は優れた耐溶剤性、耐薬品性を発揮。

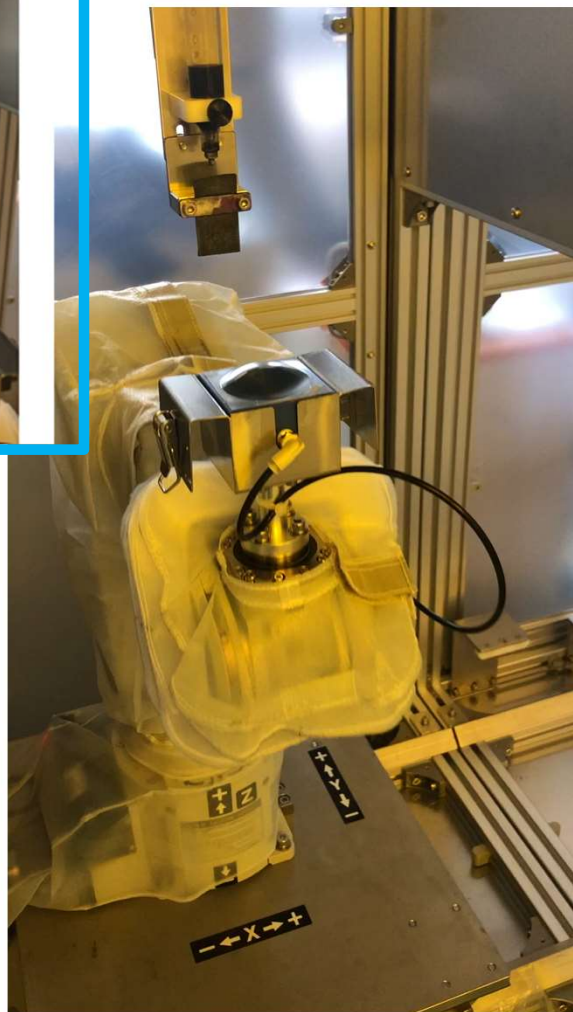
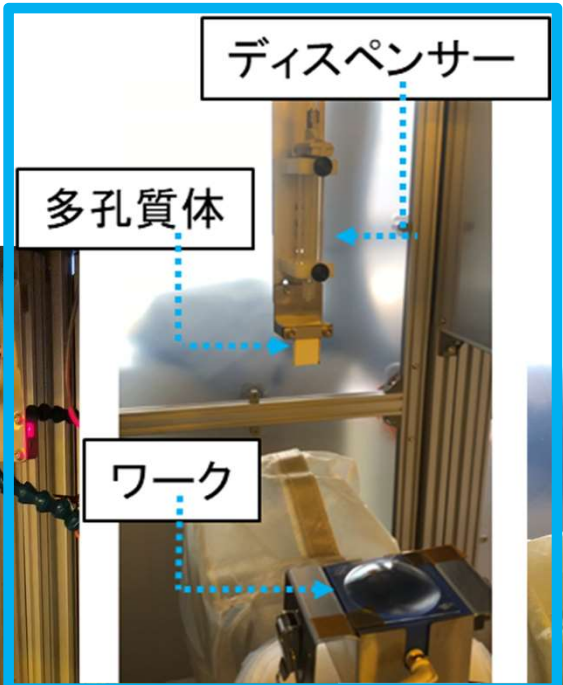
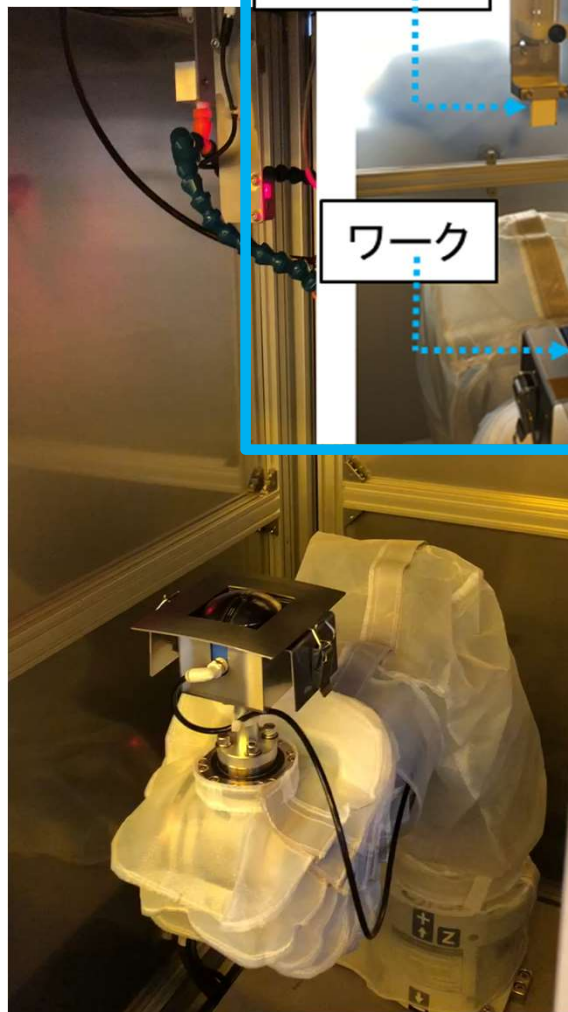
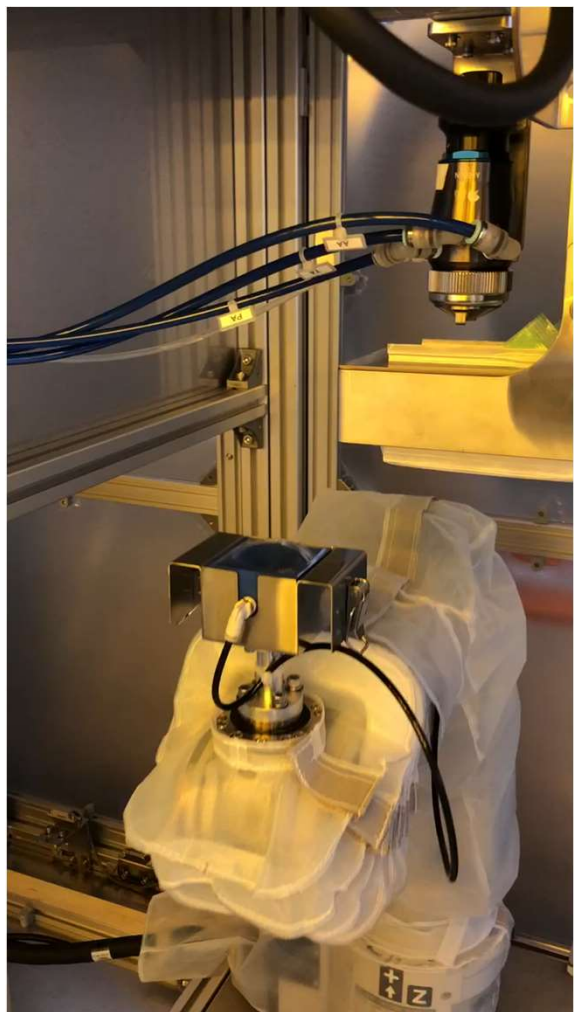
「スーパーナップ法 + 多孔質体印刷」

- スーパーナップ法を曲面印刷に応用するために工法の具体化を実施。
- 塗工方法に新技術の「多孔質塗工」を採用し、曲面形状上の均質印刷が可能。
- 専用装置を製造し、**ロボットアームを用いて各工程を一連化**。
- **対象物の曲率半径：23～112 mm**、配線幅10 μ m以下の高精細化を達成。



A-STEP産学共同「本格型」
『自由曲面上への高精細電子回路の全印刷製造技術の開発』
2020年12月～2022年3月

ロボットアームが3次元動作



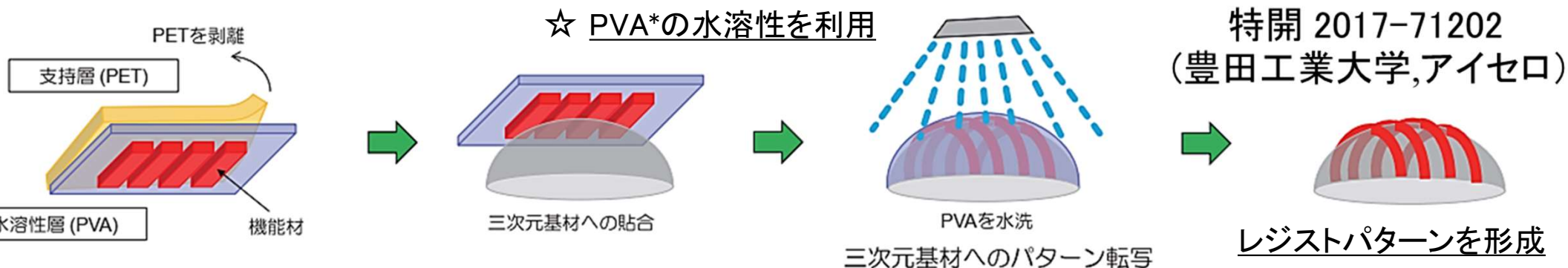
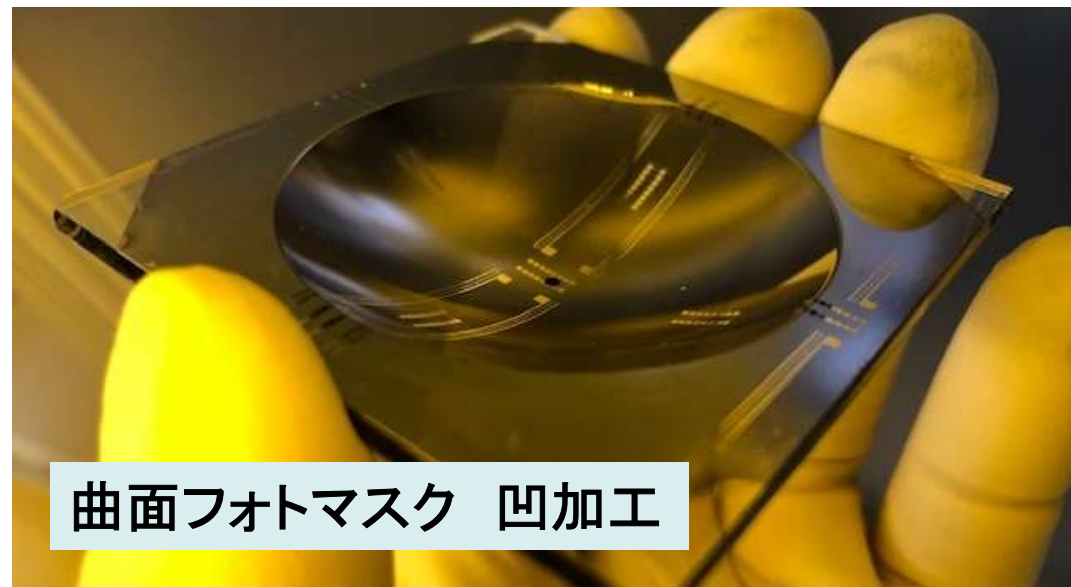
プロセスの一連を装置化 (ミノグループ株式会社)

協力: 豊田工業大学 佐々木教授

曲面フォトマスク 凸加工



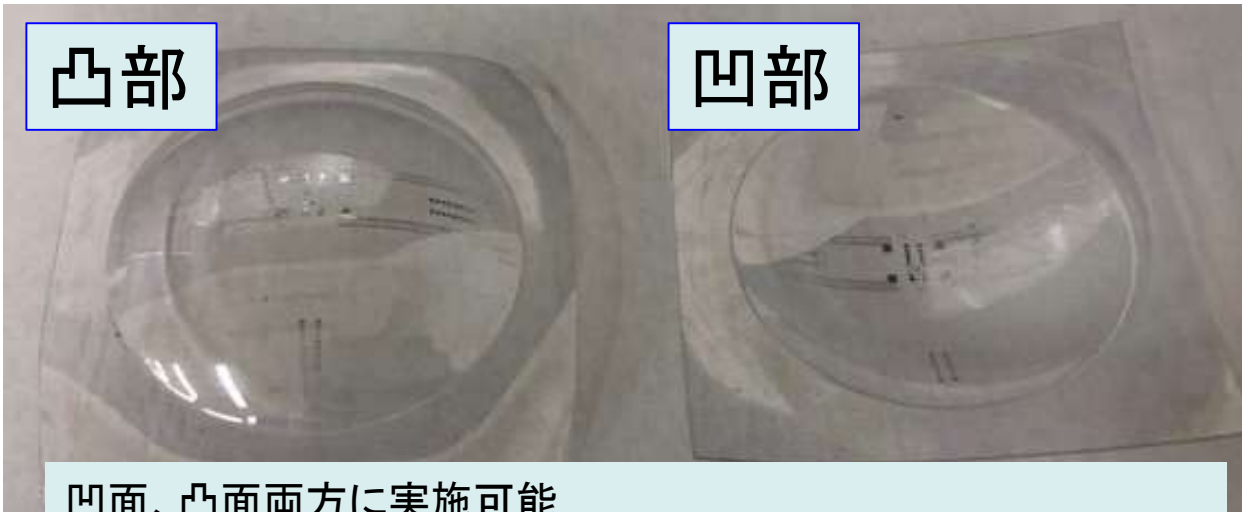
曲面フォトマスク 凹加工



*ポリビニルアルコール

曲面フォトマスクは「機能性パターン転写法」により作製。

◎ 曲面への高精細印刷法を確立



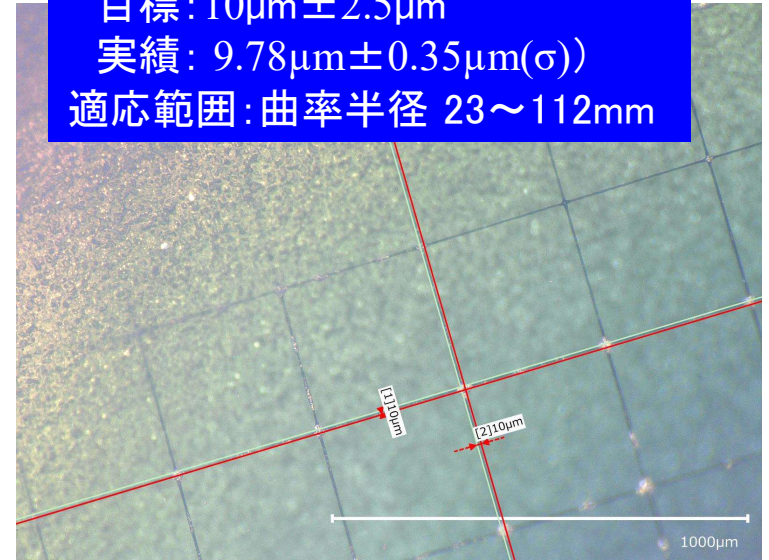
凹面、凸面両方に実施可能
⇒ 曲率の異なる構造を含むワークにも応用できることを示唆。

寸法精度

目標: $10\mu\text{m} \pm 2.5\mu\text{m}$

実績: $9.78\mu\text{m} \pm 0.35\mu\text{m}(\sigma)$

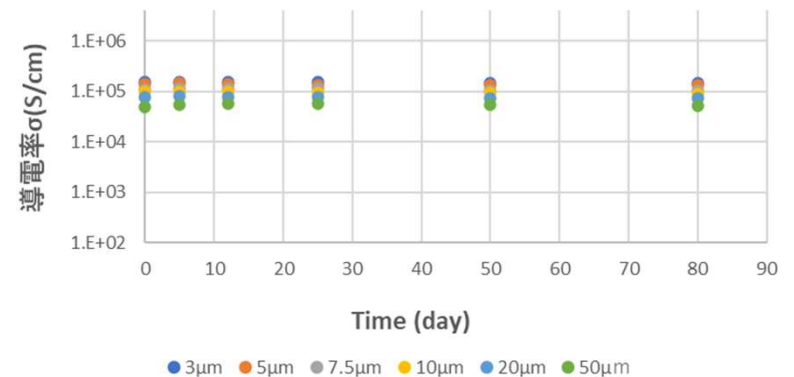
適応範囲: 曲率半径 23~112mm



形成した配線は長期間導電率を保持。

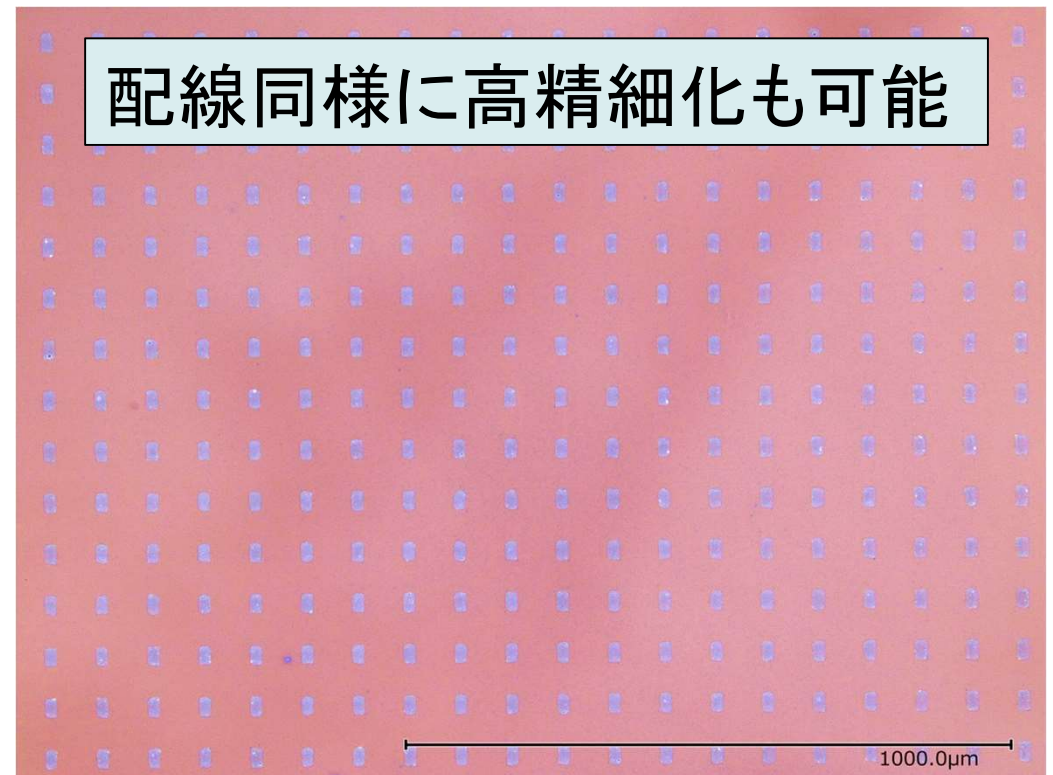
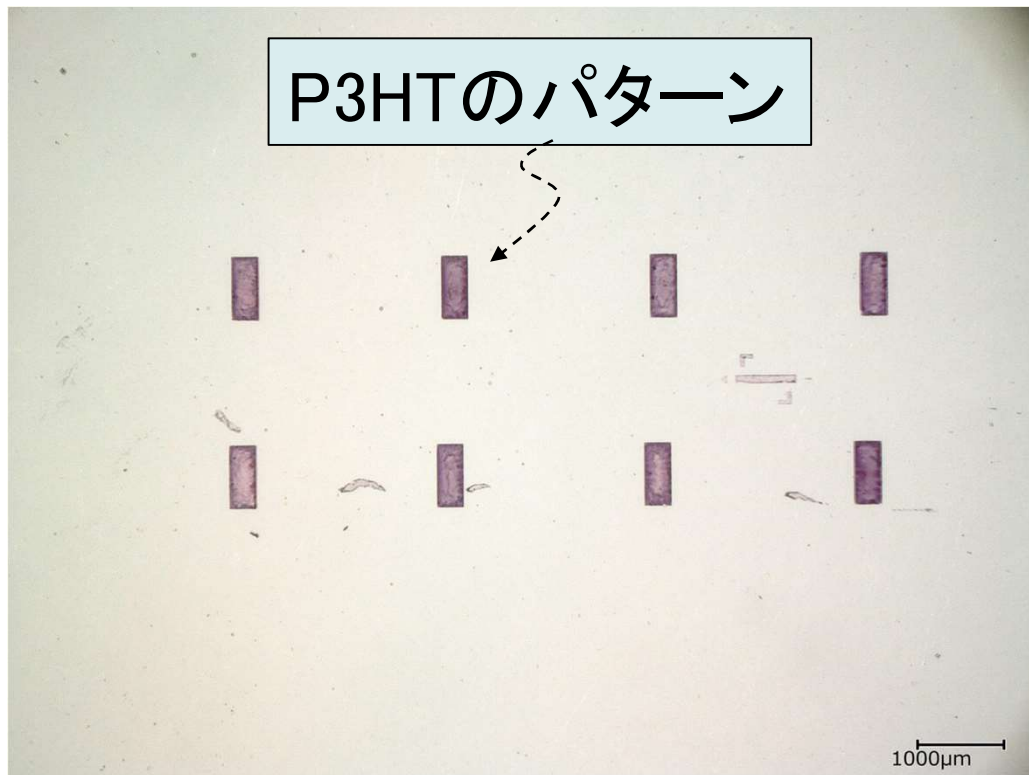
- ✓ タクトタイム: 各工程5分以内
(絶縁材料塗布: ◎、光反応性パターン形成: △(達成見込み)、配線パターン形成: ◎)
- ✓ ◎線幅 $10\mu\text{m}$ の曲面印刷を達成
- ✓ ◎良好な電気伝導度(抵抗率 $\rho(\Omega \cdot \text{cm})$: 3.62×10^{-5})

導電率 σ の推移



大気中保管 (r.t.: 5~30°C, 湿度: 40~80%)

- 新技術は多孔質体の細孔による毛管力（吸液）と多孔質体/基板間の毛管力（吐液・塗工）を利用した印刷法であり、上手く原理を利用することで様々なインク（電子材料）の高精細印刷、曲面印刷が可能。
- 代表的な高分子有機半導体（P3HT）材料を用い、本技術の汎用性の高さを確認。
- 電子配線と半導体を積層することでトランジスタや電子回路の形成など、応用が広がる。



P3HT: poly(3-hexylthiophene)

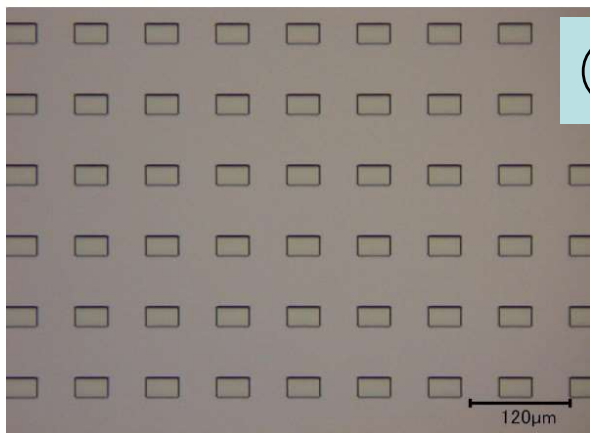
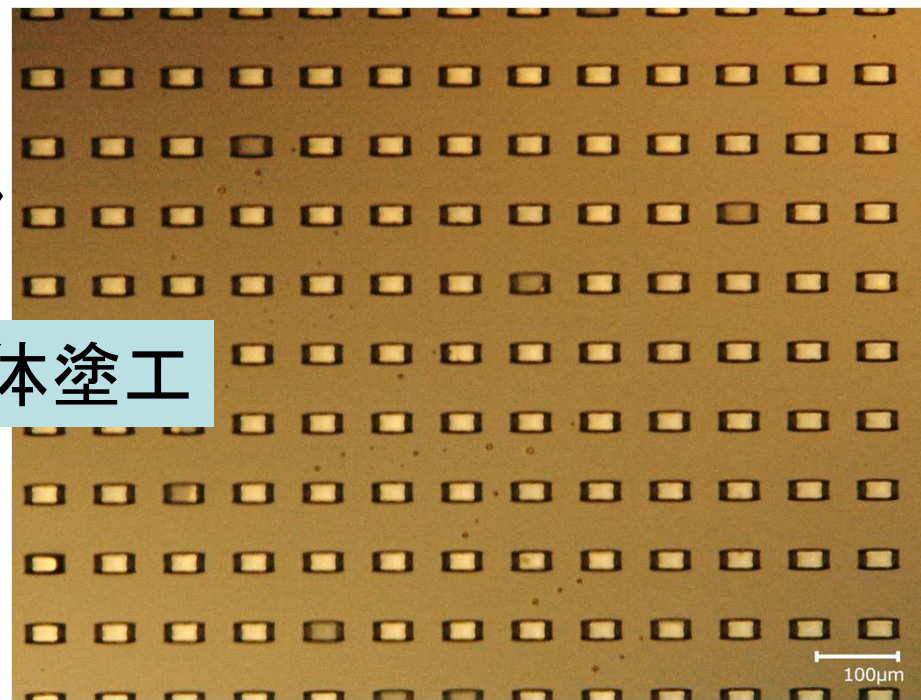
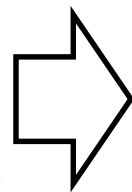
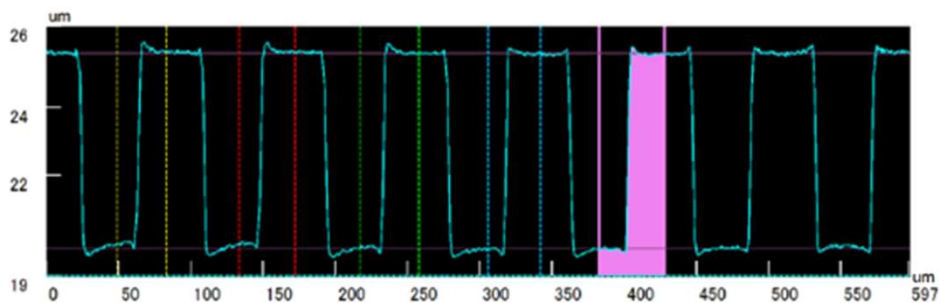
銀インクに限らず、例えば有機半導体インクに応用できる。

今回示した例: 「スーパーナップ法+多孔質体塗布」

⇒ フッ素樹脂と光照射 (VUV) が必要

◎ 他の例: 「溝形成+多孔質体塗布」

⇒ フッ素樹脂・VUVが不要



② 多孔質体塗工

① 下地に溝を形成 e.g.) SU-8, PDMS

多孔質体の吸湿性と溝に塗れ広がる毛管力の最適化⇒溝内にのみ電子材料が浸透

● 本技術を自由曲面上への印刷法に展開

各種印刷工法は
曲面印刷で苦戦



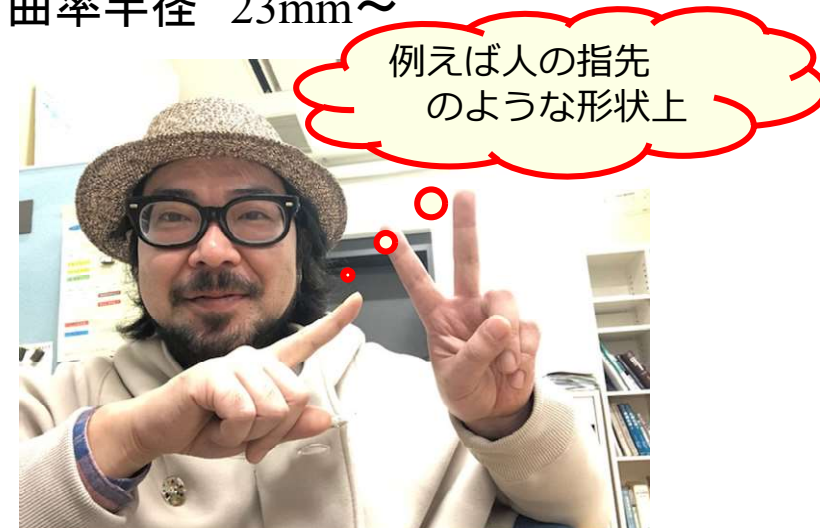
複雑形状表面 & 高精細配線で
本技術が有利

競合・既存技術

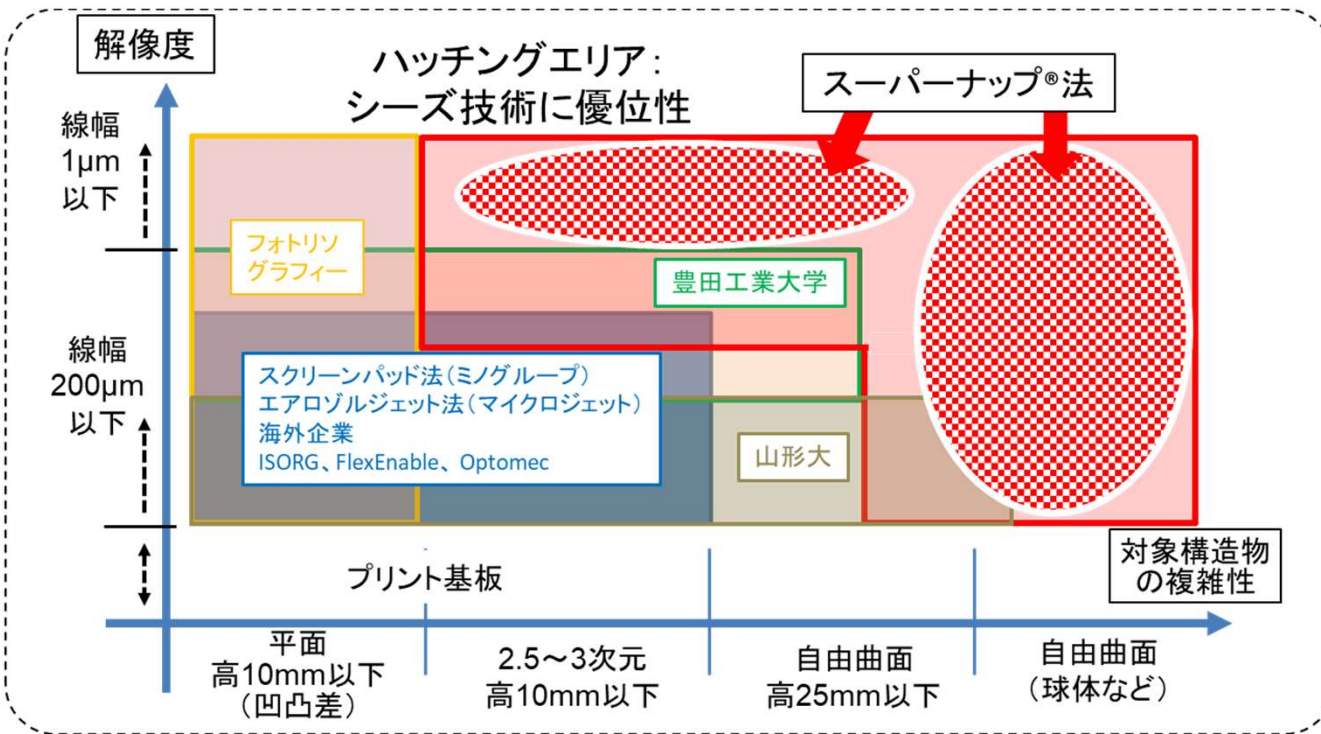
- ・線幅W:30 μ m~100 μ m程度
- ・溝もしくはガラス瓶などの緩やかな曲面

本発明

- ・線幅W:10 μ m~5 μ m程度
- ・曲率半径 23mm~



例えば人の指先
のような形状上



想定される用途

3次元化のメリット

基板レス・筐体一体化・
小型軽量化・デザイン性付与

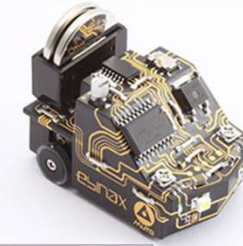
- ✓ スマートフォン内蔵ユニット
- ✓ 車載ユニット部品
- ✓ 小型医療機器
- ✓ ウェアラブル機器



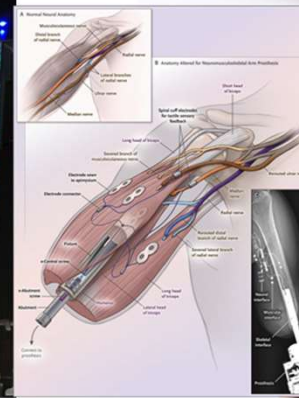
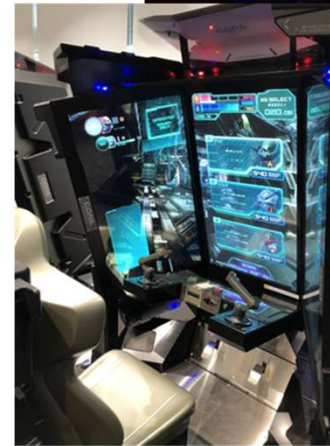
- ・多彩な加工部品
- ・自動車部品
- ・アミューズメント



3次元形成部品上への回路形成



3次元センサ・情報端末の構築



医療・介護ロボット ソフトロボティクス



- ✓ 電子機器に新たなデザイン性・機能性を付与
- ✓ 未来社会を予感できる多彩な電子製品を創造

下記引用元

[MIDとは何ですか？ - エビナ電化工業株式会社 \(ebinadk.com\)](http://ebinadk.com)

[“いい感じ”にモノをつかむソフトロボティクス | テクノロジー&イノベーション | 株式会社ブリヂストン \(bridgestone.co.jp\)](http://bridgestone.co.jp)

[NTTドコモ、高解像度版浮遊球体ドローンディスプレイを開発 浮遊しながらのアニメ再生も - ロボスタ \(robotstart.info\)](http://robotstart.info)

[Self-Contained Neuromusculoskeletal Arm Prostheses | NEJM](http://nejm.org)

極薄のスキン圧力センサーで指がモノに触れたときの接触圧を計測～敏感な指先に直接貼り付けても皮膚感覚に影響がないことを実証～：電気工学専攻 李成薫 講師、横田知之 準教授、染谷隆夫 教授ら | 工学部/工学系研究科 プレスリリース (u-tokyo.ac.jp)

実用化に向けた課題

- 積層化が必要な場合に生じる「アライメント（位置合わせ）」の曲面適応（位置精度次第で作れるものも変わってくる）。
- 製造装置の自動化。
- ターゲットを絞り込み、本技術を活かすことのできる事業化対象物の明確化。

企業への期待

前述の「想定される用途」以外でも、本技術を活かすことのできるニーズがございましたらば、是非産学連携での開発を希望します（形態については別途相談）。

ご検討の程、どうぞよろしくお願いいたします。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 印刷方法、電子デバイスの製造方法および多孔質部材
- 出願番号 : 特願 2022-087925
- 出願人 : 国立大学法人東京大学
- 発明者 : 井川光弘、長谷川達生

お問い合わせ先

株式会社 東京大学TLO

TEL: 03-5539-6088

FAX: 03-5805-7699

HP: <http://todaitlo.com/>