

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「微細3次元配線を用いたマイクロデバイスの製造・実装技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 22 年 3 月

委託者 近畿経済産業局

委託先 株式会社ベンチャーラボ

目 次

第 1 章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標（高度化目標、技術的目標） 2
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名） 9
- 1-3 成果概要 12
- 1-4 当該プロジェクト連絡窓口 15

第 2 章 本論

- 2-1 高精度印刷装置開発 17
- 2-2 微細 3 次元配線印刷技術の開発 21
- 2-3 樹脂成型品への積層及び配線印刷技術開発 24

第 3 章 本論

- 3-1 マクロデバイスの設計およびプロセスの開発 28
- 3-2 微細 3 次元形状マイクロ構造体の成形品開発 31
- 3-3 微細 3 次元オフセット印刷機用金型開発 35

- 最終章 全体総括 40

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標（高度化目標、技術的目標）

1-1-1 研究開発の背景

MEMS（Micro Electro Mechanical System の略で、半導体の微細加工技術を駆使して作製された微小な部品から構成される電気機械システム）は、デバイス（自動車用センサ、プリンタヘッドなど）や部品に実用化が進行し、2003年時点で、MEMS製品は国内で推定約5,000億円の市場を形成している。

今後、自動車分野、通信分野（光通信・高速無線通信）、医療分野（血液検査・生体計測）、エネルギー環境分野（環境測定）などを中心にMEMSが普及していく。2010年には1兆3,500億円の市場規模に拡大していくと予測されている。

(三) 電子部品・デバイスの実装に係る技術に関する事項

1 電子部品・デバイスの実装に係る技術において達成すべき高度化目標

① 川下製造業者等の抱える課題及びニーズ

(1) 情報家電に関する事項

ア. 小型・高密度集積化 イ. 機能化・高機能・大容量高速情報処理化

今日の情報家電製品では、小型化への強いニーズから、各種センサの小型・高機能・低コスト化が強く求められている。そのため、薄く多層3次元に微細配線する技術と同時に、環境調和性が良いセンサ製造技術及び制御回路を含むパッケージ技術が強く求められている。

(2) 自動車に関する事項

ア. 安全性・快適性の向上 イ. 省エネルギー・環境対策

自動車の電子化の割合は、車体価格費で現在の13%から10年後には40%にまで増加すると言われる。特に安全性・快適性の向上を実現する手段として各種センサが使用されているが、小型・高機能・低コスト化を実現するには、高密度集積化と同時に高い信頼性を有する新たな高信頼性配線技術が必要になる。また、環境対応としての鉛フリー接続は必須であり、現状信頼性に於いて情報が欠如し問題を抱える信頼性に優れた配線技術が必要になる。これら課題を解決する、省エネルギー型の生産技術開発が必要である。

(3) ロボットに関する事項

ア. 小型・高機能化

人間と共存する共存型ロボットの普及には、小型・高機能で且つ低価格なセンサが必要である。また、様々なセンサから得られる多量の情報を処理・判断し、ロボットの自律活動を継続できる高密度集積で省エネルギーな実装技術が必要とする。また、ロボット特有の駆動部分を自由に設計するためのフレキシブルな皮膚センサ構造や配線技術が必要である。これらを実現するための、フレキシブル配線、微細 3 次元配線形成技術を必要とする。

② 研究開発動向（最新の技術水準と今後のトレンド）

本研究開発の開発要素技術の動向については、マイクロ樹脂成形と印刷技術によるマイクロデバイスの開発例はほとんど行われていない。

- ・スクリーン印刷による微細化はグリーンシート状に 30 μm のパターンが実現されており、更なる微細化の開発が行われている。しかしながらアスペクト比が 0.3 以下と小さく、10 μm 以下のファインパターンかつアスペクト比 1 以上の微細 3 次元印刷の開発が望まれている。
- ・貫通電極の穴あけは松下電工などがディープリアクティブエッチングによる方法で開発を進めているが、フォトリソ法は高コストである。画期的な穴あけ加工法が強く望まれている。

貫通穴加工及びセンサボディを成形する上での金型やオフセット印刷機のカスタム金型には、離型性からテーパ形状のカスタム金型が必要である（CD 用 Ni 電鍍金型はテーパ角が無く、オフセット印刷用金型への使用不可）。そのためにそれぞれの特性に合致したテーパ形状を作製する技術が必要である。京都大学田畑修博士らが X 線マスクを回転させる X 線リソ法によって円錐形状を作成しているが、放射光を利用しているため、装置が巨大であり高価である。また産総研青柳昌宏博士らはフォトリソ法によってレジストパターンを形成し、ガスデポジション法によってピラミッド型金バンプを作製しているが、面粗度が荒く任意角を作成するのは、この方法では困難である。本提案では、UV 回折法によってテーパ形状を持つ光学素子を作製している。この手法を応用した上述の要求される任意のテーパ形状作製の更なる開発の要求が強い。

今後、上述の課題を解決させ、環境負荷に優しい新しい製造技術（ハイアスペクト比、高精細を両立する）が渴望されており、フォトリソ+樹脂成形+オフセット印刷技術が有望（低歪、アスペクト比に適するテーパ付き金型が必須）と思われる。

1-1-2 研究開発の研究目的

本研究開発では、マイクロ金型によるマイクロ成形技術と印刷技術を併用した小型・高機能化・製造コスト低減および環境調和性の良い製造プロセス・実装技術を用いた「微細 3 次元印刷技術」を開発するためにマイクロデバイスのボディ及び貫通電極のスルーホールを微細高精度 3 次元金型によるマイクロ成形によって形成する技術の開発を行う。

また、ボディ上にインライン化されたオフセット印刷機によって、配線部、貫通電極部、対向電極部、取り出し電極及び絶縁部を 3 次元微細配線技術を用いてマイクロデバイスの製造・実装技術を開発する。

1-1-3 研究開発の目標（高度化目標、技術的目標）

本研究開発では、自動車、家電産業界におけるセンサの小型、高機能化、コスト低減の要求が有る開発目標を静電容量式マイクロ傾斜角センサにとり、マイクロ金型によるマイクロ樹脂成形技術と印刷技術を併用した環境調和性の良い傾斜角センサの製造プロセス・実装技術（半導体製造設備投資額約 1/7、製造コスト 1/10、製造工程上の水、薬品使用量 90%削減、使用電力量 80%削減）を研究開発する。

① 研究開発項目

研究開発項目
【1】高精度化印刷機械開発
【2】微細 3 次元配線印刷技術開発
【3】樹脂成形品への積層及び配線印刷技術開発
【4】マイクロデバイス設計、プロセス開発
【5】微細 3 次元形状マイクロ構造体の成形品開発
【6】微細 3 次元オフセット印刷機用金型開発
【7】マイクロデバイス試作品の評価

② 高度化目標

(1) 情報家電に関する事項

- ア. 複数 LSI チップのワンパッケージ化に伴う半導体パッケージ基板の高機能化
(3次元実装技術、エンベディド実装技術(部品内蔵基板技術)の開発)
- イ. 材料からシステムまでの統合設計、信頼性向上のためのシミュレーション技術の開発

センサと制御回路を統合する SiP の実現のために、スループットに優れたオフセットなどの印刷手法を用いて、【2】20 μm 以下(最少 10 μm)幅配線の多層配線技術を3次元で実現する。また、センサ製造において、【1】【3】多層配線技術を微細構造体作成技術として利用する3次元実装技術を開発する。配線材料は、銀および銅のナノ粒子を使用する。本技術開発は、印刷技術によるコスト競争力と同時に廃棄物の少ない生産を可能にする環境調和性の高度化を目指す。

(2) 自動車に関する事項

- ア. 耐振動性に優れた能動素子・受動素子部品の内蔵化
- オ. 放熱・冷却構造、低抵抗配線化、高電圧化対応技術の実現
- カ. リペア実装技術、材料リサイクル、鉛フリー実装等の環境負荷物質低減化技術の開発

本研究開発では、【4】超小型・高機能・低コストの傾斜角センサを提案し、この3次元構造のセンサ及び制御回路からなるパッケージ技術に対して、一貫製造プロセスの構築を行う。この一貫製造プロセスにおいて、印刷・転写技術による微細3次元実装、貫通電極形成、マイクロ構造形成技術を開発する。また、環境対応の鉛フリー化のために、接続にも低温接続を可能にするための銀ナノ粒子低温印刷技術を開発する。

(3) ロボットに関する事項

- ア. SoC (System on Chip : システムオンチップ) 技術、CoC (Chip on Chip : チップオンチップ) 実装技術の確立、MID (Molded Interconnect Device : 樹脂成形品、3次元的な形状、3次元的な回路・パターンから成るもの) 技術、3次元実装・フレキシブル実装技術の開発
- イ. 大量センシングデバイスの多用化、MEMS (Micro Electro Mechanical System) デバイスのハンドリング技術、MEMS 機構を阻害しないワイヤボンディング・フリップチップ接続技術の開発

本研究開発では、ロボットの姿勢制御などに使用できる新規な超小型・高機能の傾斜角センサをモデルに、【6】半導体技術を利用した微細3次元金型を用いた、【5】3次元的な形状の樹脂成形品を作製し、【1】樹脂成形品上に3次元的な電極及び3次元配線、絶縁層の形成を印刷法により形成するMID技術を確立する。この一貫製造プロセスにおいて、印刷・転写技術による微細3次元実装、貫通電極形成、マイクロ構造形成技術を開発する。

③ 技術的目標

研究開発項目	技術的目標値
【1】高精度化印刷機械開発	積層印刷位置決め精度 10 μ m 以下の印刷機の開発
【2】微細3次元配線印刷技術開発	20 μ m 幅以下の(最小 10 μ m)アスペクト比 1 の銀ナノ粒子低温配線印刷技術開発
【3】樹脂成形品への積層及び配線印刷技術開発	樹脂成形品への接着強度、物理的、電気的特性、などを考慮した印刷技術開発
【4】マイクロデバイス設計、プロセス開発	サイズ：8mm \times 8mm \times 5mm ダイナミックレンジ： \pm 45 $^{\circ}$ 分解能：1 $^{\circ}$ 使用温度：-10 $^{\circ}$ ~+60 $^{\circ}$ 傾斜角センサ実装までの低コスト・環境調和型製造プロセス開発
【5】微細3次元形状マイクロ構造体の成形品開発	射出成形機による微細部まで樹脂充填ができる成形品製造技術開発
【6】微細3次元オフセット印刷機用金型開発	オフセット印刷機用インク材料の離型性を持たせた 20 μ m 幅以下・アスペクト比 1 の微細3次元金型の開発
【7】マイクロデバイス試作品の評価	量産化に向けた信頼性評価

1) センサと制御回路を統合する SiP の実現

スルーボットに優れたオフセットなどの印刷手法を用いて、 $20\mu\text{m}$ 以下（最少 $10\mu\text{m}$ ）幅配線の多層配線技術を 3 次元で実現する。また、センサ製造において、多層配線技術を微細構造体作成技術として利用する 3 次元実装技術を銀および銅のナノ粒子を使用して開発する。

2) マイクロデバイスを印刷技術で作製する高精度化印刷機械の開発

印刷技術を駆使したプリンタブルエレクトロニクスの課題の一つは、印刷位置精度が $\pm 40\mu\text{m}$ 程度であり、積層印刷時の位置ずれである。しかしながら、本研究で開発するマイクロデバイスを印刷技術で作製するには、積層印刷位置精度 $\pm 10\mu\text{m}$ を達成する必要がある。

上記目標精度達成の方法として、機械または光等の手段を用いて被印刷物の位置を正確に検出し、位置修正した後、印刷を実施するなどの手段が必要である。その為、高精度位置検出手段、高精度位置修正手段をセンサ及び制御回路などを含めて、本研究開発で作製する「高精度化印刷機械」に組み込み、樹脂製品またはそれに類するものに印刷を実施し、印刷位置精度を確認しながら、それぞれの最適化を行い、目的を達成する。

3) 樹脂成形品への積層印刷および銀ナノ粒子低温印刷技術の開発

プリンタブルエレクトロニクスにおいて、樹脂成形品との接着強度や印刷で形成した構造物の物理的、機械的特性などが、マイクロデバイスの機能特性に合致する印刷技術の開発は不可欠である。また、インク材は本研究開発で作製する「高精度化印刷機械」で樹脂成形品への積層印刷において、所定の特性発揮する必要がある。

超小型・高機能・低コストの傾斜角センサを提案し、この 3 次元構造のセンサ及び制御回路からなるパッケージ技術に対して、一貫製造プロセスの構築を行う。この一貫製造プロセスにおいて、印刷・転写技術による微細 3 次元実装、貫通電極形成、マイクロ構造形成技術を開発する。また、環境対応の鉛フリー化のために、接続にも低温接続を可能にするための銀ナノ粒子低温印刷技術を開発する。

4) 樹脂成形品用抜きテーパ角を持たせた微細 3 次元金型の開発

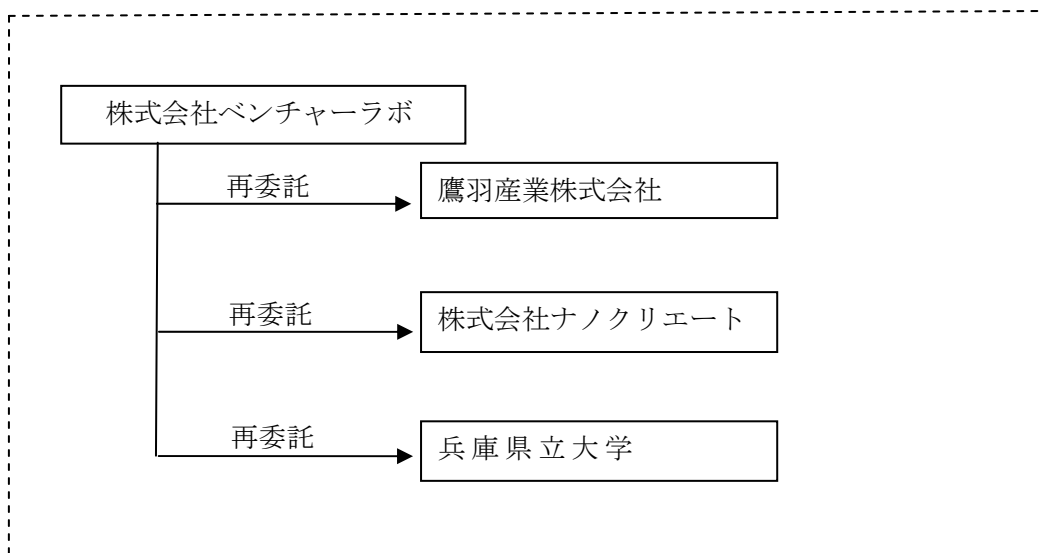
マイクロ構造体の成形品は、マイクロデバイスのマイクロ構造体を射出成形で作成するため、抜きテーパ形状、成形時の樹脂流れ、離型性などの射出成形時に金型に要求される諸条件を考慮した 3 次元形状マイクロ金型の設計を行い、フォトリソ技術及び電鋳技術を用いて、マイクロ構造体成形金型を開発した後、射出成形機により成形を行う。

特に、微細 3 次元形状の射出成形は、成形した樹脂製品を金型から正常に離型するために、正常な離型を阻害する数々の要因を排除する必要がある。抜きテーパの最適な角度で成形した樹脂製品を金型から突き出す突き出しピンの位置、本数、金型表面の粗度等で、成形品の品質が大きく左右される。また、射出成形機の成形条件として、金型温度、樹脂温度、射出圧力、保持圧力、保持時間などを最適化し、微細部まで樹脂が充填でき、ひけ、そりのない成形品製造技術を開発する。

オフセット印刷は、オフセット印刷機の金型の凹み部に溜まったインクを印刷用ブラケットに転写し、印刷物にインクを乗せることで印刷を行うが、インク材の粘性など諸特性により、金型からのインク離型特性が異なり、印刷用ブラケットに正確に転写できなくなり、印刷品質が劣化する。金型からのインク離型特性は、金型の表面粗さ、金型凹み部の形状、スリット幅とアスペクト比に対する最適なテーパ角度等により決定されるので、転写インクに最も適応した金型の開発が必須となり、提案者が既に開発した金型表面粗さ 10nm 以下、任意のテーパ角が形成できる金型製造プロセスによる印刷機用微細 3 次元金型開発が必須となる。試作したマイクロデバイスが、目標設定した機能を実現するかどうかの評価を行う。評価内容として、形状評価と性能評価があり、形状評価は電子顕微鏡その他で行い、性能評価は電気特性で行う。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名）

① 研究組織

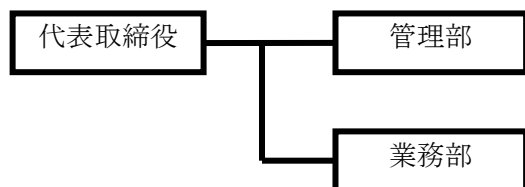


総括研究代表者（PL）
所属：鷹羽産業株式会社
役職：代表取締役
氏名：阪本 行

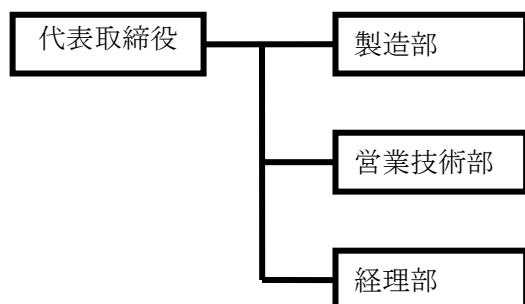
副総括研究代表者（SL）
所属：株式会社ナノクリエート
役職：取締役
氏名：服部 正

② 管理体制

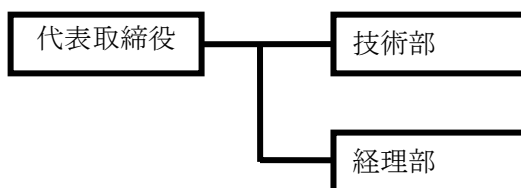
(1) 事業管理者：株式会社ベンチャーラボ



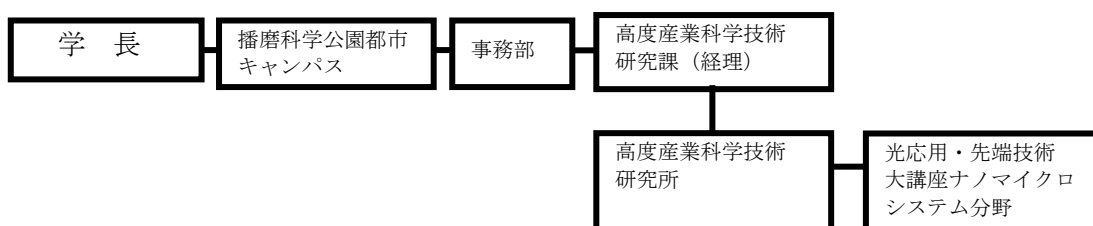
(2) 再委託先：鷹羽産業株式会社



(3) 再委託先：株式会社ナノクリエート



(4) 再委託先：兵庫県立大学



③ 研究者氏名

(1) 鷹羽産業株式会社

氏名	所属・役職
阪本 行	代表取締役
阪本 順	製造部
河井 幸一	営業技術部
林田 喜文	製造部
大石橋 栄治	営業技術部
亀田 徹也	製造部
西田 秀明	製造部

(2) 株式会社ナノクリエート

氏名	所属・役職
服部 正	取締役
山下 健治	技術部
南山 康人	技術部
香取 めぐみ	技術部
西田 諭史	技術部

(3) 兵庫県立大学

氏名	所属・役職
野田 大二	高度産業科学技術研究所・助教

1-3 成果概要

① 高精度化印刷機械の開発

目 標	実施機関	達成度
<p>現状の印刷技術では、印刷位置精度が$\pm 40\mu\text{m}$程度であり、積層印刷時の位置ずれが生じるが、<u>積層印刷位置精度$\pm 10\mu\text{m}$</u>を達成するため、高精度化印刷機械の設計・試作を行っており、平成 22 年 1 月末までに試作完了。その後、位置精度の性能確認を実施する予定。目標値に対しては予備実験の結果から達成する。</p>	<p>(鷹羽産業株式会社)</p> <ul style="list-style-type: none"> 高精度化印刷機械の設計・試作機製作 	100%
	<p>(兵庫県立大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> 高精度化印刷試作機の位置精度測定 	100%

② 微細 3 次元配線印刷技術の開発

目 標	実施機関	達成度
<p><u>10μm幅以下</u>でアスペクト比 1 の微細 3 次元配線印刷技術開発を実現するために、使用する銀ナノ粒子に適応する<u>ブランケットの開発</u>を行っており、現在 10 数種類のブランケットを作製。①項目で開発した印刷機械に組み込み、評価を行い、銀ナノ粒子に合致したブランケットを選定する。</p>	<p>(鷹羽産業株式会社)</p> <ul style="list-style-type: none"> 使用する銀ナノ粒子に適応するブランケットの開発 印刷結果の適正評価（銀ナノインクのブランケット上への転移性性能可否の確認） 	80%
	<p>(兵庫県立大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> 印刷結果の測定評価（表面写真・断面写真・寸法測定） 	100%

③ 樹脂成形品への積層印刷技術の開発

目 標	実施機関	達成度
<p>静電容量式傾斜角センサ構成材である樹脂成形品に使用する樹脂特性に適応する<u>ブランケットは②項目で作製したブランケットから、銀ナノ粒子と同様に樹脂成形に適したブランケットを選定する。</u></p>	<p>(鷹羽産業株式会社)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する樹脂特性に適応するブランケットの開発 ・印刷結果の適正評価（使用する樹脂のブランケット上への転移性性能合否の確認） 	100%
	<p>(兵庫県立大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・印刷結果の測定評価（表面写真・断面写真・寸法測定） 	100%

④ マイクロデバイスの設計およびプロセスの開発

目 標	実施機関	達成度
<p>自動車用途を想定した静電容量方式の<u>静電容量式傾斜角センサデバイスの試作設計を完了。</u>静電容量式傾斜角センサの目標仕様は、サイズ：8mm×8mm×5mm、ダイナミックレンジ：±45°、分解能：1°、使用温度：-10～+60°とする。</p>	<p>(株式会社ナノクリエート)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静電容量式傾斜角センサの目標仕様にあった詳細設計（樹脂成形用およびオフセット印刷用金型マスタの設計） 	100%

⑤ 微細 3 次元形状マイクロ構造体の成形品開発

目 標	実施機関	達成度
樹脂成形品用 <u>抜きテーパ</u> 角を持たせた微細 3 次元金型マスタの設計製作をし、マスタを基に樹脂成形品用微細 3 次元金型の製作を完了。	(株式会社ナノクリエート) ・樹脂成形品用微細 3 次元金型の製作 ・樹脂成形条件の検討と樹脂成形品の試作	100%
	(兵庫県立大学) ・樹脂成形品用微細 3 次元金型マスタの製作 ・樹脂成形品の評価 (表面写真・断面写真・寸法測定)	100%

⑥ 微細 3 次元オフセット印刷機用金型の開発

目 標	実施機関	達成度
10 μ m 幅以下でアスペクト比 1 のオフセット印刷機用抜きテーパ角を持たせた微細金型マスタの設計製作をし、マスタを基にオフセット印刷機用微細金型の製作を行った。新たに金型の表面硬度が低く耐久性に課題があることが判明した。現在、表面硬度を高めるために表面に Ni 合金層を積層し表面硬度 Hv720 の Ni 合金電鍍金型を作製した。来年度から本格的な開発を行っていくと共に耐磨耗性の検証を行う。	(兵庫県立大学) ・オフセット印刷機用試作微細金型マスタの製作	100%
	(株式会社ナノクリエート) ・オフセット印刷機用試作微細金型の製作	100%
	(鷹羽産業株式会社) ・オフセット印刷機用試作微細金型の評価	100%

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

会社名：株式会社ベンチャーラボ 関西支社

(最寄り駅：大阪市営地下鉄堺筋線堺筋本町駅)

所在地：〒541-0053 大阪府大阪市中央区本町1丁目6番16号

野村不動産堺筋本町ビル8階

管理員：小川幸雄（ビジネスマッチング事業部長、名古屋支社長・関西支社長代理）

杉浩行（業務課長）

吉原法子（経営企画室）

第2章 本論

2-1 高精度印刷装置開発

現状のオフセット印刷における印刷位置精度は $\pm 40\mu\text{m}$ 程度であり、微細パターンの印刷と多重に重ねて印刷するには印刷位置精度の向上が望まれる。

そのため高精度印刷の検証用開発装置を製作した。

各部ユニットは大きく分けて架台部、ヘッド部、スライドコンベアー部、リフト部及びメイン駆動部（駆動伝達部）より構成されている。



印刷機械全体写真

2-1-1 架台部

メインベース、駆動伝達部、ヘッドスライドコラムにて構成。メインベース架台上面へ駆動伝達部架台を乗せ、駆動伝達部架台上面へベースプレートを取り付けそのプレート上へスライドコラムを取り付ける。この接合面は後にリフト、スライドコンベアー、ヘッドが組み込まれる土台になるので平面度及び平行度の精度が重要になるため研磨加工を施した。駆動伝達部架台内には個別で組み立てを実施したメイン駆動モーター、ヘッドリフト部が組み込まれている。

2-1-2 ヘッドリフト部

ベースプレート上へメイン駆動モーターと並列状に組み込み作業を行い、駆動伝達部架台内へ取り付けを実施した。まずメイン駆動モーターはプーリーにてヘッド部背面の動力伝達部へ連結される。モーターベースプレートは固定用とスライド用の2枚重ねにしている。ヘッドリフト部は重量のあるヘッド部を手動にて上下スライドさせるためウォームギアとボールねじの組み合わせにより構成する方式を採用した。

金型からブランケットへの転移後、基材への転写を行う際、本上下動のスライド精度が重要になるため数値を把握する必要がある。よってスケールセンサーを設置し、現ポイントから0.1mm単位にてデジタル表示を行える計測を行い微調整を可能とした。

2-1-3 スライドコンベアー部

本機能は基材（被印刷物）をエントリーし、ロッドレスシリンダーにて定位置までスライドさせ、基材を定位置に固定させるストッパーとクラッチにより前進し印刷位置に停止する機能である。

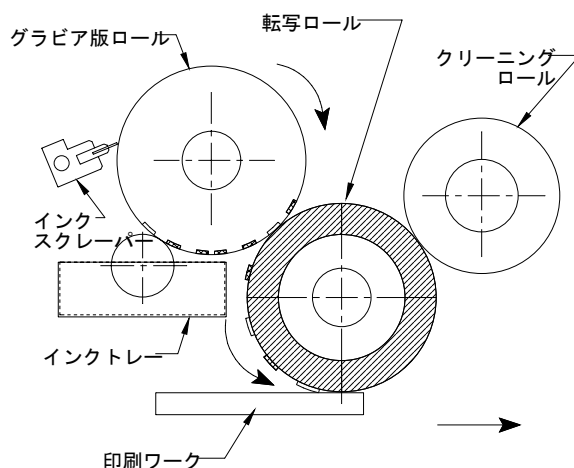
印刷位置精度（特に積層印刷）に関して、重要な部分になるためコンベアーベースはスライドテーブル取り付け面及び、架台への取り付け面共に研磨加工を施している。

定位置からのスライド動作中はラックギアー上を精密ギアーが走る機構になっているためコンベアーベース側面へ組み込み作業を実施しベース上面へリニアウエイ（LMガイド）の機構を採用した。

スライド精度は完成当初、数カ所のみで測定したが印刷による位置精度検証段階にて公差割れが見られたため測定箇所を更に細分化し目標の位置精度を達成した。

2-1-4 ヘッド部

印刷ヘッドに関しては版（金型）ロール、ブランケットロール以外に下記機能を設けている。



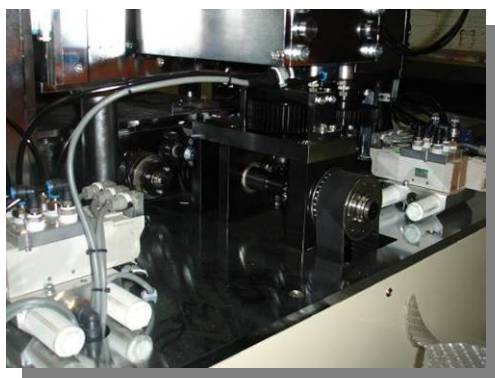
インクスクレーパー部	版ロール表面のインキをスクレープする機構でスクレーパーユニット、サイドスクレーパードクターブレード刃、押し圧調整ピンで構成される。
インクスクレープ	インクスクレープのドクターが前後に揺動する機構。
オシレート機構	この機構により、ドクター刃の寿命を延ばすとともに印刷適正を高め、ドクター部に異物の混入によるインクスクレープ時の縦方向のインク曇りなどを短時間で解消することが可能に

	なる。
ブランケットロール切り離し機構	ブランケットロールが版ロールに対して接触、切り離しを行う機構。印刷基材が未供給の時に、ロールが切り離されブランケットロール上にインキを転移させない状態で各印刷ロールが回転して、版ロールを表面を常時ウエットな状態にして、アイドリング状態で待機する機構。ロール切り離し用エアースリンダー等で構成されている。

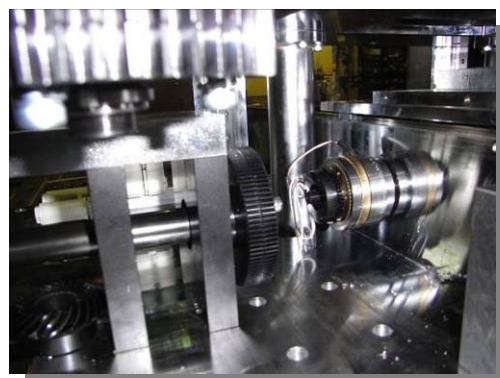
印刷ヘッド部を可動させる、各単体のギア精度が良好でもこの噛み合いにより精度数値は累積するため各伝達が均等に行われるよう調整している。

合わせてインク周辺部（印刷を行うのに必要な箇所及び機構部の呼称でこの章の始めに記載したインクスクレープ部やスクレープオシレート部などの機構及びインクトレーなどを含む）の取り付け作業を実施した。スクレーパーホルダーやブレードホルダー（版ロール表面へインキを供給しブレードにてスクレープ（スキージともいう掻き取り動作のこと）を行い版の凹部内容のみをブランケットロールへ転移させるがロール巾に対して均一なスクレープを要するためブレードをはめ込む部品（ブレードホルダー）などは研磨加工を行い水平度の精度を上げている。

2-1-5 動力伝達部



ベルト駆動部



ギア駆動部

各個別ユニットの架台への組み込み、芯出し作業完了後、メイン駆動モーターより各ユニットへ動力伝達を分岐させるユニット部の組み立て、連結作業を実施した。

各駆動伝達部（スライドコンベアー、ヘッド部）にてギアの噛み合い部をセンサにて測定し噛み合い時に振れの最も良好な（数値が低い）周期、箇所を波長データにて選出し波長が各々±0.02 以内のポジションにて印刷精度確認を行い、達成目標以上の精度（10μm

幅以下の積層印刷) が可能となった

各ギヤの振れに対してマーキングを行い噛み合わせ部分の波長をセンサにて測定し精度の高い周期を検証した。

2-1-6 印刷装置の動作概略

①スライドコンベアー部

基材（被印刷物）は装置正面から見て、左から右へ移動するスライドテーブルの専用の受け治具ユニットにセットされ搬送される。スライドテーブルは、版ロールへメイン駆動モーターより回転駆動が伝達される。スライドコンベアー下部にワンポジションツースクラッチが設けられクラッチ ON でラックアンドピニオン機構にてスライドテーブルが版ロールと同期、スライドを開始。版ロール回転位置とスライドテーブルの作動開始位置が常時同じになる機構。

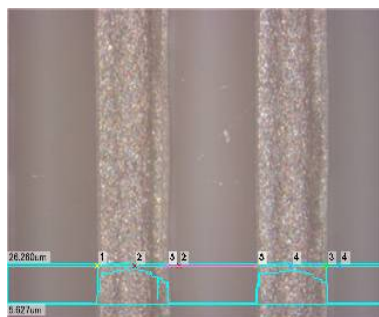
②印刷ヘッド部

ブランケットロールは装置正面から見て、反時計回転して基材との接触時に印刷を実施。ブランケットロールには転写ブランケットが成形されていてロール外径は、版ロールに対して1:1の比率になっており、ブランケットロール1回転で版ロールも1回転する。このブランケットロールに版ロールのインキ、導電性ペーストなどを転移させ基材へと転写を行う。印刷された基材は、スライドテーブルにて排出部へ移動。スライドテーブルが排出ポジションに到達した時点で伝達クラッチが切離なれ、その場で停止する。印刷完了した基材をスライドテーブルから取り除き、手動にて再度投入ポジションへ移動する。

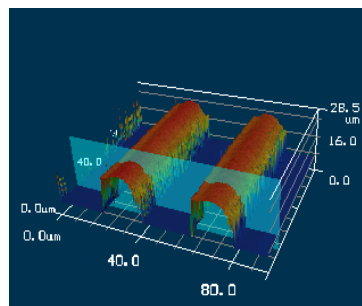
2-1-7 印刷位置精度の確認

上記高精度化印刷機械を使用し、印刷位置精度の改善対策を実施してきた成果として導電性インキによる印刷結果を評価した。

図左は8回重ね印刷を実施した印刷結果であり図右は、レーザー測定機の3次元測定図である。目標値 $\pm 10\mu\text{m}$ に対してずれ約 $\pm 2\mu\text{m}$ 以下となっており、目標値を達成できた。



層重ね塗り印刷結果



レーザー測定

使用金型線幅及び深さ寸法

上辺(μm)	下辺(μm)	高さ(μm)
17.7	14.5	20.0

レーザー顕微鏡測定結果寸法

ポイント	幅(μm)		高さ(μm)	
	1	2	1	2
①	17.7	17.5	17.2	16.4
②	18.4	18.4	16.6	17.3
③	17.9	18.9	18.0	17.7
④	16.9	17.9	16.9	17.7
⑤	18.8	18.9	16.4	16.8
Ave	17.9	18.3	17.0	17.2

2-2 微細3次元配線印刷技術の開発

2-2-1 ブランケットロール開発（微細3次元印刷）

印刷及び高精度印刷装置の修正と同様に印刷装置にて導電性ペースト（銀ナノ、銀粒子）での微細線印刷及び樹脂膜形成に適応するブランケット材の検証を実施した。

導電性ペーストでの微細線印刷に関しては過去に実績があるため適性ブランケットの候補は検証を実施し絞り込んだ状態（5～6種類）にて検証を実施し、使用する金型は本件で開発、作製されたものをドラムロールへ装着し実施した。

2-2-2 ブランケットロール成形

開発装置にて使用するブランケットロールはφ200mmタイプとなる。

検証用のブランケットロールは随時、作成を繰り返して実施し最終的に適性を絞り込んだ。



検証用ブランケットロール

微細線印刷については前述の通り過去に自社内にて検証を実施した経緯があり、適性良好

なブランケット材料の候補は把握しているが使用する導電性ペーストの（金、銀、銅、カーボン等の導電性物質をビヒクルに分散したもの。絶縁物基材へ印刷することにより導電性回路や電極を形成できる。今回の検証ではビヒクルに銀粒子を混和した銀ペーストでの印刷を実施している）特性により印刷の仕上がりに違いが発生するため検証候補以外のブランケット材料の検証も平行して実施した。

銀ペーストのバインダーにも樹脂が使用されている（アクリル、ウレタン、フェノールなど）チクソ性の違いが種類によって大きくばらつきがあるためペーストも他品種にて検証を実施した。ペーストの特性などは後述するが基本的な検証方法としてブランケットロールセッティング後金型からブランケット表面への転移を行い再現性の確認をし、この段階にて転移が適性に行われていない場合、ロール接触圧の調整、溶剤希釈でのペースト調整などを数段階にて実施（調整後も向上が見られない場合はペーストの種類を変更しての同調整を行う）。転移確認後は基材への転写を実施した。調整方法として転移時と同様の他に印刷速度、印刷圧力にて実施し、ブランケット表面の残存を確認する。

基材表面での印刷状態を簡易計測しピンホールやムラ、線の曲がり、太り、途切れなどを検証しブランケット最終候補より除外対象の選定を行い良好なものは更に詳細測定を依頼した。

導電性ペーストは溶剤を希釈しての乾燥速度や粘度調整のコントロール範囲がインクなどに比べ狭くなる（バインダー樹脂の混合率の違いなどによる）。そのため適性と思われるポイントを確認し、慎重に検証を実施（ペーストが安定していないとブランケットの状態を判定できない為）。

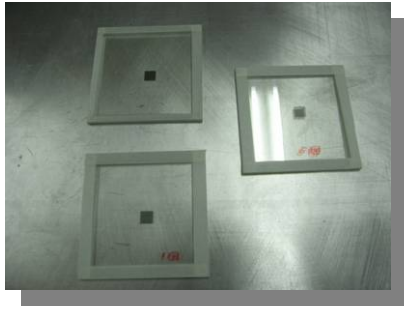
*使用溶剤はインクなどにも使用するビニール、スチロール系もあるがイソホロンやアセテートなどのエステル、ケトン類が適していると思われる（新たにテレピネオールなどのアルコール系の溶剤も追加し検証を実施した）。

開発装置での微細線印刷の傾向として金型の線巾に対してほぼ忠実に再現されているが使用する導電性ペーストの種類にて結果は異なるため比較測定のため数種類の導電性ペーストでの印刷判定も合わせて検証してきた（銀ナノペーストも含む）。

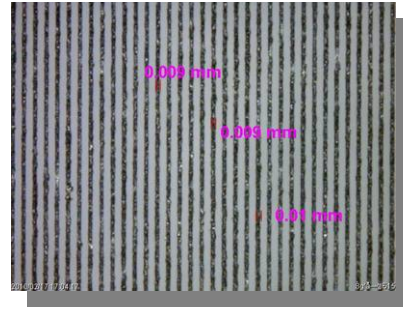
皮膜厚は金型の深度により変動するが目標数値であった 30, 20, 10 μ m にてそれぞれアスペクト比 1 : 1 達成には数回の積層印刷が必要になる。

2 回目以降の積層印刷を行う前に乾燥が始まり完全転写ができないペーストも多く存在するが 10 μ m 以下での積層印刷は達成した。

*ペーストの改良、調整により更に再現性の高い微細線印刷の積層は可能と思われ今後も継続して検証を実施していく。容確認及び対策の検討を行っている。



印刷サンプル



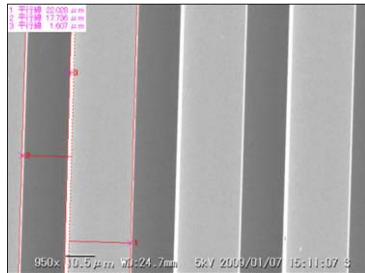
積層印刷

2-2-3 検証用ブランケットロールの選定

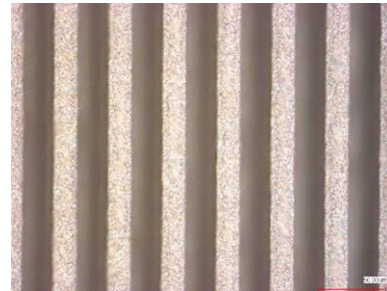
微細線印刷の検証を実施していく過程でブランケットロールの硬度、材料の厚み（肉厚）の相違によって転移、転写性、印刷の仕上がりなどにも違いが見られた（使用するインク、導電性ペースト、溶剤などの違いも影響すると思われる）。在庫のブランケットロールでの検証段階にて同種のブランケット材料を使用しても硬度や材料厚の違いで印刷結果が変わるため同種のブランケット材料でも硬度、材料厚を数水準に振り分けた内容にて成形の実施を行ってきた。

2-2-4 オフセット印刷機による印刷結果の評価

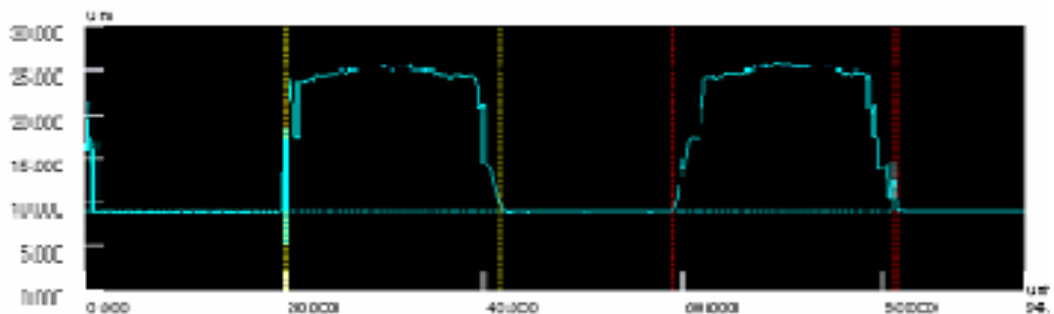
オフセット印刷機で印刷した結果を下記示す。印刷に用いた金型は、ライン幅 20 μ m のライン&スペースパターンである。金型写真を下記に記載する。



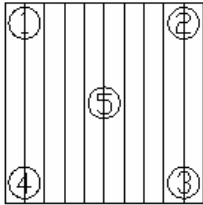
金型パターン部写真



印刷パターン部写真



測定ポイント



ポイント	幅(μm)		高さ(μm)	断面積 (μm ²)	
	1	2		1	2
①	23.6	22.9	21.9	430.6	431.1
②	23.3	22.6	21.6	421.5	423.6
③	22.5	22.5	21.0	386.8	403.3
④	22.5	22.9	21.3	396.5	430.2
⑤	23.2	22.9	21.3	402.5	402.0
ave	23.0	22.8	21.4	407.6	418.0

線幅約 20μm 高さ約 21μm 程の転写印刷結果を得ることができた。

2-3 樹脂成形品への積層及び配線印刷技術開発

2-3-1 ブランケットロールの開発（樹脂膜形成）

樹脂膜形成に関しては最終目標数値が厚さ 40μm の積層印刷になるため初期より検証を繰り返し実施してきたブランケットロールより印刷安定性や経時変化が少なく耐摩耗、寿命が長いタイプより絞り込んだ候補分及び新材料での検証も平行して行い開発装置へ移行し検証を実施した。さらに初期よりの絞り込みで最終候補とした材料にて厚み、硬度などを微細線印刷検証と同様に数水準に振り分け適性基準として開発を行った。



材料厚細分化ブランケットロール

検証方法は微細 3 次元印刷時同様に金型よりブランケットへの転移、ブランケットより基材への転写を確認し、版面へインク供給を行いスクレープ（スキージーともいうブレー

ドでの掻き取り動作) を行いブランケットロール表面への転移性及び基材への転写性の確認を繰り返し実施。基材(被印刷物)は樹脂製薄板(ABS, アクリルなど)及びガラス、セラミック板を使用しインク及び液状樹脂を使用した。また金型はメッシュ版でのベタ印刷の積層以外に本件で作製された金型によるパターン印刷も併せて検証を行った。

最終目標値である40 μm の積層印刷に関しては使用する液状樹脂の持つ特性(レベリング性など)が印刷皮膜表面の面粗度(平滑性が高く凹凸が無い状態)に対して重要になるため他品種の液状樹脂(UVなども含む絶縁性の高いタイプ)にて検証を実施。

溶剤は基本的に有機溶剤を使用している。

*通常使用するのはインクにも混入されているトルエン、キシレンなどの芳香族炭化水素だが乾燥速度を上げる場合はアセトン、メチルエチルケトンなどの揮発性の高いケトン類も使用する。

また転移時の版面とブランケット表面の接触圧や転写時の印刷圧力及びロール回転速度などインクの調整以外にも印刷不良の原因になるため合わせて検証を実施した(1種類のブランケットロールに対してインク調整、各圧力、速度を順次確認)。

材料厚、硬度が最初の時点にて転移性(ブランケット表面での再現性)、転写性(基材への印刷後の再現性)がインクなどを何度調整しても向上しないと判断した材料に関してはその時点でNGとしそれ以外の材料厚、硬度違いのブランケットロール作成は停止した。開発装置にて印刷が良好と判定した材料に関しては最終的に数種類となったがその後も改良を施したり新材料なども開発しているため随時検証は継続し適性候補を増やし提供価格面を含め幅広い対応を可能にしていく。

以上の絞り込んだ条件にて提供された絶縁層パターン金型の積層印刷の検証を実施した。液状樹脂についてはこれまでの検証にて有効と判断しバインダー成分などが多少異なる数種類を使用しブランケットロールは適性候補と判断したタイプにて順次転移、転写確認を行った。1回目の印刷確認にて平滑性、エッジの切れ(シャープさ)も問題無いと判断した場合のみ積層印刷を実施し印刷後簡易測定を行ったところ40 μm 以上の積層が確認できた。

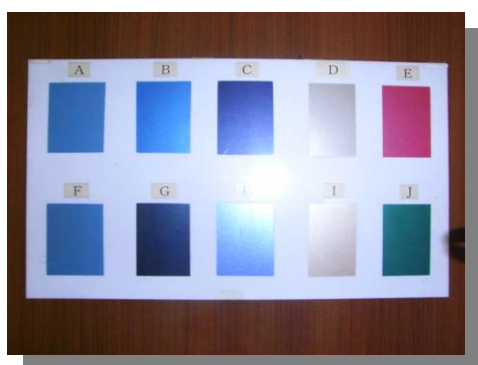
積層印刷にて高膜厚を得るにはインク、液状樹脂の種類、ブランケットロール以外に金型の仕上がり精度、ドラムロールへの金型の装着状態、スクレープ材の差異、スクレープ時の圧力などが起因すると思われるが40 μm 以上の樹脂膜の積層は達成したと判断できる。今後もブランケットロール、液状樹脂類の選定などと継続して検証を実施していく。

2-3-2 検証用ブランケットロールの選定

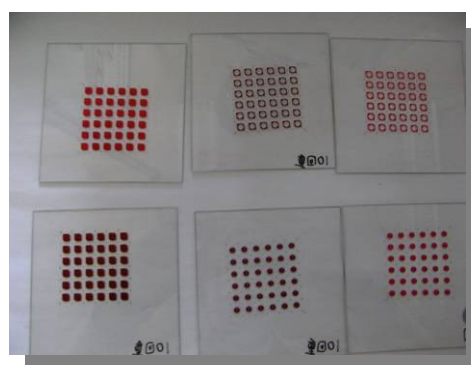
樹脂膜形成の検証を実施していく過程でブランケットロールの硬度、材料の厚み(肉厚)の相違によって転移、転写性、印刷の仕上がりなどにも違いが見られた(使用するインク、

液状樹脂、溶剤などの違いも影響すると思われる)。在庫のブランケットロールでの検証段階にて同種のブランケット材料を使用しても硬度や材料厚の違いで印刷結果が変わるため同種のブランケット材料でも硬度、材料厚を数水準に振り分けた内容にて成形を実施し

各積層印刷テスト結果と照らし合わせながら、選定を実施した。

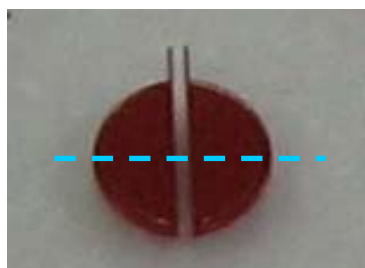


ベタ塗り積層印刷



傾斜角センサパターン積層印刷

2-3-3 オフセット印刷機による印刷結果の評価



樹脂系インクの10層塗り印刷結果

膜厚の測定部位

※青いラインの部分を実測

No.	高さ(μm)		
	高い所	低い所	膜厚高低差
①	51.0	34.0	17.0
②	52.5	32.0	20.5
③	54.0	30.0	23.0
④	52.0	31.0	21.0
Ave.	52.4	31.8	20.6

デジマチックインジケータ寸法測

No.	全体		細部	
	半径 (μm)	スペース (μm)	ヨコ (μm)	タテ (μm)
1	1835.8	301.5	92.3	800.1
2	1840.8	293.3	94.2	802.0
3	1840.1	267.9	96.2	801.9
4	1833.6	280.7	94.2	794.3
Ave.	1837.6	285.9	94.2	799.6
設計値	1950.0	250.0	100.0	863.0

レーザー顕微鏡寸法測定及び設計値

測定結果より、約 30μm~約 50μm までの膜厚をもった積層印刷の結果を得た。

また、均一な膜厚データを得るためインク材の選定を実施する必要がある。

第3章 本論

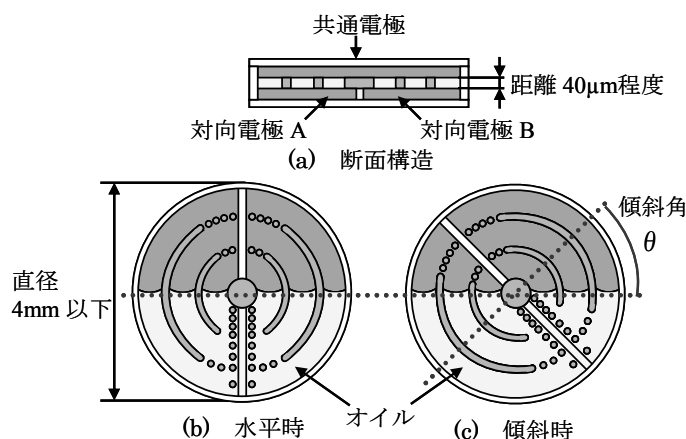
3-1 マクロデバイスの設計およびプロセスの開発

3-1-1 樹脂成形用微細 3 次元金型・静電容量型小型傾斜角センサ構造 の試作設計

センサ構造体の基本的な設計は、昨年度に準じた設計内容で開発を行っているが、今年度は、センサ本体構造体各パーツの設計寸法を 1.4 倍の大きさとし下部電極と上部電極間を $40\mu\text{m}$ から約 $80\mu\text{m}$ と広げ、オイル注入時の未充填に対する対策を施した設計とした。

設計にあたり量産化を目指した微細加工技術として、昨年度同様の LIGA プロセスを採用することにした。このプロセスは、リソグラフィにより作製した金型マスタに Ni 電鍍を行うことで金型を作製し、成形加工により樹脂に転写することで微細構造体を作製する方法であり、微細 3 次元構造体である本傾斜角センサの樹脂成形用金型作製による量産化に適した加工方法といえる。

本傾斜角センサには、小型化に伴うオイルの表面張力の影響を軽減するために、スリットの構造体を設けた。このスリットにより、オイルの表面張力を軽減し、オイル表面が水平に近い状態を維持できるように設計した。これまでの研究により、MEMS 技術を用いたプロトタイプの実製に成功しており、角度による静電容量の変化も確認している。



傾斜角センサの原理

センシング部の大きさが $8\times 8\times 5\text{mm}^3$ と従来のセンサに比べ小型であるため、多くの姿勢制御を必要とする分野への応用が期待できる。

センサの概略仕様を下記に示す。

センサ概要仕様

センシング部の大きさ	$8\text{mm}\times 8\text{mm}\times 5\text{mm}$
分解能	1 deg
検出範囲	$\pm 45\text{deg}$
使用範囲	$-10\sim +60^\circ$

昨年度までの研究で、従来サイズの 5mm×5mm (センシング部直径 4mm) 構造体高さ 40μm で作製したセンサでは、オイルの表面張力の影響が強く、オイルが水平にならない問題やオイル駆動が困難であったため、オイルが駆動しやすい電極面積の検討も行った。その結果、面積をサイズ 7mm×7mm (センシング部直径 5.5mm) と若干拡大して作製することとした。よって、この面積における構造体高さおよび絶縁層の膜厚を最適化した。

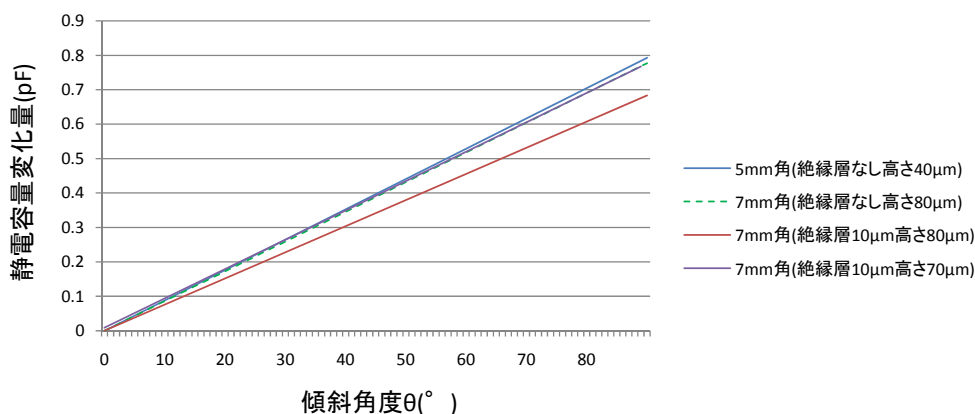
寸法変更箇所および比較する傾斜角センサの寸法を下記に示す。5mm×5mm、構造体高さ 40μm、絶縁層なしの場合を①とし、このときの静電容量変化量を基準とする。静電容量は電極の面積に比例し、電極間距離に反比例する。②において、本研究で使用したサイズは 7mm×7mm であり、電極面積は 2 倍になるので、構造体高さも 2 倍にすると、①と同等の性能となる。②の寸法のまま絶縁層を設けたものが③である。絶縁層を設けた場合、静電容量変化量の計算式は式(2)のように表わされる。

$$\Delta C = \left(\frac{\epsilon_i \cdot \epsilon_a}{(\epsilon_a \cdot d_2 + \epsilon_i \cdot d_1)} - \frac{\epsilon_i \cdot \epsilon_o}{(\epsilon_o \cdot d_2 + \epsilon_i \cdot d_1)} \right) \times \frac{S}{4} \times \frac{\theta}{90} \quad [\text{pF}] \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 ϵ_a は空気の誘電率、 ϵ_o はオイルの誘電率、 ϵ_i は絶縁層の誘電率、 d_1 は電極間距離、 d_2 は絶縁層厚み、 S は共通電極の面積である。上記の式からもわかるように、分母側に絶縁層の変数があるので変化量は落ちる。

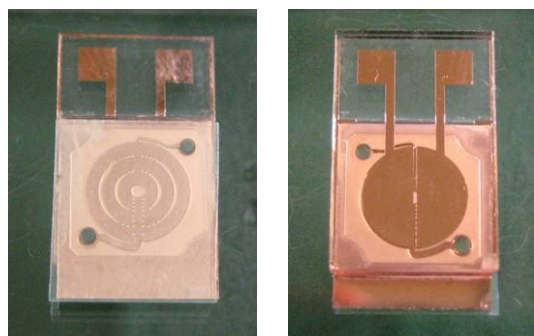
傾斜角センサ寸法仕様

	①	②	③	④
センササイズ(mm ²)	5×5	7×7	7×7	7×7
構造体高さ(μm)	40	80	80	70
絶縁層厚み(μm)	0	0	10	10



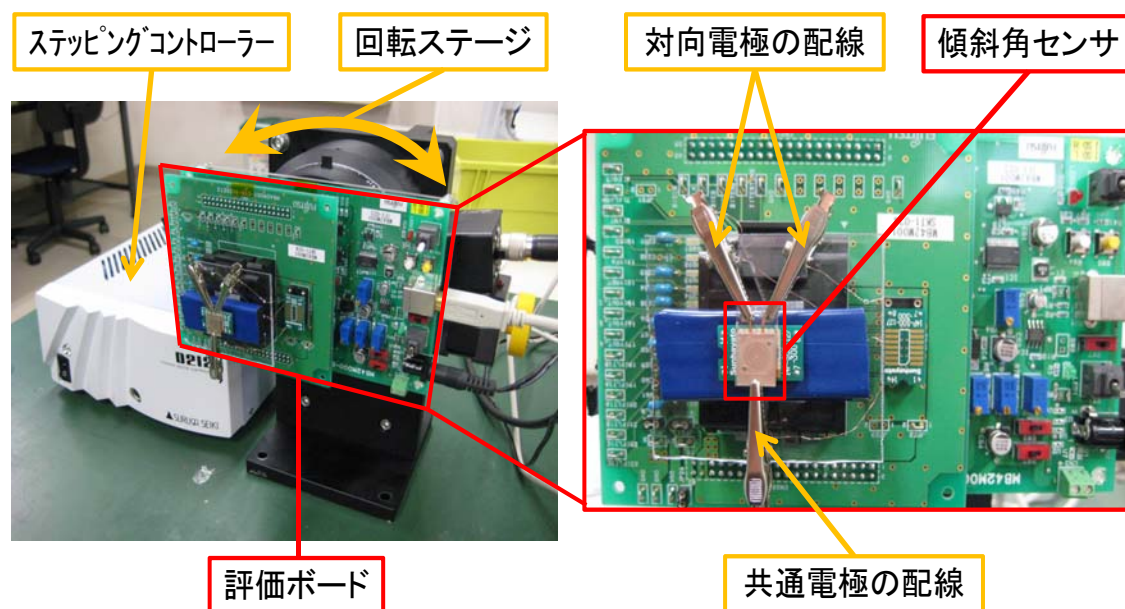
各寸法での傾斜角に対する理論値

上記の設計構想に基づき静電容量式傾斜角センサの試作品を作製した。容量変化を電圧変化として出力する IC (Fujitsu 製 MB42M001 評価ツールセット) を使用し、試作品の静電容量変化の測定から本センサ設計の試作品が設計目標仕様に適用しているか、実証を行った。

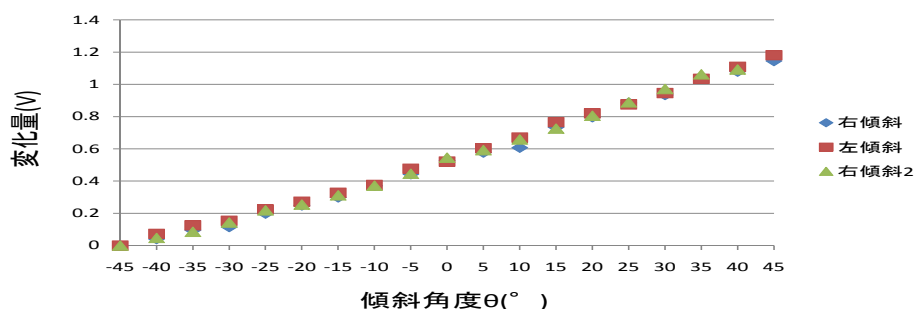


サイズ
 7mm×7mm
 下部成形品高さ：75μm
 絶縁層厚み：10μm
 接合時の絶縁層凹み：1μm
 電極間距離：85μm

傾斜角センサの試作品



Fujitsu製MB42M001評価ツールセット評価実験の様子



傾斜角度と変化量のグラフ

Fujitsu 製 MB42M001 評価ツールセットより静電容量の変化を検出し電圧に変える測定を実施し傾斜角に応じて電圧変化量の検出を確認した。なお、設計仕様に適合しているか評価中である。

3-2 微細 3 次元形状マイクロ構造体の成形品開発

3-2-1 樹脂成形品用抜きテーパ角の作製

成形時の離型性向上の為、抜きテーパ角を金型に持たせる必要がある。

抜きテーパ角を持った樹脂成形用金型の作製は、光の回折現象における回折光の強度分布の変化に着目し、UV 光の回折を用いたリソグラフィにより行なわれる。

リソグラフィにより微細 3 次元形状にテーパ角を実現するには、レジストに対して光の照射量に分布を持たせることが必要である。そこで光の回折現象に注目し、リソグラフィにおいて光の照射量に分布を持たせる方法を検討した。回折光を用いたリソグラフィは、レジストとマスクの間に間隔（以下ギャップ量という）を空けることで起こる回折現象を利用した露光方法である。

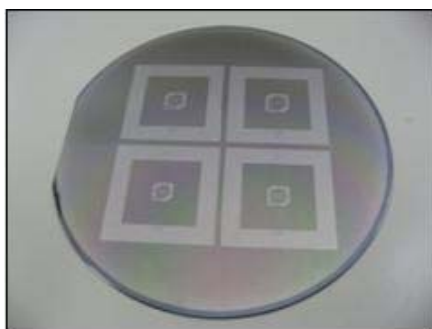
まず、4 インチ Si ウェハ表面に厚膜ポジ型フォトリソレジスト AZ-P4903（AZ エレクトロニックマテリアルズ社製）をスピニングによって膜厚 80 μm に塗布し、次にアライナーのプロキシミティ露光モードを利用して、ガラスマスクとレジストを平行状態で距離を空け、UV を回折させてフォトリソレジストを感光させた。露光後、AZ-400K デベロッパー（AZ エレクトロニックマテリアルズ社製）と純水とを 1 : 4 の比で混合した現像液を用い、スターラー攪拌による現像を行い、純水リンスを行ったのち、窒素ブローで乾燥させた。

評価装置はレーザー顕微鏡（キーエンス社製 VK-9700）及び SEM リアルサーフェスビュー顕微鏡（キーエンス社製 VE-7800）を用いた。

3-2-2 傾斜角センサ用金型マスタの作製

下図に作製した傾斜角センサ金型マスタの外観写真を、拡大写真はパターン SEM 写真を示す。レジスト塗布時の膜厚による影響から構造体高さは約 75 μm となったが目標とする形状を得ることに成功した。

また、キーエンス社 SEM リアルサーフェスビュー顕微鏡による測定を行い、金型マスタのパターン形状は完全な矩形形状ではなく構造体側面に約 5°の成形時の抜きテーパの付いた金型マスタの作製が完成した。



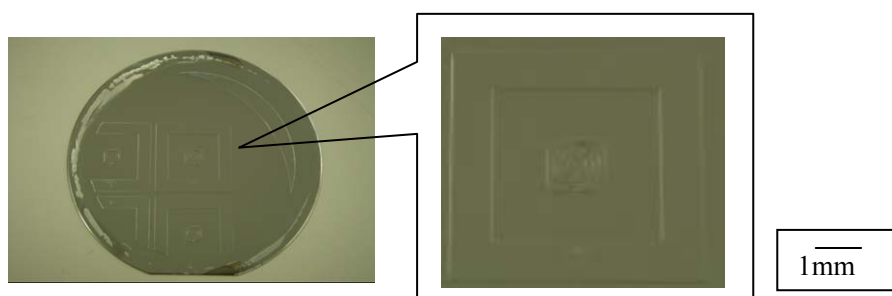
傾斜角センサ マスタ写真

マスク基板の外周部分にコンタクトリングを介して整流器から電流を流すことで電鍍を行うため、作製した金型マスクに電鍍用の導電薄膜（シード層）を設ける。

そこで、電鍍時の電極となるシード層には電着金属である Ni に比較し比抵抗値の低い Cu を使用することとした。

ECR スパッタリング装置（ELIONIX 社製 EIS-230）を使用し、金型マスクの上からシード層として Cu 薄膜を 0.3 μ m 堆積した。

下図にスパッタリング後の金型マスクの外観写真を示す。パターンのアスペクト比が高くないため比較的容易にパターン表面を Cu 薄膜によるシード層で完全に覆うことができた。



Cu スパッタ後の金型マスク写真

3-2-3 Ni 電鍍による微細 3 次元金型の作製

抜きテーパ角を持たせた樹脂整形用微細 3 次元金型は、作製した金型マスクにニッケル（以下 Ni と称す）を鍍金する電鍍工程で作製する。

以下に樹脂成形用微細 3 次元金型の作製工程及び成果について報告する。

Ni 電鍍

電気鍍金は金属イオンを含んだ電解質溶液に電流を通じて目的の金属を被鍍金表面に析出させる方法である。電氣的に負となる電極を陰極といい、その表面に Ni が析出する。

電気鍍金法は、陽極から陰極に流れた鍍金電流量により、陰極表面に析出する Ni の量が制御可能であり、金型に使用する電鍍（電気鍍金）と呼ばれる厚付け鍍金も電気鍍金法を用いる。

電気鍍金の持つ高い被覆性能がそのまま電鍍の特長となっており、機械的特性に優れた Ni 電鍍を射出成形用金型として用いることが、精密な形状を持った樹脂製品を安価に大量生産できる LIGA プロセスのインフラの一つとなっている。今回はオフセット印刷用金型の作製も Ni 電鍍法を用いることにした。

成形用電鍍金型の試作と評価として樹脂成形用微細 3 次元金型に必要な電鍍金型の厚みは最低 3 mm である。シミュレーション等の結果から基板中心の膜厚が平均の 80%であることを踏まえて、樹脂成形用微細 3 次元金型の厚みは 4 mm とした。その他の実験条件も電着応力試験と電流密度分布シミュレーションから決定したもので、4 インチ Ni 電鍍の実験条

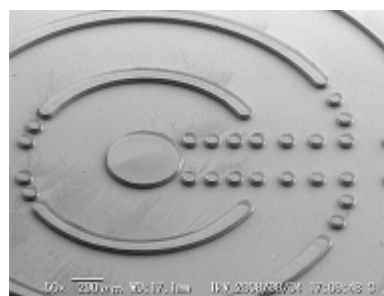
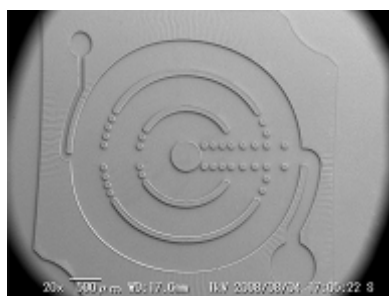
件を下記に示す。作製した電鍍はシリコンウェハと導電層を溶解除去し、観察・測定を行った。

4 インチ Ni 電鍍の実験条件

陰極電流密度	5 A/dm ²
電着時間	4000 min. (4 mm 厚相当)
浴温度	50 °C
pH	3.9
陰極遮蔽板口径	80 mm
陽極遮蔽板口径	40 mm
極間距離	90 mm
陰極回転数	80 rpm.

まず、金型マスタのパターン形状が正確に転写されているかを SEM（走査型電子顕微鏡）（KEYENCE VE-7800）で確認した。

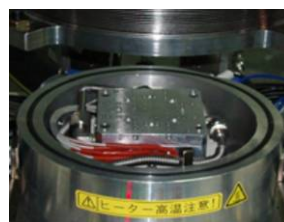
金型マスタと Ni 電鍍の表面 SEM 写真を示す。表面の状態とドット寸法から、金型マスタのパターン形状を正確に転写できたことが確認できた。



傾斜角センサの Ni 電鍍金型の表面 SEM 写真

3-2-4 ホットエンボス成形による傾斜角センサの成形

傾斜角センサ金型は凹金型であることから真空ホットエンボス成形を行った。

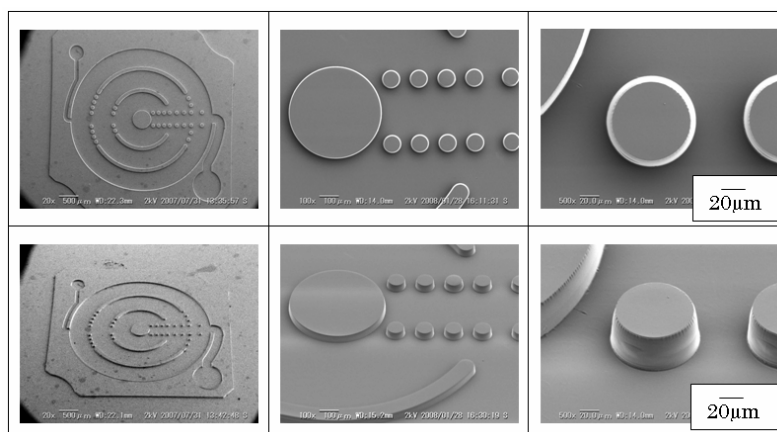


ホットエンボス成形装置

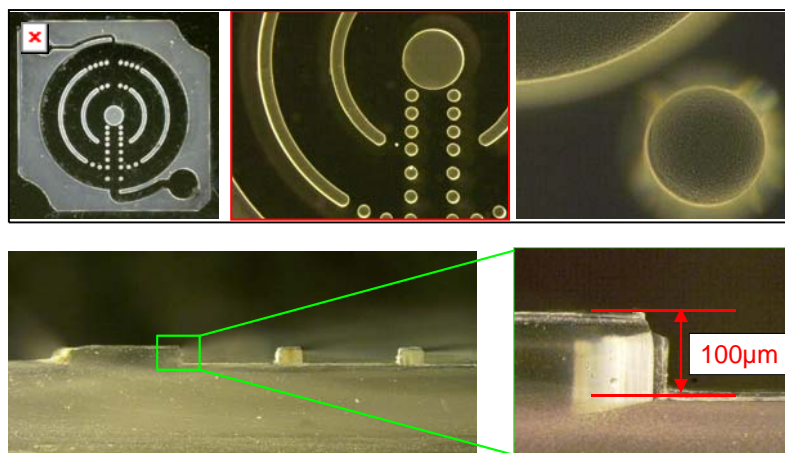
下記にホットエンボス成形実験条件を示す。

ホットエンボス成形実験条件

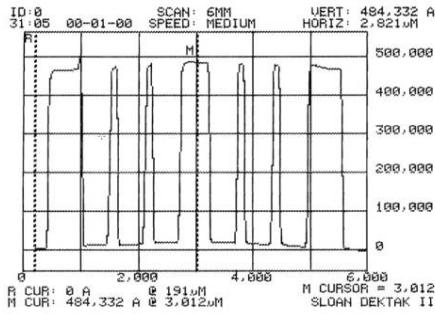
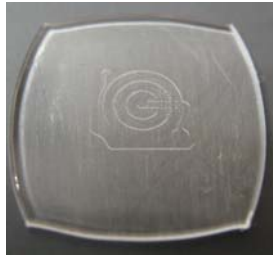
金型	Ni 金型 (構造体高さ 44 μm , サイズ 5 \times 5mm) Si 金型 (構造体高さ 100 μm , サイズ 7 \times 7mm)
樹脂成形材料	PC (ガラス転移温度 : 150 $^{\circ}\text{C}$)
樹脂シートの厚み	1.0mm
加熱温度	165 $^{\circ}\text{C}$
加熱保持時間	1min
加圧力	3MPa
加圧時間	1min
離型温度	25 $^{\circ}\text{C}$
成形状態	真空中(200Pa 以下)



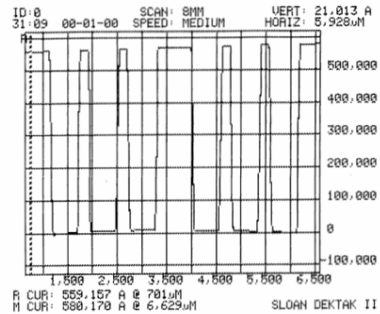
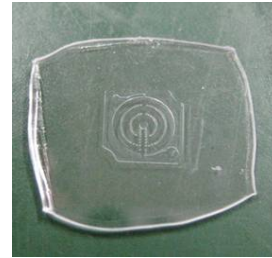
剥離温度 25 $^{\circ}\text{C}$ で作製した成形品 (Ni 金型)



剥離温度 25 $^{\circ}\text{C}$ で作製した成形品 (Si 金型)



Ni 金型成形品



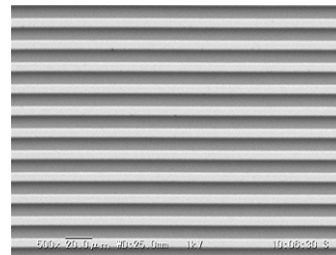
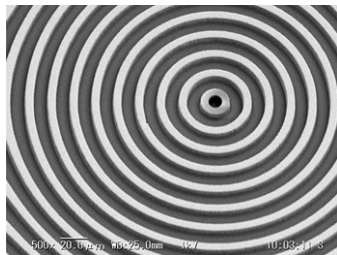
Si 金型成形品

Ni 金型で作製した成形品と Si 基板を金型とした成形品の断面寸法測定結果を比較した場合、金型自体の精度の違いから、成形後の反りを改善することができた。

3-3 微細 3 次元オフセット印刷機用金型開発

3-3-1 印刷用金型マスタの作製

目標である $10\mu\text{m}$ 幅の L&S を、UV 露光により作製した。形状は昨年度目標である $20\mu\text{m}$ 幅同様の同心円構造、同心四角形、横線、縦線の 4 種類とし、4 インチ Si 基板の 4 領域に作製した。使用したレジストは、厚膜ポジ型ホトレジスト AZ-P4903 (AZ エレクトロニクス社製) をスピコートにて膜厚 $10\mu\text{m}$ に塗布した。UV 露光は EV グループ製 EVG620 型両面アライナー露光装置を用いた。



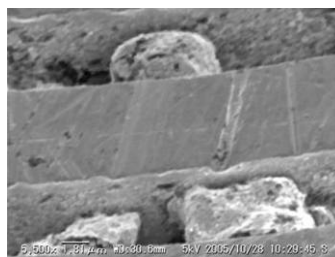
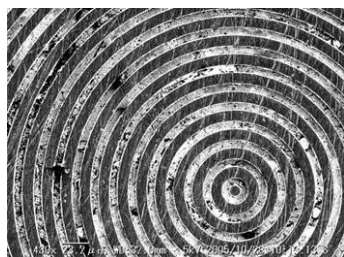
幅 $10\mu\text{m}$ の金型マスタ SEM 写真

3-3-2 印刷用電鍍金型の表面硬度向上 (表面硬度目標 600Hv 以上)

金型表面は、セラミックや SK 材等の高硬度材料のインクスクレーパーで削られ磨耗し、金型機能を失うことがある。下図は、静電容量型傾斜センサ用電鍍金型で使用した高濃度スルファミン酸ニッケル電鍍浴 (以下 無添加浴) で作製した印刷用電鍍金型を 2000 回印

刷した後の金型表面 SEM 写真である。

表面硬度が概略 200Hv の無添加浴から析出した電鍍金型表面は、インクスクレーパーで削り取られ、溝の大半が消滅するか研磨粕で埋もれていることが分かる。これでは金型作製費用と耐摩耗性から比較し印刷用金型の機能を果たさないことが確認できる。



無添加浴で析出した金型表面の SEM 写真（2000 回印刷後）

3-3-3 耐摩耗性の評価

Ni 合金めっき皮膜の耐摩耗テストを行った。印刷用金型はインクスクレーパーで金型表面を滑らせて金型表面の不要なインクを除去するため、金型表面はセラミックのインクスクレーパーで削られ磨耗する。

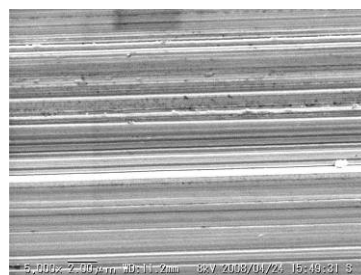
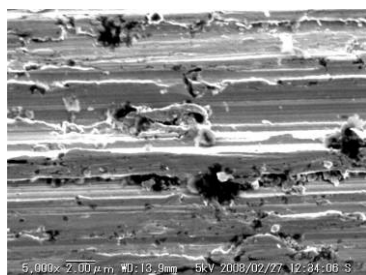
そこで、Ni 合金めっき皮膜の耐摩耗テストを行った。耐摩耗性テストは、JIS H 8503（めっきの耐摩耗試験法）に基づいた往復運動磨耗試験機による耐摩耗性試験をおこなった。試験装置は、スガ試験機製 NSU-ISO-3 型を使用した。研磨紙は JIS R 6252 で規定する粒度 #320 を使用し、研磨紙を 12 mm × 158 mm に裁断し、裏面に接着剤を着けたものを使用した。摩擦輪に上記研磨紙を張り付け、負荷荷重は予備磨耗試験結果より 1.5kg とした。試料は、熱処理なしの試料と 250°C の窒素雰囲気中で 1 時間保持し室温まで空冷した試料でおこなった。磨耗量の測定は、磨耗試験機の 100 往復運動を 1 単位とし、1 単位ごとに試料の質量変動を測定することで磨耗量とした。質量測定には、電子天秤（AY62（株）島津製作所製（最小測定値 0.1 mg））を使用し、1 単位の磨耗試験完了後質量測定した。

試験では、試験回数 (N) を 100 往復とし、100 往復を 1 単位として 7 単位の試験を行い、各単位毎の WR を算出した後、最大値と最小値を除いた 5 単位の平均値を耐摩耗性とした。

下記に Ni 合金めっき浴から析出しためっき皮膜の表面硬度と耐摩耗性の表を示す。

硬度 (Hv) 耐摩耗性		
50°C (RT)	808	59
50°C (250°C)	949	143
60°C (RT)	832	77
60°C (250°C)	963	111
70°C (RT)	801	50
70°C (250°C)	887	67

Ni 合金皮膜の表面硬度と耐磨耗性



無添加浴 (RT)

Ni 合金めっき (RT)

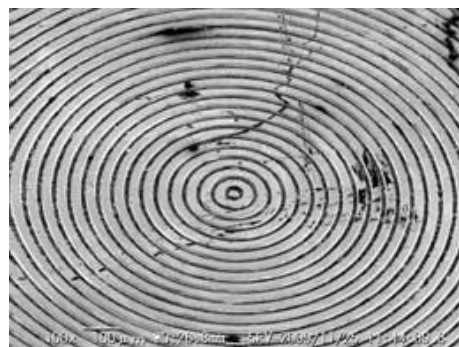
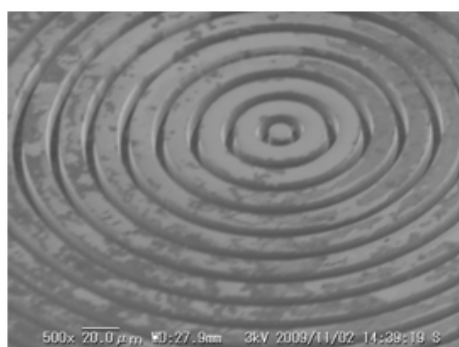
耐磨耗性試験後の表面 SEM 写真

上図は、無添加浴と Ni 合金めっき浴から析出しためっき皮膜の耐磨耗性試験後の表面 SEM 写真 (5000 倍) である。

以上の結果より、印刷用金型の表面硬度改善には、Ni 合金めっき浴を用いる事とした。

3-3-4 印刷用電鍍金型の作製と耐久試験

ニッケル合金めっき法と無添加浴により、印刷金型用高硬度電鍍金型の作製を行った。

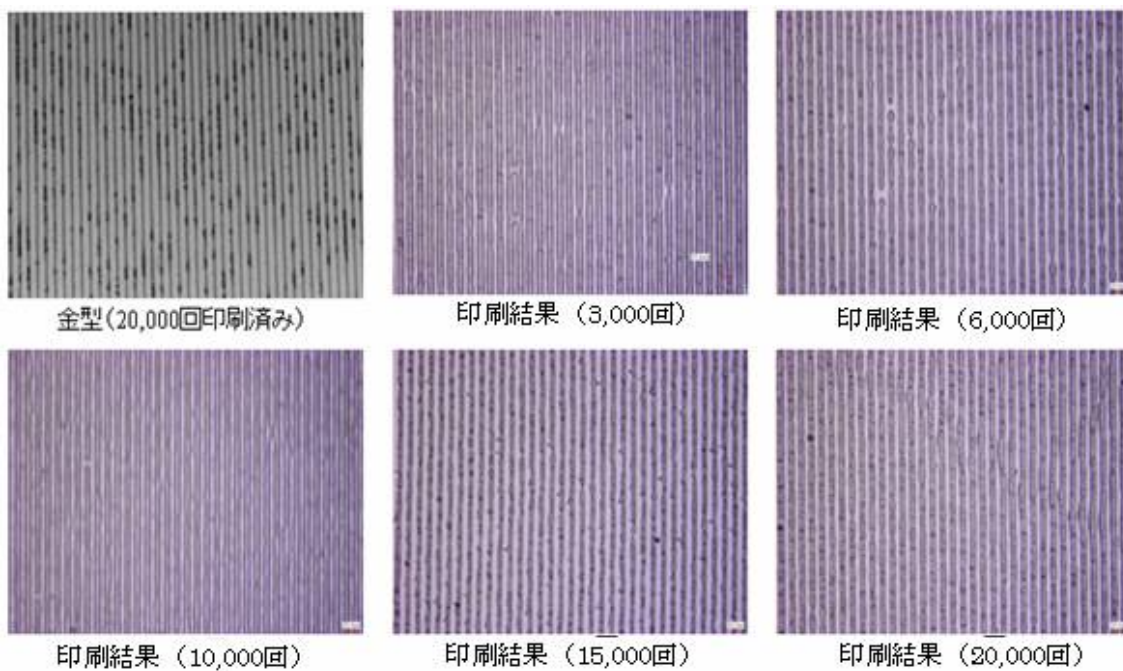


耐久テスト前

耐久テスト後

Ni 合金めっきの表面 SEM 写真

ニッケル合金めっき法で作製した印刷金型を印刷機に取り付け、20000 回の印刷耐久性テスト後の表面 SEM 写真を下図に示す。無添加浴より析出しためっき皮膜は、2000 回の印刷テストにより溝部が埋まり、印刷金型として機能しなくなっているが、Ni 合金めっき浴より析出しためっき皮膜は、20000 回の印刷耐久性テストで若干の表面傷は確認できるものの、印刷金型としての機能を十分保持しているといえる。



印刷テスト後の金型表面 SEM 写真と印刷結果

本年度目標である表面硬度 600Hv を達成したと共に、印刷耐久性テストにおいても、無添加浴より作製した金型と比較し格段の改善が確認できた。

最終章 全体総括

最終章 全体総括

3年間に渡る本研究開発にて得られた成果は、従来印刷工法からの進化は基よりプリンタブルエレクトロニクス分野においても多岐にわたる用途に対応が可能になる。

本研究開発成果による有用性、今後の展開について記載し、まとめとする。

まず、開発装置製作にあたり、装置動作時に発生する各部の振動などが印刷位置精度へ影響することを考慮し、各ユニットの剛性を通常値よりも高く設定した設計を行い、各部品類についても極限まで仕上がり精度にこだわった部品の集合体を目指し製作、組み立てを実施した。完成後は検証、調整を繰り返し精度向上が必要になる部品は新規製作、交換を行い、積層印刷位置精度の目標値である $\pm 10\mu\text{m}$ を達成した。本印刷工法にて金型とともに重要な部分を担うブランケットロールの選定に関しても多品種にて作成し検証を繰り返した結果、微細線印刷積層（最終達成値 $10\mu\text{m}$ 幅、アスペクト比 1 : 1）絶縁層の樹脂膜印刷積層（最終達成値 $40\mu\text{m}$ 厚）を達成した。この成果により従来工法にてコスト削減が頭打ちになっている分野への参入が見込まれる。

印刷位置精度を $\pm 10\mu\text{m}$ まで向上したことによりプロセス印刷（写真印刷）が可能となりブランケットロールの追従性により凹凸面、曲面への写真印刷も容易に行える。

また本工法はロータリー式であるため印刷速度を高速にて行える上、各部の摩耗、疲労が極端に少なく高寿命にて精度を維持することが可能で従来工法とされるタンポ印刷（パッド印刷ともいいレシプロと呼ばれる直線運動による印刷。シルクスクリーン印刷も含め紙やフィルム以外の基材への印刷は全てこのレシプロによる動作となり装置寿命が短い）やフィルム転写法（インモールド、インサート成形とも呼ばれフィルムへ予めグラビア多色印刷を行い射出成形時にフィルムを挟み込み同時成形によりインク部のみを転移させる方法）と比較しても生産性の向上は問題無く実現できる。

また樹脂膜印刷積層の検証にて得た成果は、印刷膜厚のコントロールや材質の異なる膜を挟み込むことなどを可能にするため、金属蒸着法（真空中にて金属分子を気化させ基材表面に飛ばすことによって被膜を形成する方法）などに代行しても極端な生産効率の向上が可能となる。

印刷位置精度に加え $10\mu\text{m}$ 以下の微細線印刷積層を達成した事により、電子部品の分野が大きく変動する。現状プリント基板、無線 IC タグ、電磁波スクリーンなどはフォトエッチング法がほとんどだが、20 工程以上の大規模な設備が必要なうえ、廃液処理などにも費用がかかる（シルクスクリーン、インクジェットなどの印刷工法も一部使用されているが生産性が低く今以上のコストダウンは見込めない）。本工法では高速処理に対応でき、搬送部と印刷ヘッドの組み合わせのみにて生産が行えるため、設備も小規模にて実現が可能になる（追加設備に対しての増設も容易）。

太陽電池の分野でも現状シルクスクリーン印刷などが採用されているが、今後の向上は困難で本工法にて電極形成（グリッドライン）を導電性ペーストにて印刷が可能となる。

本工法は基材（被印刷物）へインクや導電性ペーストなどを必要な分量のみ直接印刷するため、どの分野においても消耗品の使用量は確実に減少するためコストメリットは大きい。記載した内容以外にも現在多数の企業より相談、依頼を受けおり、着手の段階に入っている物件も多い。本研究開発の成果を更なる技術の進歩として短期間にて厳しく更新されるデザイン、機能性向上コストメリットにも柔軟に対応し早期事業化へ向けて邁進する。