エレクトロニクス分野における 表面処理技術の動向

The Technical Trend of the Surface Finishing
Technology in Electronics Field

二瓶 公志*

1. はじめに

最近のエレクトロニクス分野、特に電子部品、電子材料およびその周辺技術分野における表面処理技術の進展は、目覚ましいものがある。従来の表面処理技術の主流は、防食、装飾、吸熱、光反射、表面硬化という基本的な機能を土台とした、いわゆるめっき、塗装、表面硬化を中心とした処理技術であり、現在でも継続して存在している。

エレクトロニクス、オプトエレクトロニクス、メカトロニクス分野では、表面処理皮膜の電氣的・光学的・物理化学的特性が、従来のバルク材料にない特性が発揮できたり、特性向上に寄与できたりするケースが多く見られる。特に成膜技術、薄膜加工技術の領域でその重要性が認識され、高機能性薄膜成膜技術、薄膜加工技術、表面処理技術の研究開発が活発化してきている。

半導体素子分野（Ⅱ-Ⅳ族、Ⅲ-Ⅴ族系半導体）、電子材料・電子部品行業（回路基板、メモリ部品、記録部品、表示素子、音響部品、センサ部品、その他各種ハイブリッド部品等）において、新しい機能創出のため、さらに新しい高度精密加工技術としての表面処理技術の進展には熱い期待が寄せられている。

本稿では、機能性薄膜の高度化、精密加工技術、電子部品加工技術、モジュール化のための高密度実装技術等の中の基本技術のひとつとしての表面処理技術を中心に現状の概要と技術範囲、重要性、最近のトピックス等についてふれてみたい。

2. 表面処理技術の範囲とその種類

表面処理技術は固体物質、各種材料の表面がある限り、それが金属材料であれ、有機物であれ、半導体であれ、無機物であれ生体材料であれ、必要不可欠な技術である。かつこの処理技術によって、本来その物質にない物質機能を付与したり、寿命を長くしたり、信頼性を飛躍的に向上させたりする、極めて多用で共通的、基本的な技術であるといえよう。一方、古来から用いられている材料類も、近年材料開発の進展に伴い、複合化、高純度化、単結晶化、無定形化、薄膜化、機能変成化等の高度技術を駆使して、多くの機能をもつ一連の新しい材料群として世の中に出現してきている。

これら各種材料に多くの機能性向上を求めて、多くの表面処理技術が研究開発され、実用化されてきている。さらに今迄になかった機能出現を求めて、その開発ステップは早まり、発展していくものと考えられる。その意味でも基幹技術である表面処理技術は、各産業分野にかかせない技術であると同時に必要不可欠の技術といえよう。従来の表面処理技術の範囲である装飾、防食、硬化等の手段としての技術は当然のことながら、新機能創出のための手段としての表面処理技術は、エレクトロニクス産業、自動車産業、医療産業、精密機械産業、素材産業、土木建築産業など多くの産業界で多用され、一層の研究開発が進められている。

文部省の社団法人として表面技術協会なる団体がある。創立44年になる学術団体で、5年前に金属表面技術協会の名称を「金属」として全ての材料を対象とした表面処理技術をテリトリーとするように定款を変更した。この協会の金属表面を中心としていた時代のテリトリー

*Koji Nihei

沖電気工業(株)/OKI Electric Industry Co., Ltd.

Fig. 2 The kind of the surface technology & application function.

Tab.1 The kind of surface treatment technology.

1. 洗浄処理技術
①清浄化
②活性化
③粗 化
2. 成膜技術
①電気めっき, エレクトロフォーミング(電鍍)
②無電解めっき
③蒸着, スパッタ, CVD, PVD
④コーティング, 塗装, ディッピング, ポッティング
⑤エッチング, 電解加工 (電解エッチング, 電解研磨, 電解ミーリング)
⑥陽極酸化
⑦表面硬化, 表面改質処理, イオン注入
⑧LB膜形成
⑨ゾル-ゲル膜形成
⑩厚膜形成 (ペーストなど)
⑪金属溶射
3. 機械的処理
①研磨
②ミーリング
4. パターニング技術
①スクリーン印刷
②リソグラフィ
③マスク転写
5. その他
①環境保全・公害対策
②廃液処理技術
③排気ガス浄化処理技術
④成膜装置改良・保守技術
⑤成膜特性・解析・評価技術

Tab.2 Classification of the film formation technology.

を表したツリー図を Fig.1 に, Fig.2 に現在のテリトリ
ーを表したものを示す。Fig.2 に小鳥が「機能付与の
実」を新技術分野へと運んで行ったりきたりする図は、
まさに新機能創出によって新しい技術革新をもたらせたいとの念願の表れである。

また、表面処理技術の種類は多くの分類の仕方がある
が Tab.1 にその一例を示した。やはり表面処理技術の
中心は成膜技術、機能膜形成技術であり、湿式法と乾式

Tab.3 Example of the patterning metal functional film.

皮膜の 種 類	回路形成法	加 工 工 程	ファインライン化 (mm)	材 料	
				導体(mΩ/□)	抵抗体
めっき	印 刷 法	めっき→印刷→エッチング	0.2~0.3 (35μCu)	Cu (0.9)	Ni-P Ni-B
		めっき→印刷→めっき(レジスト、エッチング)	0.2~0.3 (35μCu)	Ni (2.91)	
	ドライフィルム 法	めっき→ドライフィルムパターン→エッチング	0.07~0.15 (35μCu)	Au (0.96)	
		めっき→ドライフィルムパターン→めっきエッチング	0.1~0.18 (35μCu)	Zn (2.37)	
厚 膜	印 刷 法	印刷→ドライ→焼成	0.01~0.02 (2~5μCu)	Ag (0.64)	Ru ₂ O (±30%) Ta系 (±100%)
				Sn (4.56)	
			0.05~0.1 (15μAu)	Au (2)	
			0.13~0.2 (15μAg-Pd)	Au/Pt (90)	
薄 膜	液 状 感 光 剤	蒸着+パターンニング+エッチング スパッタ イオンプレーティング CVD, PVD	0.006~0.01 (~3,000 Å Au)	Ag-Pt (20)	窒化 タンタル (±10%)
				Cu (3)	
				Ni (100)	
				Al (100)	

Tab.4 Application of surface treatment technology for electrics.

- (1) 湿式成膜
 - ・電気導体（配線材料、層間接続導体、エッチングレジストなど）
 - ・フリップチップ接続材料→実装接続材料
 - ・ニッケル合金などによる抵抗体
 - ・機能性薄膜（磁性膜、センサ用薄膜など）
 - プリント基板、磁気ディスクなど
 - ・ゾルーゲル法－絶縁体
 - ディッピング（導体、抵抗体、絶縁体、半導体）
- (2) 厚膜
 - ・ハイブリッド基板（導体、電極、抵抗体、絶縁層など）
 - サーマルヘッド、LEDプリントヘッド、プラズマディスプレイパネルなど
- (3) 乾式成膜
 - ・電気導体、絶縁体、感光体、磁性体など
 - サーマルヘッド、a-Siセンサ、半導体素子など

Tab.5 Application for opt-electronics area.

<発光受光素子系> ①EB蒸着 ②抵抗加熱蒸着 ③スパッタ ④MOCVD ⑤MBE ⑥LPE	
<光導波路系> ①EB蒸着 ②抵抗加熱蒸着 ③インプラ ④イオン交換 ⑤熱拡散	⑥スパッタ ⑦電解めっき ⑧無電解めっき ⑨熱拡散 ⑩CVD
<光モジュール系> ①電解めっき ②無電解めっき ③CVD ④熱酸化	

Tab.6 Comparison of wet & dry process technology.

項目	乾式法	湿式法
装置コスト	高価	安価
量産性	低い	高い
系	真空系で単純	開放系で複雑
廃液処理	無	有
析出元素	ほとんどの金属材料可能	析出可能な金属は限定
膜形状	比較的小面積	比較的大面積が容易
析出温度	超微細構造比較の容易	超微細構造比較の困難
析出基板	比較的高い	比較的低い
	方法を選べば種々可能	方法を選べば種々可能

く、設備も簡易で大型材料の処理ができ、処理系温度が低いが、皮膜特性のコントロールがやや難しく、系が複雑で変動要因が多い等のマイナス面もある。Tab.6に乾式技術と湿式技術の一般的な比較を示した。

ここに示したように各成膜技術、パターニング処理技術は各種方法によって利害得失があり、それぞれのニーズに合致した方法を選択する必要がある。しかしながら、技術は確実に進歩発展している訳であり、先入観で、また過去の知識で決めつけないで、良い方法は常に進歩していくことを念頭におく必要があると考える。

法に大別される。Tab.2にその区分を示した。

特にエレクトロニクス分野では、得られた機能性薄膜・厚膜類は平坦な膜として用いられる場合もある（電磁波シールド用磁気遮蔽膜、磁気記録薄膜など）が、多くの場合はパターン化工程を合せて用いられる場合が多い。たとえば、プリント基板をはじめ電子部品の電極材料、抵抗材料、コンデンサ、インダクタ等の部品用等がその例である。Tab.3に主として金属機能膜のパターニング工程の区分とその材料、ファインラインの実用寸法例等を示した。

Tab.4に現在エレクトロニクス分野において応用・実用化されている表面処理技術の一例を、Tab.5に光エレクトロニクス分野における応用例を示した。

表面処理技術は、湿式法と乾式法、または真空系と開放系に区分される。一口でいえば、湿式法はコストは安

3. 表面処理技術の重要性和材料技術,加工技術

エレクトロニクス技術分野においては多種の機能が要求されているが、本質的には、絶縁材料、半導体材料、生体材料、導電体材料、磁性材料、光学材料、放電材料等の基本材料を加工技術、処理技術を用いて、多種類の機能を具現化している。これを支えている学問領域も、物理、化学、生物学、金属工学、物理化学、有機無機化学、光学、計算機利用学などと極めて広い領域にまたがり、各々がお互いに刺激し合い、境界域をまたがり合いながら進展してきている。これらの材料群を各種処理技

SHM会誌

術、加工技術を用いて、電子デバイス、電子部品として多くの機能を実現し、これを電子機器・システムとしてまとめあげているのが現在のエレクトロニクス産業の基本である。

1945年に世界最初の計算機が出現してまだ50年足らずしか経過していない今日、この電子計算機の使い方(いわゆるソフトウェア)がさらに多くの機能を拡大発展させる大きな先兵役になってきて、現在ではハードウェアよりも多くのソフトウェア技術者・研究者が必要となっている状況である。

しかしながら、各種エレクトロニクス産業分野では、すぐれた機能は、すぐれた材料、すぐれた部品、すぐれたハードウェアがあって、初めてすぐれたソフトウェアを取り込んだエレクトロニクスシステムが出現する訳であり、エレクトロニクス産業を支えているのは、とりもなおさずすぐれた電子材料、すぐれた処理技術であることは当然である。

特に電子材料および処理加工技術の開発傾向は、最近の新機能創出の目的に向って、次の4つの方向が進められている¹⁾。すなわち、

- ①処理技術にマッチした機能改良、また創出させる材料開発
- ②材料本来の性質の変換による新物性をもつ材料開発
- ③材料自身の物性の極限的性質を利用した材料開発
- ④先端的計測技術を駆使し、現象のその場観察(in situ)により従来不明だった現象の詳細を解析し、材料改良を行う。

また、電子材料を用いた処理加工技術の開発傾向は総じて次の9つの方向で進められている¹⁾。

- ①微細加工技術(半導体マスク加工、マイクロマシンングなど)
- ②高集積化加工技術(半導体メモリ素子、ロジック素子など)
- ③高信頼性不活性化技術(半導体絶縁膜など)
- ④分子・原子レベルでの超マイクロ化加工技術(半導体素子、超高速素子など)
- ⑤高密度微細接続技術(高度超実装技術、光-電接続技術など)
- ⑥高速化精密加工技術(高速機械加工、高速ビーム加工など)
- ⑦多機能複合化技術
- ⑧自動制御、ロボティックス技術
- ⑨コンピュータ利用技術に支えられた高性能・高精度加工技術

4. 表面処理技術の進展と方向

前述してきたように、エレクトロニクス分野での表面処理技術は成膜技術がその中心であり、これを機能化するために、パターン加工技術、前処理清浄化処理技術、エッチング加工技術がドッキングして、電子部品・電子デバイスができていく訳である。したがって、使用される材料も金属材料系、セラミック無機材料系、半導体材料系に多く片寄っている傾向がある。しかしながら、今後の材料開発、処理技術開発はプラスチック材料をはじめ各種の有機材料、生体バイオ材料等の有機物系に多くの関心が寄せられている。

表面処理技術も基材が変われば、処理方法、処理装置、処理概念が当然のことながら変化していくことになる。ましてや分子・原子レベルでのコントロール技術が進展し、部分的に非晶質化、単結晶化、多結晶化が図れる加工技術が完成すれば、多くの機能向上、信頼性向上が果せることになる。これに伴う表面処理技術はあくなき発展をとげるであろうし、またそう期待したいものである。

また従来古典的と思われた処理技術でも、その現象が分子・原子レベルの解析能力が飛躍的に発展し、多くの新しい知見、原理探究が行なわれ、新発見・新発見が得られれば全く新しい処理方法として生まれ変わることも不可能ではないと思う。

今後の表面処理分野の確実な発展は緻密な解析力の強化、基本データの集積、総合的な評価技術の進展なくしては望めないと思われる。さらに処理に求められるニーズの原点に立ち返り、処理方法、処理材料、基材種目、処理装置、処理機能の評価などの一連の見直しをして見ることににより、より良い材料・処理加工技術の組合せが出現し、新しいメリットを生み出せる可能性もある。これら総合的な知見と検討を行って前進して行くものと確信するものである。

5. エレクトロニクス分野における表面処理技術の応用例

エレクトロニクス分野における機能性薄膜の応用例の概要をTab.7に示した。

本項では主として成膜法の中で湿式法の代表的めっき技術について、具体的な例を示す。

めっき法による成膜方法の特長は次の7点である。

- ①設備が比較的安価である。
- ②プロセスの自動化が容易である。
- ③膜形成の速度コントロールが容易である。

Tab.7 Application of electronics functional films.

膜の種類	能動膜		受動膜	
主な応用	応用分野	材料	応用分野	材料
<u>めっき薄膜</u>	シールド 磁気ディスク	ニッケル合金 コバルト合金 ニッケル-鉄 ニッケル合金 ニッケル	抵抗 配線	ニッケル合金 金, 銅
印刷配線基板 ハイブリッド回路基板 I C配線 機能素子	歪みセンサ 温度センサ		接点被膜 保護膜 接続被膜	ロジウム, 金 クロム, ロジウム 鉛錫合金
<u>印刷厚膜</u>	ガス・センサ	ZnO(C ₂ H ₅ OH _{gas}) TiO ₂ (O _{gas}) ニッケル, 銀, 金	抵抗 配線 絶縁体	ニッケル, 酸化ロジウム 銅, 銀, 白金, 金 ガラス
ハイブリッドIC 機能デバイス (プラズマ ディスプレイ)	PDP用電極			
<u>薄膜</u>	光センサ ELディスプレイ	a-Si CdS ZnS Mn, CaS Eu	抵抗 配線 絶縁体 保護膜	窒化タンタル, Ta-Si-O 金, 銅, Al SiO ₂ , SiC, Si ₃ N ₄ Ta ₂ O ₅ , SiC, SiO ₂
サーマル・ヘッド ディスプレイ(LCD,EL) LEDプリンタ イメージ・センサ Si LSI 光素子	透明電極 メモリLSI ロジックLSI 発光素子	ITO SnO ₂ C-Si GaAS, AlGaAs InP		

- ④膜形成速度が速い。
- ⑤膜の均一性がすぐれている。
- ⑥複雑な形状への膜形成が可能である。
- ⑦選択析出性がある。

これらの特長は主として乾式法と対比して表現できる。

めっき法による成膜技術のエレクトロニクス分野への応用例は多くあるが、本特集は後述の論文で4件の発表があるので、ここでは応用例の概要と一部写真、図表類を示すのに止めたい。

エレクトロニクス分野への湿式めっき法の適用は主に次のエリアに多く見られる²⁾。

(1) 磁性材料としてのめっき皮膜

- 磁気ヘッド用に用いられる軟磁性めっき
パーマロイ合金 (Ni-Fe) 電気めっき
- 磁気ディスク用に用いられる硬磁性めっき
電着: Ni-Co-W めっき, Co-W めっき, Co-Ni めっき, Co-Ni-P めっき
無電解: Co-Ni-P めっき, Co-P めっき, Co-W-P めっき, Co-Ni-W-P めっき, Co-Ni-Mn-Re-P めっき, Co-Ni-Ro-P めっき

- 磁気ディスク用非磁性下地めっき
無電解: Ni-P めっき

(2) 薄膜抵抗材料としてのめっき皮膜 (ハイブリッド基板, サーマルヘッド等)

- 無電解: Ni-P めっき, Ni-B めっき, Ni-W-P めっき, Ni-W-B めっき, Ni-Mo-P

(3) 印刷配線基板用のスルーホールめっき

電着, 硫酸銅めっき, ピロリン酸銅めっき, シアン化銅めっき, スルファミン酸 Ni めっき, ほうフッ化はんだめっき, アルカリ錫めっき, Sn-Ni

Fig.3 The flow of via fill process.

(A) Schematic view of electroless Ni plating
 (B) Schematic view of lift off process (Ni-evaporate)
 (C) Cross section view of Via-hole
 Fig.4 Flatness process, via-fill technology on Si semiconductors
 (Comparison of dry & wet process).

Fig.5 Schematic view of via fill.

めっき, ワット型 Niめっき, 金めっき

無電解: 薄付用 Cuめっき, 厚付用 Cuめっき

- (4) 印刷配線板用のコンタクトめっき, コネクタ部品の接点めっき (部分めっき)

電着: シアン化銅めっき, ワット型 Niめっき,

Au-Coめっき, Au-Ag-Coめっき, Au-Pdめっき, Auめっき, Pdめっき, Sn-Niめっき, Pb-Snめっき

- (5) リードフレーム用めっき (部分めっき)

電着: Auめっき, Agめっき, Niめっき, Sn

WITHOUT VIA FILL

VIA FILL

Fig.6 Double layer structure with electroless plating via fill technique.

めっき, Pb-Snめっき (ハウフッ化浴, アルカノールスルホン酸浴, フェノールスルホン酸浴)

無電解: Ni-Pめっき

- (6) 半導体素子用めっき (導体材料として)

無電解: Ni-Pめっき, Auめっき, Cuめっき (ホール平滑化用)

電解: Niめっき, Auめっき

- (7) 半導体素子用めっき (接続用電極材料として)

電解: Auめっき, Pb-Snめっき, Niめっき, Cuめっき,

- (8) 電磁波シールド材用めっき

無電解: Cuめっき, Ni-Pめっき, Ni-Bめっき, Zn溶射めっき

電解: 無電解めっき後 Niめっき

以下に多少具体的に半導体素子のプロセス中へめっき技術を適用した例と, 半導体素子の基板材料へ搭載する際に用いるバンプ形成はんだめっき, 金めっきの例の概要を示す。

5.1 半導体素子の Via fill 技術への応用⁶⁾

Si 半導体デバイスの高集積化は 2 次元方向の集積度向上は当然のことで, 3 次元方向への集積度向上も重要である。Fig.3 に Ni-B 系無電解めっきを半導体の層間電極接続用の Via fill 技術として用いた場合のプロセス図を示した。無電解めっきを用いた場合, 蒸着スパッタ法の場合と比較すると次のメリットがある。

- ①プロセスが比較的容易
- ②多量同時処理が可能 (スループットが高い)
- ③金属の析出均一性がよい。

- ④触媒として Pd 系材料の付着した部分のみ析出される選択析出性がある。

Fig.4 にその場合の Via full 後の断面写真例を示す。

無電解めっきを用いたほうが表面平坦度が高い。

Fig.5 に平面方向から見た写真例を示す。

Fig.6 に Via fill 技術を用いない場合との比較を示す。

5.2 半導体素子実装技術としての Au めっきバンプ形成へのめっき技術の応用 (TAB 接続技術)^{1), 4)}

半導体素子を配線基板に接続搭載する場合, TAB 接続法がある。ポリイミド基材上の銅配線を用いて, 半導体素子側 (インナーリードボンディング) と基板側 (アウターリードボンディング) とを熱圧着法で接続する方法である。

Fig.7 に半導体素子側のインナーリードボンディングの接続ツール部の断面図を示す。半導体素子側の Au めっきを用いたバンプを形成するが, その際のプロセス図を Fig.8 に示した。接続用テープには Sn めっきが施されていて, Au バンプとテープ (Sn めっき) とを熱圧着法で接続する。Fig.9 にその部分 Au-Sn 共晶接続部の SEM 写真を示す。Au-Sn 共晶接続部 (インナーリードボンディング部) を上面よりみた写真を Fig.10 に示した。Fig.11 にアウターリードボンディング部の写真を示した。

5.3 半導体素子 (Si LSI) の接続用としてはんだめっきバンプ形成へのめっき技術の応用例^{2)~4)}

半導体素子を配線基板 (有機系, セラミック系, 複合系など) に搭載接続する方法として Flip Chip Bonding 法がある。この方法は半導体素子上の電極部分には SHM 誌

Fig.7 Cross view of the inner lead bonding process.

Fig.9 Photos of the connect to Au-Sn.

Fig.8 Cross section view of the Au bump formation process.

Fig.10 The condition of inner lead connection bonding.

Fig.11 The condition of outer lead connection bonding.

Fig.12 Flow of solder bump formation process.

Fig.13 Photo of Pb-Sn bump after reflow.

んだめっきを行い、これを加熱してボール状のはんだバンプを形成し、配線基板側の接続パッド部（多くはAuめっき、はんだめっき、Snめっき等）に熱圧着接続するものである。

しかし、実用的にはめっき法が多用されている。めっき法によるはんだバンプ形成プロセスを Fig.12 に示した。Fig.13 にはんだをメルトさせた後のバンプ形状写真を示した。

はんだバンプを形成した後、基板（この場合はセラミック基板を使用）と接続するフリップチップ工程のプロセスを Fig.14 に示した。接続前の半導体チップ上にバンプ電極が形成された状態の写真を Fig.15 に示す。

このようにフリップチップ接続は、半導体素子の下部にも基板の導体を通すことができる、現時点で最も高密度な半導体チップ実装方法のひとつで、めっき技術なくしては成り立たない訳である。

6. ま と め

エレクトロニクス分野への表面処理技術について述べてきたが、今後ますます高機能化するエレクトロニクス機器・システム、電子部品・電子材料分野に乾式、湿式を問わず、成膜技術、処理加工技術がさらに発展をとげて行くことを確信する。以下にまとめとして7項目をあ

SHM 会誌

Fig.14 Flow of flip chip connection process.

Fig.15 Schematic view of Pb-Sn bump on Si LSI.

げて終りとする。

- ①エレクトロニクス技術は、材料技術、表面処理技術なくしては成立しない。
- ②材料関連技術は、全ての先端産業技術の技術基盤である。
- ③エレクトロニクス分野での新機能を創出することができるのは、材料技術、表面処理技術の発展によることが大。
- ④エレクトロニクス技術の分野でのイノベーションは学際領域にかかわっている分野が多く、特に Chemical, Physical, Biological 領域の思考と基

礎が重要である。特に、

- a) 高次材料構造制御技術
 - b) 物質界面、物質表面にかかわる技術
 - c) 光機能にかかわる材料技術
 - d) 材料高純度化技術、高機能薄膜成膜、加工技術
 - e) 超電導、バイオエレクトロニクス関連技術等が今後とも重点課題と考えられる。
- ⑤湿式成膜技術（特にめっき技術）は系が複雑ではあるが、今後、計測評価技術の進歩・発展を利用し、気液界面、固液界面の状態解析、評価を高度化させ、新しい機能膜の創出、応用、利用に今後も期待したい。
- ⑥生体膜の表面処理技術分野は各種エレクトロニクス技術の利用との接点が多くみられ、マイクロマシニング技術の進展と相まって今後ますます発展の可能性が大きい。
- ⑦コーティングやスクリーン印刷、めっき技術、陽極酸化技術などの簡便な技術が今後見直され、複雑な系を、より高度な計測技術・CPU 処理技術を用いて十分に我々の手でコントロール可能になり、これから新しい機能成膜分野の開拓へと希望は大きい。

参 考 文 献

- 1) 逢坂，二瓶：機能成膜プロセス技術—エレクトロニクスにおける機能膜作製技術，広信社（1987）
- 2) 逢坂：湿式法を利用したエレクトロニクス高機能薄膜作製法，広信社・総合工学出版会（1992）
- 3) 二瓶，沢井：“LSI，ハイブリッド IC におけるめっき技術”，化学と工業，42 巻第 3 号，p.412（1989）
- 4) K. Nihei：“Recent and future technical trends & targets in electronics of Japan”，Proceedings of American Electrochemical society international symposium-applcation in electronics, p.18（1993）
- 5) K. Nihei, T. Kanamori：“Current situation and development of hybrid microelectronics in Japan”，Proceedings of 1990 European IEMT symposium, IEEE/CHMT, p.15（1990）
- 6) 原田，松井，沢井ら：“The characterization of via-filling technology with electroless plating method”，J.E.C.S, Vol.133, No.11, p.2428（1986）

【執筆 者 紹 介】

二瓶公志(にへい こうじ) 当協会常任理事
1960 年，早稲田大学理工学部卒業。同年，沖電気工業(株)入社。以来，電子材料，電子部品の研究開発に従事。工学博士。IEEE，電子情報通信学会，電気化学協会，電気学会，表面技術協会，日本化学会会員。