小特集/湿式エッチング(I)

フォトファブリケーション—製品例と今後の展開—

原 田 直 明*

*日本フィルコン(株) ミクロ製品事業部 (〒206-8557 東京都稲城市大丸 2220)

Photofabrication —Example of Product and Future Prospects—

Naoaki HARADA*

*Micro Products Div., Nippon Filcon Co., Ltd. (2220, Omaru, Inagi-shi, Tokyo 206-8577)

Key Words : Photofabrication, Etching, Lead Frame

1. はじめに

光学的にパターンニングを行い、材料の一部を化学的に除去あるいは堆積させ、目的の形状を得る加工技術を総称してフォトファブリケーションと呼ぶ。極めて応用範囲の広い加工方法であり、加工手法やこれによって製造される製品群は多岐にわたる。その一例を図1～2に示す。

代表的な手法として、ワークの不要部を除去するフォトエッチング加工と、ワークの必要部を堆積するフォトフォーミング加工があり、この二つの手法あるいは他の加工技術を複合することにより多彩な形状や特性を得ることができる。

多くの加工技術を含むフォトファブリケーションの中から代表的な生産部品の一つ、ICのリードフレームを例にとり、生産プロセスとしてよく利用される金属のウェットエッチングについて簡単な解説を行い、今後のフォトファブリケーションの展開を考察する。

2. ウェットエッチング工程

ウェットエッチング(以降エッチング)とは加工品(ワーク)の表面に保護パターン(レジスト)を形成し、溶解液(エッチャント)中に浸漬することによりワーク不要部を除去し目

的の形状を得る加工法で、工業エッチングにおいては保護パターンの転写に光学的手法を用いる場合がほとんどである。

図3に基本的なエッチングの工程を示す。

理想的なエッチング形状を得るためには、高精度なエッチング原版(マスク)を要する。このマスクもフォトファブリケーションの手法により、マスク製造工程を介して製造されるが、今回はワーク加工の流れに沿って説明を行う。

2. 1 素材

エッチング品に利用される素材は一般に、鉄合金(ステンレスや42アロイなど)、銅、銅合金、非鉄金属(アルミやモリブデンなど)などが多く利用される。ロール材、枚葉材ともに多品種が流通しているが、大量生産にはロール材を利用した連続処理工程を使用するが多い。

素材を評価する主要な項目として、板厚、反り、硬度、外観、傷や打痕などの欠陥などが挙げられ、製品特性に合致した評価がなされる。材料の品質は製品品質を大きく左右する最重要項目の一つである。

2. 2 マスク

エッチング工程にて使用されるマスクにはフィルムマスクやガラスマスクがあり、一般的にガラスマスクの方が精度は高く、フィルムマスクの方がより安価に製作可能である。

図1 フォトファブリケーションによる製品例(1)
リードフレームのリード先端部

図2 フォトファブリケーションによる製品例(2)
メッシュ状製品

フィルムマスクは経時変化や湿度、温度変化の影響で伸縮し易いので、高精度品にはガラスマスクを使用する必要がある。

2. 3 前洗浄工程

レジストを塗布する前にワーク表面を十分に洗浄する必要がある。エッチング工程は材料表面のゴミや油分を嫌うため、強アルカリなどで洗浄し中和、水洗するのが一般的である。洗浄度を簡易的に評価する項目として水濡れ性があるが、さらにレジストの密着を高めるために、化学あるいは機械的処理による表面改質、粗さ改善など、さまざまな工夫がなされている。

2. 4 レジスト塗布工程

材料表面にパターンを転写するため、感光性を有するフォトレジストを塗布する。フォトレジストには受光部が硬化し定着するネガタイプと、逆に受光部が溶解除去されるポジタイプ、液体状タイプやフィルム状のタイプがあり、扱うレジストにより工程も異なったものとなる。

2. 5 露光工程

マスクに描画された遮光パターンをレジストに密着させた

状態で光をあて、レジストを感光させることによりパターンを転写する。リードフレームの場合はワークの表裏両面にパターン転写を行うので表裏用2枚のマスクを使用する。マスクの密着には真空引きが利用されることが多い。

マスクの材料にはフィルム、ガラスなどがあり、コスト、精度により選択される。強度があり、湿度や温度の影響を受け難いガラスマスクはピッチ精度が良い。量産型の連続露光処理装置にはガラスマスクが使用されることが多い。

露光光源には高圧水銀ランプやメタルハライドランプなどの紫外線光源がよく利用される。大別すると平行光タイプと散乱光タイプがある。平行光タイプの方がマスクの密着状態による影響を受け難く、パターンの再現性に優れる。

2. 6 現像工程

レジストの感光部あるいは非感光部のどちらか一方を定着硬化させ、残りを洗浄除去する工程を現像工程と呼ぶ。現像後ワーク表面に定着したレジストパターンはエッチング時にエッチャントの溶解反応を阻害し、結果として製品を形作ることになる。よりレジストの強度を上げるため、現像処理後

断面形状

図3 エッチング基本工程

に加熱処理(ポストバーク)や紫外線照射処理を行う場合が多い。

2. 7 エッチング工程

量産型エッチング処理装置は一般的に横型搬送タイプで、パスラインの両側に多数のスプレーノズルを持ち、エッチャントをワークに向かって噴射する。

エッチング工程の主要な管理項目として、エッチャントの温度、疲労度、スプレーの圧力などがある。製造時は最初にテスト投入を行い、製品寸法を確認してから生産を開始する。製造中はエッチャント疲労により加工寸法が変化するため、継続して主要寸法を測定しエッチング時間を調整する必要がある。

2. 8 レジストはく離工程

ワーク表面に残留したレジストに対してはく離洗浄を行う。製品材質やレジスト種類に適した洗浄剤を選定して十分に洗浄し、水洗や乾燥を完全に行うことが重要である。はく離洗浄はワークの最終洗浄としても機能するため、すべての製品は洗浄された状態に仕上げられることとなる。

リードフレームなどの製品に求められる製品の清浄度は非常に厳しいため、はく離工程の管理を怠ると品質に重大な影響を及ぼすことになる。

3. エッチング加工の特徴

3. 1 エッチング設計

図4に示されるように、エッチャントと金属の反応は全方向に作用するので、エッチングはワーク表面に対して深さ方向のみならず横方向にも進行する。この横方向の広がりをサイドエッチと呼ぶ。エッチング深さに対するサイドエッチ量

断面形状

図4 エッチング反応

図5 レジスト(補正)付のリードフレーム先端部

の比率を称してエッチファクターと呼び、以下の式にて表される。

$$\text{エッチファクター} = \frac{\text{エッチング深さ}}{\text{サイドエッチ}}$$

エッチファクターが高い値を示すほど、深さ方向に対する横方向のエッチング量が小さく、スリットやパターンの再現性が向上し、微細なパターンの加工が可能である。

このようにレジストパターンは加工品の仕上がり形状と同一ではないため、マスクを設計する際にはサイドエッチを考慮して補正を施す必要がある。薄板であるほど補正量を小さくとることが可能で、精度は良くなる。単一製品内において、パターン形状により補正量のバラツキが発生することも多く、部位により最適な補正を施し全体のバランスをとる場合が多い。図5にレジスト(補正)付のリードフレームの先端を示す。

エッチング品の断面はサイドエッチの影響により図6に示すように独特の形状を示す。通常は貫通部の断面形状がなるべく垂直に抜けるようエッチング量を調整するが、求められる形状により通常よりエッチング量を減少(アンダーエッチング)、増加(オーバーエッチング)する場合もある。図7にエッチングの通常の断面を、図8にオーバーエッチングした製品の断面を示す。

両面エッチング品においては、表裏異なるパターンのマスクを使用し両面彫り(貫通部)、片面彫り(ハーフエッチング)を同時に実現することが可能である。通常、ハーフエッチング部の残り板厚はワーク板厚の1/3程度である。

一枚のワーク上に多数の製品を配列して生産する場合は、板からの製品脱落を防止する繋ぎ(ブリッジ)を設けることが多い。

3. 2 エッチング精度と加工限界

エッチング製品の最大加工サイズは生産工程のサイズや製品自体のハンドリングなどで決定されるが、微小パターンの加工はエッチファクターにより限定される。通常工程では常にエッチファクターが最良の数値を示すように条件設定がなされるため、最小加工限界値は主として板厚に依存する。

薄板エッチング品を設計する際の参考として、加工限界の目安を示す(ステンレスなどの一般鉄合金または銅、銅合金など、板厚0.1~0.8mm、両面エッチング)。

- 抜き/残り 寸法公差 : ±板厚の20%程度
- ピッチ寸法公差 : 材質、マスクによる

断面形状

図6 エッチング断面形状

図7 通常エッチングの例

図8 オーバーエッチングの例

- c. 最小抜き幅(ライン, 孔径): 板厚と同等程度
- d. 最小残り幅 : 板厚の1/2程度
- e. 最小外コーナーR : 板厚の1/3程度
- f. 最小内コーナーR : 板厚と同等程度
- g. ハーフエッチング部板厚 : 板厚の1/3程度

上記は参考値であるが、たとえば多ピンのリードフレーム製品などは上記規格を大きく凌駕する品質であり、工程改善や経験で品質を向上させた事例が多く存在する。用途や材質、パターン、板厚などにより慎重にマスクを設計しエッチングすることが重要で、精度に重大な影響を及ぼす。

3. 3 エッチング加工のメリット・デメリット

3. 3. 1 エッチングのメリット

- ①加工応力が発生せず応力変形や加工バリが発生しない。
- ②デザインの自由度が高く、開口数や形状によるコスト上昇が比較的少ない。
- ③高額なプレス型と比較してエッチング原版の方が安価である。
- ④ハーフエッチングが可能である。
- ⑤加工の最後に洗浄工程を持つため、製品は比較的クリーンに仕上がる。

3. 3. 2 エッチングのデメリット

- ①厚物に対する加工精度が低い。
- ②板厚に対する最小加工限界が低い。断面にサイドエッチ形状が現れる。

図9 スパッタ用治具

③製品外周部にブリッジが必要である。

4. エッチング製品の紹介

4. 1 電子部品

エッチング製品として多く生産されていたリードフレームは、プロセス製造技術の変遷により需要が減少しているが、メモリ用途やモジュール向けプロセスなどに広く利用されている。その他に需要の多い電子製品にはブラウン管のシャドウマスク、印刷機器の版胴ドラム、グリッド、フロッピーのジンバルなどがある。それぞれエッチング品の特徴を活かした製品が多い。

4. 2 治具製品

部品メーカーの製造工程に利用される配列トレーや、スパッタに使用するメタルマスクなど、生産用治具もエッチングの代表的製品である。高精度にパターンエッチングされた薄板を積層し、スポット溶接や接着、熱拡散接合にて一体化することにより、精密かつ立体的な造形を行った製品もある。その一例として、図9にスパッタ用治具を示す。

4. 3 複合材製品

電子配線基板に代表される基材と金属箔の複合製品群は、ほとんどの電気製品において必要不可欠である。多層基板、フレキシブル基板などの需要は拡大しており、耐熱、耐薬品性、フレキシビリティなどに優れた基材を利用した、シート型ヒーターや電磁シールドなどの製品も多く見られる。近年多く見られるICカードなどのペーパー型製品なども注目すべき製品である。

4. 4 その他

フォトファブ리케이션は極めてデザインの自由度が高くイニシャルコストも低く抑えることが可能なため、研究用治具や試作品によく利用されている。また、装飾品、フィルタなどの用途にも広く利用されている。

曲面や立体に対するパターニングの試みも多くなされており、応力を発生しないフォトファブ리케이션加工特性は精密加工に適すると考えられている。応用次第では大きな産業に発展する可能性もある。

5. 今後の傾向

多くの構成部品を含む生産機器や電化機器において、フォ

トファブリケーション製品が単独で機能することは希であり、たとえば、エッチング技術のみに限定された視点から今後の製品傾向や技術的展開を予測するのは至難である。技術的な発展は需要から喚起されることが多く、流動する需要に対応するためには絶えず市場情報に気を配り、他分野の技術や複合技術など、広範囲に目を向けることが必要である。

工業製品群の生産には当然、性能向上、低コスト化といったアプローチが常になされており、特に低コスト化の競争は激烈を極める。生産効率を向上するために治具の大型化、ワークの大型化が進み、さらに製品自体も大型化しているため、構成部品やこれらを扱う生産用治具は過去数年で倍以上のサイズになったものも多く、エッチング生産ラインも大型の設備が増加した。エッチング素材や工業部材の生産可能サイズはさらに大きくなる傾向にあり、手作業による取り扱いには既に不可能である場合が多い。このため、ロール材による生産やロボットハンドリングなど、各製品に対応した生産ラインが必要となっている。

エッチング製品の大型化、微細化を問わず加工精度に対する要求は益々厳しくなっている。エッチング加工精度の向上は当然取り組むべき問題であるが、各部品の位置決め方法や組立方法、製造方法など総合的に考慮しなくては製作が難しい製品もあり、近年にはフォトファブリケーション技術に造詣の深い製品設計者も多く見受けられる。新技術の実現に貢献するためには、フォトファブリケーション技術者も見識をより広く持ち、他分野に一步踏み込んだ設計思想が必要とな

ることが多い。こうした複合技術の応用には加工技術のみならず、材料力学や素材特性、熱処理や表面処理、組み立て作業や管理までを総合的に理解する必要がある、製品開発における他分野との技術交流は非常に重要であると言える。

6. おわりに

光学転写や薬品処理など、化学的な反応を多用する工程において製品の品質を向上し一定に保つためには、あらゆる資材や工程条件の管理が重要である。近年、ISO 国際規格により多くの工程条件や手順の文書化がなされ、改善の基盤として一役買っている。多岐にわたる製品の安定供給には多くの労力を要するが、デザインの多様性こそが、フォトファブリケーションにとって重要であり、新製品に迅速に対応するためには、経験や基礎実験の集積データによる手法構築が肝心であろう。

紹介した加工例は、フォトファブリケーションのほんの一端にすぎず、新技術の開拓には分野を問わず、多くの加工技術との連携が必要不可欠である。本文掲載の機会を得、多くの人にエッチング加工技術を紹介し、新たな工業デザインを行う一助になれば幸いである。

(2004-6-7 受理)

文 献

古関敬三；フォトエッチング, 工業技術ライブラリー3 (日刊工業新聞社, 1968)