

# 感光性ガラス【PEG 3】の微細加工と応用製品

HOYA 株式会社コンポーネント事業部

初田美砂紀，本村欣也，橋本和明

## Micro - Fabrication Process and Products of Photosensitive Etching Glass “PEG 3”

Misaki Hatsuda, Yoshinari Motomura and Kazuaki Hashimoto

HOYA Corporation Component Division

### 1 はじめに

#### 1-1 感光性ガラスの History

感光性ガラスとは、 $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3$  系ガラスに、感光性金属として少量の Au, Ag, Cu, さらに増感剤として  $\text{CeO}_2$  を含んだガラスである。その歴史は古く、Corning 社の Stookey は、 $\text{CeO}_2$  を加えると紫外線を照射したときの感度が著しく増加、着色しやすくなることを発見した<sup>1)</sup>。紫外線を照射することによって、酸化還元反応が起こり金属原子が生じる。さらに加熱すると金属原子が凝集しコロイドを形成、このコロイドを結晶核にして  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  (メタケイ酸リチウム) の結晶が成長し、紫外線照射部が着色する。この現象を利用し、第2次世界大戦中では秘密の文書を送るのに使われたという<sup>2)</sup>。ここで析出する  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  (メタケイ酸リチウム) は HF に容易に溶解し、紫外線の照射されていないガラス部分と比べると約 50 倍程度の溶解速度の差がある。この溶解速度差を利用することで選択的エッチングが可能とな

り、機械加工を用いることなく微細な加工物を形成することができる。

感光性ガラスは、HOYA(株)では『PEG 3』、Schott 社では『FOTURAN』、Corning 社では『photoform』、(株)住田光学ガラスなどで販売しているが、各社製品ともベース組成、感光性金属の種類、さらには増感剤の量などが異なっている。

#### 1-2 HOYA(株)での製品例

弊社では感光性ガラスを使って今まで様々な製品を作製してきた。インクジェットプリンター用のヘッドやワイヤーガイド、特殊マスク、蒸着用治工具などがその例である。それらの製品はどれも感光性ガラスの加工性やガラス自体の物性を生かして作られている。

製品やシステムの小型化が趨勢となっており、その周辺部品や基板等の微細加工の技術が求められている。ガラスという材料にニーズがあるものの、その微細加工は非常に難しい。感光性ガラスはガラスの特性を生かしつつ微細加工が可能な材料といえる。また弊社では、感光性ガラスに形成した小径貫通孔に銅を充填する技術を開発した。今回、感光性ガラスの微細加工技術、ならびにメタライズについて、またこ

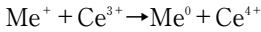
〒190-0151 東京都あきる野市小和田 1-1  
TEL 042-596-5751  
FAX 042-596-5752  
E-mail : info\_peg@sngw.els.hoya.co.jp

これらの技術を応用した製品の紹介をする。

## 2 感光性ガラスについて

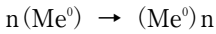
### 2-1 原理

感光性ガラスに紫外線を照射すると、光エネルギーにより  $Ce^{3+}$  から電子が放出され、一部の電子が感光性イオンに捕えられ金属原子になる。



Me: Au, Ag, Cu

このガラスを 450~600℃ の温度で熱処理すると、



の反応が起こり、金属コロイドが生成される。

$Li_2O$  を含んだケイ酸塩ガラスは、 $Li^+$  イオンがガラス構造中を移動しやすい性質を持っている。そのため、金属コロイド ( $(Me^0)_n$ ) を結晶核にして  $Li_2O \cdot SiO_2$  (メタケイ酸リチウム) 結晶が析出する<sup>3)</sup>。前述したとおり、この結晶は HF に対して溶解しやすく、選択的にエッチングすることにより所望の形状を有するガラスを作ることができる。フォトマスクを用いて紫外線照射をすると、フォトマスクとほぼ同等の精度が得られ、脆性材料であるガラスに微細加工を施すことが可能になる。

### 2-2 微細加工プロセス

感光性ガラスの加工プロセスを図 1 に示す<sup>3,4,5)</sup>。プロセスの概略を説明する。

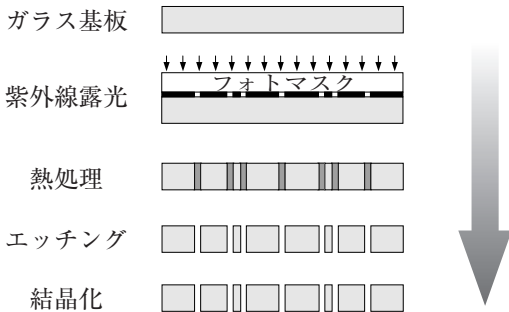


図 1 感光性ガラスのプロセスフローの例

- ①感光性ガラスに、フォトマスク等を用いて紫外線を照射する
- ②450~600℃ の温度で熱処理をする
- ③熱処理で析出した結晶部を HF でエッチングする (アモルファスガラス【PEG 3】)
- ④結晶化ガラス【PEG 3 C】として用いる場合は、さらに熱処理をする

弊社では、微細加工を施したガラスのまま使用する場合【PEG 3】と、再度熱処理を施して結晶化ガラスにして使う場合【PEG 3 C】と、用途によって使い分ける。PEG 3 はアモルファスガラスなので、ガラスからイメージされる通りの透明な材料である。ガラスの分光透過率(反射分を除いた内部透過率)ならびに任意波長における屈折率を図 2, 3 にそれぞれ示す。

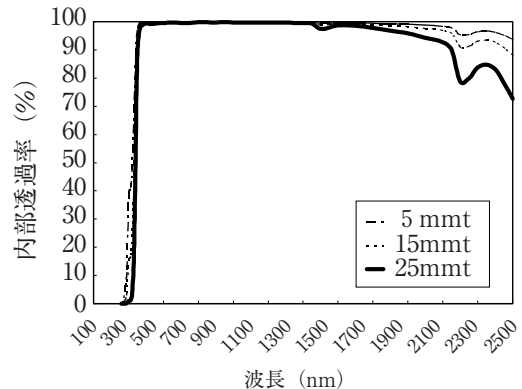


図 2 PEG 3 の分光透過率 (内部透過率%:測定例)

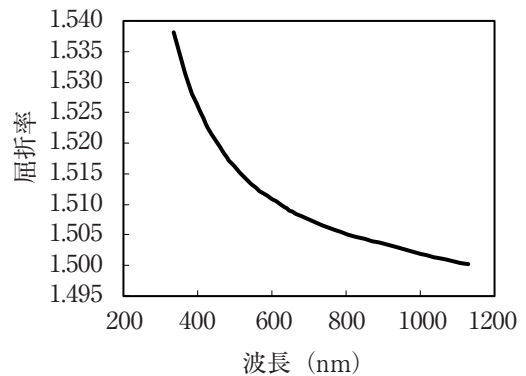


図 3 PEG 3 の屈折率 (測定例)

一方の結晶化ガラスは、前述した化学切削時の加熱条件とは異なる条件で再度加熱処理しガラス中に均等に微細な結晶を析出させた材料である。ここで析出する結晶は前述したものとは異なり、化学的耐久性に優れる。結晶化ガラスになると、外観上は淡黄色の不透明になり透光性は有していないが、機械的、電気的特性にも優れるという利点を活かして各種製品に応用されている。弊社ではPEG 3 を結晶化したガラスを“Crystallized”の頭文字Cを付してPEG 3 Cと呼んでいる。両者の代表的な特性を表1にまとめた。目的や用途に併せてPEG 3あるいはPEG 3 Cを適宜選択することになる。

### 2-3 さらに微細加工

個々の工程について、パラメータの最適化、使用する装置の高精度化と継続的に改善することによって、感光性ガラスの加工精度は従来と比較にならないほど進化している。その一例として、実際に作製した貫通孔のSEMを図4に示すと、その直径は9  $\mu\text{m}$ φ、アスペクト比は約40に達する。このような微細加工を実現

表1 PEG 3とPEG 3 Cの特性

項目	単位	感光性ガラス PEG3 <sup>(*)1</sup>	結晶化ガラス PEG3C <sup>(*)1</sup>	測定条件
<b>熱的性質</b>				
熱膨張係数	ppm/K	8.4	10.5	TMA <sup>(*)2</sup>
熱伝導率	W/m·K	0.7950	2.7196	25°C
転移点	°C	465	> 800	
<b>機械的性質</b>				
ヤング率	GPa	79.7	90.3	
ポアソン比		0.22	0.19	
曲げ強度	MPa	> 65	> 150	
<b>電気的性質</b>				
誘電率		6.28	5.26	1GHz-RT
		6.21	5.22	5GHz-RT
誘電正接		0.0116	0.0072	1GHz-RT
		0.0150	0.0106	5GHz-RT
体積抵抗率	$\Omega\cdot\text{cm}$	$8.5\times 10^{12}$	$4.5\times 10^{14}$	25°C

(\*)1

PEG3 : Photosensitive Etching Glass Version3

PEG3C : Crystallized PEG3

(\*)2 : TMA: Thermo Mechanical Analysis.

するために、露光プロセス、熱処理、エッチングなど全てのプロセスに対して様々な創意工夫が施されており、従来のそれとは異なっていることを付言する。

### 2-4 ガラス材料としての優位性

これまで述べたとおり、PEG 3は脆性材料で

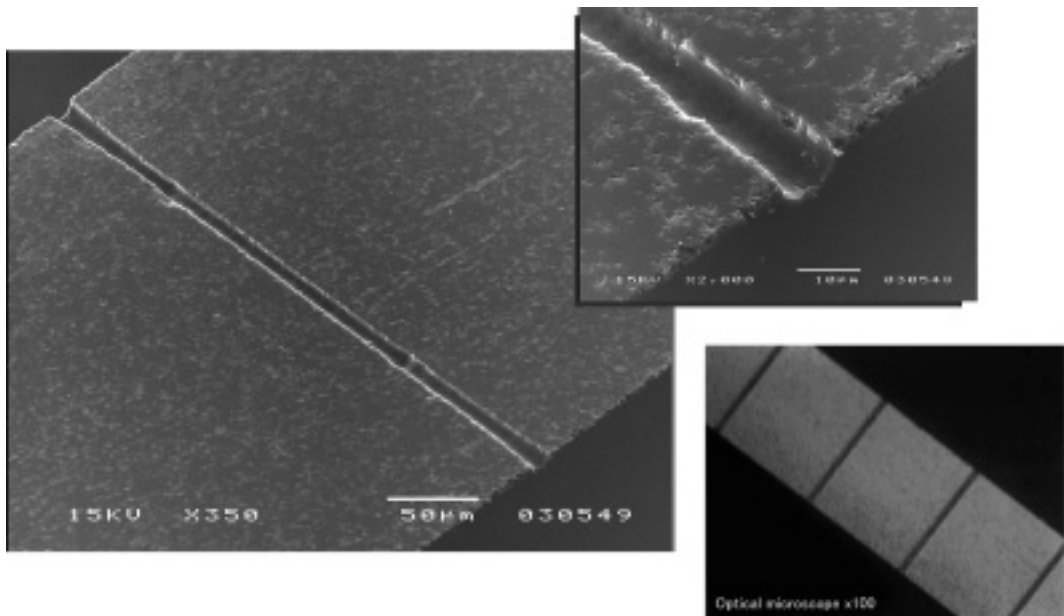


図4 極微小径貫通孔の加工例

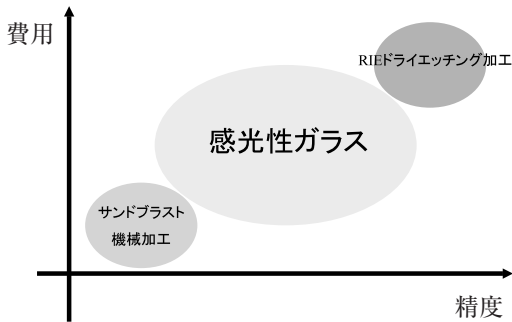


図5 ガラス材料としての感光性ガラスの位置

あるガラスに微細加工を比較的安価に施すことが可能な材料である。つまり、基材がガラスなのでガラス自体が有する平坦性、透明性あるいは耐薬品性といった特徴が、用途に応じて他の材料に対する優位性として論じられる。例を挙げると、無機材料であるガラスの耐熱性は有効な特徴であり、PEG 3では400℃、PEG 3Cであれば700℃あるいはそれ以上の温度であっても使用上問題ない。これらの温度はプラスチックなどでは実現困難なことは周知の通りである。また、その加工精度に目を向けると、サンドブラストやドリルなどの一般的な機械加工に比較して、より高精度かつ微細な加工が可能である。他方、より微細な加工が可能なRIEなどのドライプロセスに対してはより低コストで加工することができる。つまり、PEG 3ならびにPEG 3Cの製品ポジションは、材料の選択肢が限定されるものの図5の通り概念的にまとめることができる。

### 3 メタライズプロセス

弊社の既存事業にはガラス表面をメタライズする技術、さらには形成したメタル層に微細なパターンを形成する技術がある。これら保有技術をベースに、感光性ガラスの微細加工技術を足し合わせ、さらに形成した小径貫通孔（マイクロビア）に金属銅を充填する技術を新たに開発することによって、非常にユニークかつ高精度な両面配線基板を提供することが可能となった。

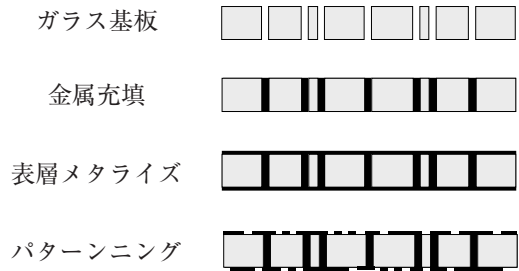


図6 銅充填基板の製造フロー

作製フローを図6に示す。配線基板は先ず微小径貫通孔を形成したガラスを用意し、この貫通孔に銅を充填する。次いで表裏をメタライズした後、配線パターンを形成して、所望の配線基板を得る。

銅充填したマイクロビアの断面写真を図7に示す。写真にあるビアは34μm、高さ450μmと非常に小径かつ13を超える高アスペクト比であるにもかかわらず、ビアの表面、内部、いずれの箇所にもボイドの存在は認められず、均一に銅が充填されている。このようにして作製される配線基板を構成する部材は、基本的にガラスと金属のみであり、換言すれば全て無機物

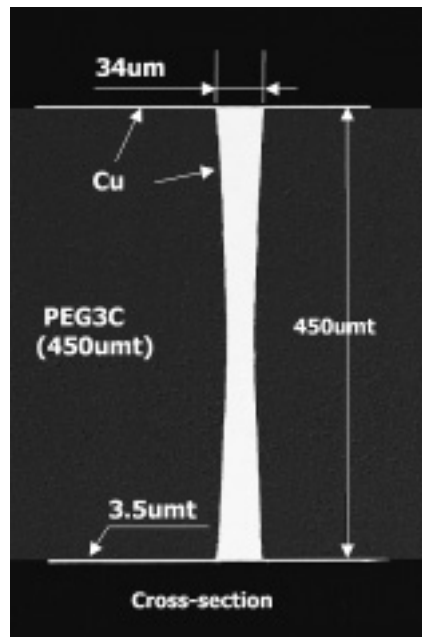


図7 銅充填ビアの断面写真 (SEM)

とすることが可能である。よって、優れた耐熱性を有しており、熱サイクル試験においても良好な結果が得られている。また、金属銅を隙間無く貫通孔に充填したマイクロビア構造は、優れた気密性を有しており、例えば水素ガスリーク試験でも良好な結果が得られている。

多様な工程をプロセス中あるいは前後に導入し、基板の凸凹や、表裏メタル層の構成を変更することが可能なため、顧客より提案される仕様に応じて様々な基板を製作することができる。

## 4 応用例

### 4-1 MEMS (Micro Electro Mechanical System)

近年、様々な製品が開発されている MEMS だが、その基板に PEG 3, PEG 3C の応用が進んでいる。各種センサーなどのメカニカル MEMS では、半導体プロセスを転用した Si を主要部品としたものが大半である。Si からなる主要部品の高精度化、高集積化は著しく進行しているにも関わらず、接続する配線基板の微細化は未だ十分とは言えず、これらを接続したパッケージは期待したほど小さくなっていない。こうした用途に対して PEG 3 配線基板の応用が期待されているが、Si という低熱膨張材料との接合は従来の陽極接合では困難であり、これとは別の方法が適宜選択されている。Si 以外にも化合物半導体を用いたデバイス、ガラス自体を主要部品にしたデバイスなど応用製品は多岐に渡る。

### 4-2 光デバイス

図 2 に示した分光透過率から解るように PEG 3 は可視域をはじめ広い波長域で良好な透光性を有している。こうした特徴を応用した新たな製品も考案されている。

そのひとつ、並木精密宝石株式が提案している『OPLEAF: Optical LEAd Frame』を例に説明する (図 8)。インターネットの情報量の拡大

に伴い、光通信分野においてはノード内処理を直接光 IC チップで行う試みがなされている。複数の光デバイスをひとつのパッケージに収めた光 IC を実現するために、光デバイスの高密度化が要求されている。ところが、通常の光ファイバアレイのピッチが  $250\mu\text{m}$  もあるため、光 IC の小型化が制約されている。そこで、考案された OPLEAF は、光ファイバの先端部のクラッド径を細くし、ファイバガイド機構を用いて配列・固定、ピッチ変換機能を持った光ファイバアレイで、ピッチが  $30\mu\text{m}$  と小さい (図 9)。この OPLEAF を用いることによって、光 IC チップのサイズが従来のもより約  $1/6$  と小さくすることができる。小さくなったことにより損失が小さくなり、また製品のコストダウンにもつながる<sup>6,7)</sup>。

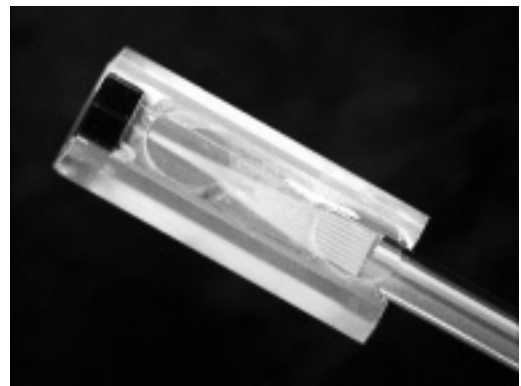


図 8 OPLEAF

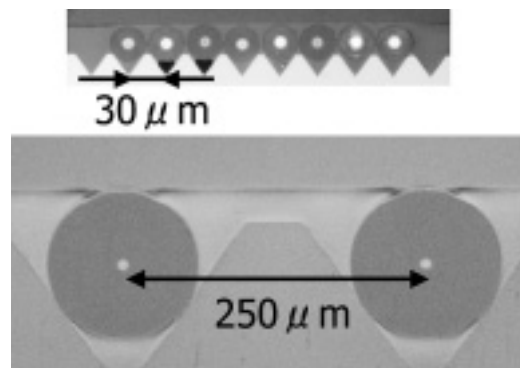


図 9 ファイバアレイのピッチの比較  
(上) OPLEAF, (下) 一般的なアレイ

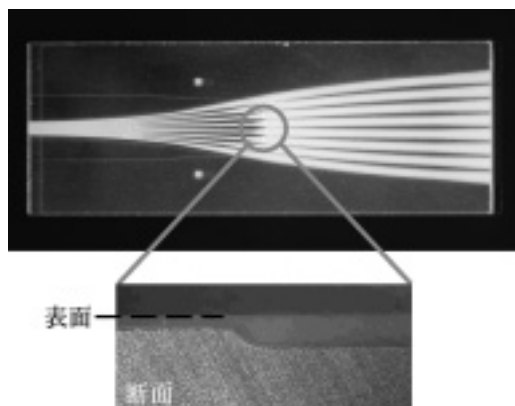


図10 (上) ファイバガイド【PEG 3】  
(下) 断面図

弊社ではこのファイバガイド機構部に PEG 3 を提供させていただいている。ファイバの径が途中で細くなるため、多段加工および溝幅縮小が必要となる。これらは露光、エッチングのプロセスを工夫することによって 3 次元加工が可能となる (図 10)。また、透明であることからファイバの固定に効果があると予想される。RIE で加工した Si ウェハとその精度は比肩しており、相対的に壊れにくく、安価に提供することができる。

#### 4-3 その他

日本では今後少子高齢化社会の進展が否めない。医療費増大の抑制のため、個人個人にあった薬の投与や、予防に重点をおいた検査の医療に移行していくと言われている<sup>8)</sup>。注目されている技術に、 $\mu$ -TAS (Total Analysis System) あるいは Lab On Chip (集積化実験室) と呼ばれるマイクロ化学チップがある。これはガラスやシリコン、プラスチック基板に流路を加工し、その上にバルブ、ポンプ、ミキサー、センサーなどが取り付けられ、混合・反応、分離、抽出、加熱といった多工程の操作を 1 枚に集積化したものである。流路中で生体高分子の解析や化学合成等を行う。小型化することによって、試薬量・廃液量の低減、測定や反応時間の大幅な短縮、省スペース化などが期待できる<sup>9)</sup>。

基板にガラスを使用することは、薬品と反応しない、透明だと反応が見やすいなど強みがあるが、形成が非常に困難であるという不利な点もある。感光性ガラスを用いることによって、流路の形成が簡単にでき安価にできるといったことが提案できる。

#### 5 おわりに

今回、弊社の PEG 3, PEG 3 C の微細加工技術と共に、それらを応用した製品を紹介させていただいた。製品の小型化の要求はさらに進むものと思われ、より精度を高めた部品も必要となるはずである。それらの要求に対応できるようなプロセスの開発や技術的改新に挑みながら、新たな分野へのチャレンジを模索し、顧客の要望にあったガラス製品を提供していきたいと考えている。

#### 謝辞

並木精密宝石(株)広井典良様、写真等データの提供や助言をいただき、御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) D. Stookey : Ind. Eng. Chem. 41 (1949) 856
- 2) [http://www.brokedownbarn.com/photosensitive\\_glass\\_info.htm](http://www.brokedownbarn.com/photosensitive_glass_info.htm)
- 3) 松浦孝：化学切削用感光性ガラス，実務表面技術，Vol. 35, No. 11, 1988
- 4) 橋本和明，小澤潤，本村欣也，伏江隆：銅充填ビアを有する高密度ガラス基板，エレクトロニクス実装技術，2005年3月号，pp 54-62
- 5) 橋本和明，小澤潤，伏江隆：感光性化学切削ガラスを用いた高密度配線基板の技術開発，エレクトロニクス実装技術，2002年10月号，pp 54-62
- 6) <http://venturewatch.jp/nedo/20061205.tn.html>
- 7) 菌部忠，広井典良他：高密度光 IC 用ファイバレイ OPLEAF, IEEJ Trans. SM, vol. 126 No. 6, pp 255-260, 2006
- 8) 池上尚克：MEMS の最新技術動向，沖テクニカルレビュー，196 vol. 70 No. 4, 2003
- 9) 北森武彦，田中有希：マイクロ化学バイオチップ入門，応用物理，74 vol. 5, pp 623-627, 2005