

ガラスモールド成形技術のバイオ・ナノデバイスへの応用

ガラスのモールド成形技術は非球面レンズの普及に大きく貢献し、高精度低コストの量産技術として、ガラス材料、金型材料、表面処理法及び成形装置、検査技術など多方面から技術開発が行なわれています。近年、この技術はナノ構造体の作製や、化学及びバイオ分野のチップタイプデバイス作製に応用を広げる展開となっております。その現状と動向についてご紹介します。

ガラス精密モールド成形の現状

ガラスの精密モールド成形は精度がサブミクロンの先端製造技術で、主に光学用レンズの生産に利用されています。プラスチックと比べ、ガラスは耐久性を始め非常に優れた特性を持ち、温湿度特性、表面強度、屈折率、複屈折率、色収差特性など、物理的性質から見てプラスチック製レンズでは代替できない分野に広く使用されています。大きいものでは自動車のヘッドライト用レンズがあり、耐熱性が厳しく要求されます。小さいものではカメラ付き携帯電話のレンズがあり、極限まで薄くしています。それらを品質良く、安価で大量生産するのがガラスの精密モールド成形法です。

この量産方法は1982年の米国イーストマンコダック社により、カメラに搭載する非球面レンズ製造から始まっています。それまでこのような複雑な光学部品は民生製品に利用できませんでした。現在のデジカメには一台あたり2~3枚の非球面レンズが使用されています。非球面レンズの製造プロセスは図1の通りです。

ここで使える素材ガラスの種類には制限があり、軟らかくなる温度は600℃以下が量産の目安です。モールドは超硬材やSiCのようなセラミックスを母材として使用し、研削加工と研磨で形成されます。そ

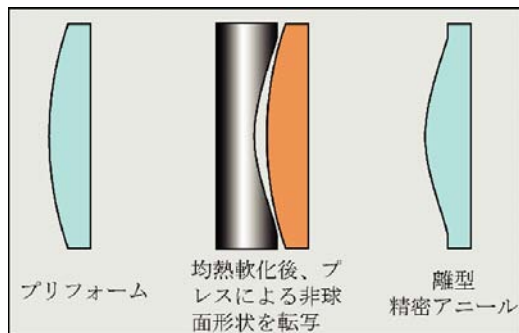


図2 ガラスレンズの製造工程

ガラスのプリフォームは研磨などで作り、重さで容積を管理し、洗浄したものを使用

の母材の上に密着層を挟んで、硬質炭化膜、貴金属合金膜または窒化膜などをつけて、成形面の離型膜としています。また製造工程は、成形する時の周囲の空気に酸素が入ってしまうと、金型の劣化やガラスと金型の融着が発生するため、成形雰囲気気を気密に保持し、窒素やアルゴンなどの非酸化雰囲気であることが必要です。

この分野の技術開発はプレス用ガラス素材、モールド前のプリフォームの製造方法、型と特に離型膜材料、成形装置と成形条件を主な対象として進められています。近年、応用分野拡大の動きが出ています。

ガラスの精密モールド成形技術の微細化と

新規市場の開拓

近年、ガラスのモールド成形分野では大学や公的研究機関の参入が注目を集めています。MEMS（日本ではマイクロマシンと呼ぶ）分野において、ガラス材料の微細加工が要求されています。ドライエッチや湿式エッチなど従来の半導体製造技術とは異なり安価で容易な製造手法が望まれており、多くの研究者がガラスのモールド成形手法を検討しています。

この中で、今までの光学レンズの製造と違うアプリケーションへも研究開発がなされています。バイオ・医療分野や、化学の分析・合成分野などで使用される微細な機械部品、センサー、流路を含むマイクロ・デバイス、電気泳動チップなどの製造に応用しようとの動きが出てきています。

◆マイクロとナノ構造体のモールド成形

現在の型（モールド）加工技術は研削が中心となり、微細化には限界があります。加工ツールの直径が細くなると、強度の問題や磨耗の問題、特にトルクを出せないのがネックになります。マイクロとナノの構造体の型製造にはダイヤモンド砥石に替わり、集束イオンビーム加工機（FIB）が用いられています。FIBは液体ガリウムをイオン化し、高電圧加速で成型型材料に照射することにより加工します。ガリウムイオンが成型型材料の表面に高速で衝突し、型材料の原子をスパッタ（はじき出す）現象を利用しています。信州大学杉本教授のグループはこの方法でマイクロレンズアレイ構造を有するガラス状カーボン（GC）製金型の試作に成功しています。加工表面粗さはRa=1.0 nmと極めて良好で、この型を用いガラス製マイクロレンズアレイのプレス成形を確認しています（図2）。また、独立行政法人産業技術総合研究所の高橋グループはFIB加工したGCの型を用いて、1350℃で石英へのナノパターン転写に成功しました。

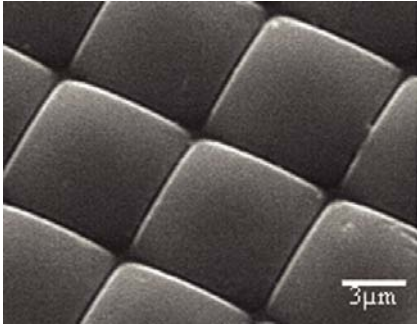


写真1 成形したガラス製マイクロレンズアレイのSEM写真
ピクセルのピッチ7.3 μm、レンズ間距離0.3μm、
曲率半径12.75μm、最深部深さ1μm

◆DNAなど電気泳動チップの製造への応用

電気泳動チップはDNAなど生体物質の研究広く使われています。並列かつ自動化処理ができ、必要な試料も微量で済み、高い再現性を持つのが特徴です。そのチップの製造は現在、マイクロチャンネルパターンをマスク上に描画し、そのパターンをフォトリソグラフィにより目的のガラス基板に転写した後、フッ化水素酸によりそのガラスを湿式エッチングすることで製造されています。この電気泳動チップはICと違って、集積度が低くチップサイズが格段に大きいので、フォトリソグラフィ法では製造コストが下げられません。産業技術研究センターでは、ガラスの精密モールド成形方法を用いて、電気泳動チップのマイクロ流路の作製に成功しました。ガラスは電気泳動の蛍光検出のバックグラウンドを抑えるために、低蛍光ガラスを使用しています。金型はGCを用い、加工方法はFIBではなく、レーザー加工により作製しています。マイクロ流路の場合、型材料のほとんどの部分を削る必要があり、FIBでは加工時間が長すぎて適していません。ガラス電気泳動チップのモールド成形方法を図3に示しています。

まとめ

マイクロ・ナノ加工の試みとバイオチップへの応用の事例を紹介しました。既存のガラスレンズのために開発した精密モールド成形技術を利用しつつ、独自の課題に挑戦して、技術の応用範囲を広げようと模索の段階です。ガラス素材、型の材料と成形条件は光学レンズの製造と異なっています。

GCを最初にガラス成形用の金型に導入したのは同じ米国イーストマンコダック社の研究者です。1973年の特許(US patent 3833347)はすでに切れていますが、光学レンズの生産には使用されていないようです。GCの脆い性質と低い熱伝導率は生産においてネックになると考えられます。研究用としては、GCは高温特性とガラスとの優れた離型性、豊富な加工手段があり、非常に理想的な材料です。耐久性についても、図3の流路のGC金型の使用はすでに100ショットを超えています。特に異状がありません。成形条件については、光学レンズの成形は窒素など非酸化雰囲気で行っていますが、微細構造の成形は真空が必要です。大気圧では微細構造のため閉じ込みガスによる転写不良がよく発生します。レンズの場合、平滑な曲面を形成できるので、ガスの閉じ込みがなく効率よく生産できます。

産業技術研究センターでは平成11年にクリーンルームを稼動し、マイクロマシンの研究開発や技術相談を行っています。シリコンとガラス基板に標準的なMEMS加工、PDMSなどの樹脂類プロトタイプを試作、ガラスへの微細流路の成形加工、関連する実装や評価の相談がありましたらご連絡ください。

研究開発部エレクトロニクスグループ〈西が丘本部〉

楊 振 TEL(03)3909-2151 内線448

E-mail:ZHEN.YANG@iri-tokyo.jp

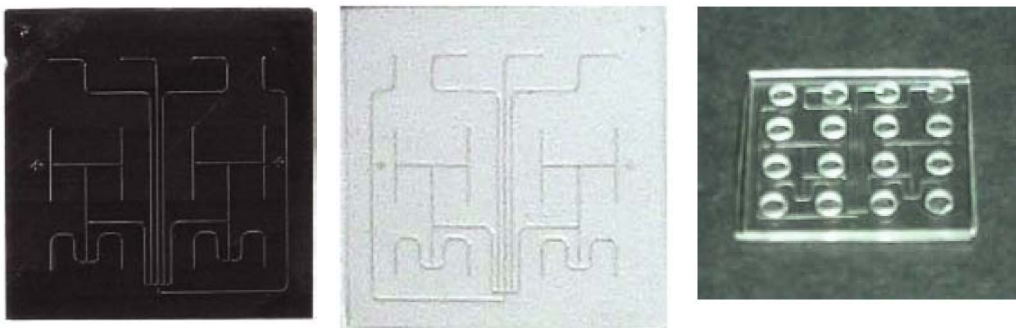


写真2 .流路用モールド、転写したガラス基板と電気泳動チップ試作品
(左)レーザー加工したGC金型(20mmx20mmx0.5mm)。全面的に削られ(粗さRa:0.3 μm)、流路の部分だけ残る構造。流路幅35μm、高さ60μm。最小ピッチ400μm。(中)低蛍光ガラスに流路溝の転写。
(右)超音波加工で穴を明けたトップガラスと熱溶着して密閉チャンネルを作り、デバイスを完成。