

やさしいニューガラス講座 ガラスモールド技術(1)

HOYA(株)

広田 慎一郎

HOYAプレシジョン(株)

宇野 賢

Precision Molding Technology of Glass Optical Elements

Shinichiro Hirota,

Hoya Corporation

Ken Uno

Hoya Precision Inc.

Abstract

Glass aspheric lenses manufactured by using precision molding technology have been widely used for lenses of cam-corder and camera, pickup lenses and collimeter lenses of laser system, and coupling lenses of optical fiber communication. Elemental techniques of the precision molding are reviewed and possible applications based on this technology are introduced.

1. はじめに

ガラスモールド技術は、精密に加工した成形型を用いて、軟化ガラスを精密に加圧成形し、高精度の光学素子を得る技術である^{1)・2)}。この技術が初めて開発されてから10数年になる。非球面レンズは、ガラスの研削、研磨法では加工に高度な技術と長時間を要するため、量産が困難であったが、この技術によって大量生産が可能となり、レンズ系にガラス非球面レンズが多用される時代になった。多数の球面レンズの組み合わせで収差を除去していたレンズ系に非球面レンズを導入するとレンズ枚数が減らせるので、レンズ系の小型化、軽量化には特に大きな貢献をしている。今や、ガラスモールド技術はズーム撮影レンズ、光ピックアップレンズ、コーリメーターレンズ等の分野では不可欠なもの

となっている。

2. ガラスモールド技術の要素技術

ガラス非球面レンズの精密モールド技術は次のような要素技術の複合技術である。

- ①新しい型材料
- ②超精密型加工
- ③成形に適したガラス
- ④プリフォーム作製
- ⑤精密成形（型構造、プレス機、プレス条件）
- ⑥非球面形状の測定、評価
- ⑦非球面を含む光学設計

これらの要素技術に関しては特許出願がかなりある。①、④、⑤およびこの技術による成形品について、公告特許件数の多い主要4社の公告特許（含、実用新案）を分類した結果を表1に示す（抽出漏れについてはご容赦願いたい）。

〒196 東京都昭島市武蔵野3-3-1

TEL 0425-46-2724

Table 1. The number of Japanese patent publications relating to precision molding technology of glass filed by main four companies (~1995).

	松下電器	キャノン	リソグ	HOYA	合計
型材料	38	17	13	15	83
プリフォーム	13	8	2	8	31
成形方法、成形条件	13	5	9	7	34
型構造、型の保持機構	7	10	13	11	41
装置的なもの、その他	12	13	26	14	65
熔融から直接精密成形	5	14	1	1	21
レンズ	3	1	0	1	5
ユニークな製品	10	1	2	1	14
合計	101	69	66	58	294

(1) 成形法

ガラスの精密成形が可能になったのは、軟化ガラスが融着しない型材料が開発された点が大い。従来のレンズブランクスの成形法では熔融状態にある光学ガラスを、ガラスの転移点より50℃以上低温の金型でプレスする。この方法では型へのガラスの融着は防止されるが、ヒケやチルマークが生じ、形状精度は得られない。

ガラスモールド成形法では、特殊な型材料を用い、非酸化性雰囲気中で、ガラスと型をガラス軟化点近傍まで昇温し、ガラスと型がほぼ等しい温度で型によりガラスを加圧し、そして加圧を維持しながら型温度をガラス転移点以下まで冷却する³⁾。ここに、ガラス軟化点のガラス粘度は $10^{7.5}$ ポアズ、ガラス転移点は約 $10^{13.4}$ ポアズである。一方、やや高粘性の $10^9 \sim 10^{12}$ ポアズで等温プレスし、 $10^{11} \sim 10^{13}$ ポアズで型から取り出す例もある⁴⁾。

これらは、ガラスと型を等温にしてプレスするので等温プレス法と呼ばれ、高い形状精度、すなわち型表面の精密な転写が得やすい方法である。しかしながら、この方法では加熱、冷却に長時間を要するため生産スピードが遅い。そこで多数の型を用いたプレス機にする^{5), 6)}などの実用的な改良が加えられている。また、非球面型は高価であるため、型当たりの生産スピードの向上と型の長寿命化のために、従来のレンズブランクスの成形条件に少し近づけた非等温プレス法も検討されている^{7), 8)}。

ガラスモールド成形法では、ガラスプリフォーム（モールド成形用に予備成形したガラス素材）をあらかじめ準備し、これを加熱軟化してプレス成形するのが一般的であるが、ガラス熔融炉から流出したガラスを直接精密成形することも究極の姿として検討されている^{9), 10)}。

(2) ガラスの種類とプリフォーム

実験室レベルでは大部分の光学ガラスが成形可能であるが、高軟化点のガラスでは、成形温度が高いことおよび型とのわずかな反応性のために型のライフが短い。型材料の選択のしやすさおよび型の長寿命化の観点から、比較的低温（600℃前後以下）でプレス成形が可能なガラス材料がモールド成形用に開発されている。一般に、低軟化点ガラスにすると化学的耐久性が悪くなる、熱膨張係数が大きくなるため成形時に割れやすい等の問題があるため、それらを考慮しつつガラス組成が選ばれている。また、安価にプリフォームが作れることや、環境汚染物質（PbO、As₂O₃）を含まないことなどもガラス組成開発の条件となっている。

ガラスプリフォームは、次の条件を満たす必要がある。

- ①少なくともプレス直前においては、十分に平滑でクリーンな表面であること。
- ②適切な幾何学的形状であること。
- ③所望の容量であること。

このようなプリフォームとして、球や円板、あ

るいは球面の形状が選ばれ、冷間で研磨したものの、あるいは熱間成形したものが用いられる。HOYAでは表面欠陥のない熱間成形プリフォームの製造が可能で、図1のガラスを推奨硝種にしている。熱間成形プリフォームの例を図2に示す。

(3) 型材料と型加工

型材料に要求される特性としては、①気孔等がなく、平滑な光学鏡面に研磨できること、②高温での耐酸化性が高く、また構造等の変化がなく、表面品質が維持されること、③ガラスが融着せず、また反応せず、離型性がよいこと、④高温での硬度、強度が高いこと、等がある。

このような型材料に関して、非常に多くの特許出願がある。代表的なものとしては、超硬合金を基盤とし貴金属合金¹¹⁾や窒化チタン¹²⁾などの表面薄膜を設けたもの、炭化ケイ素や超硬合金を基盤とし硬質炭素¹³⁾やダイヤモンド

状炭素¹⁴⁾などの炭素系表面薄膜を設けたもの、 $Cr_2O_3-ZrO_2-TiO_2$ 系セラミックス¹⁵⁾などが知られている¹⁶⁾。

これらの型材料を精密に加工するための型加工には、高剛性で、 $0.01\mu m$ 以下の高分解能の超精密CNC非球面加工機を用いる。ガラスレンズ成形用の型材料は、一般にこのような硬脆材料であるため、ダイヤモンド砥石による研削加工で所望の形状精度を得る。そしてその後、わずかに研磨することにより光学面に仕上げる。高精度の非球面加工を行うには、非球面形状の測定、評価技術も重要である。

3. ガラスモールド技術の新しい応用

ガラスモールド技術による非球面レンズは、既に一般的なものとなり、ビデオカメラ、コンパクトカメラ、一眼レフカメラなどの撮影系レンズや車載用CD、各種光ディスクシステムのピックアップレンズ、レーザービームプリンターのコリメーターレンズ、光通信用の結合レンズなどとして広く使用されている。非球面レンズとしてはガラスモールドの他に、プラスチックレンズ、レプリカ法による複合型非球面レンズ、および少量のガラスの研削、研磨法によるものがあるが、それぞれの特長を生かして使い分けられている。

ここでは、ガラスモールドの精密転写技術を生かした新しい応用の可能性をいくつか紹介する。

(1) ホログラム一体型非球面レンズ

マルチメディア時代の中核をなす映像・情報記録媒体として注目を集めているDVD（デジタルビデオディスク）が今年急速に商品化される。いずれ月産10百万台になると予想されている。ディスク厚の異なるDVDとCDの両方を再生するためにピックアップレンズの仕組みをどのようにするかが種々検討されているが、松下電器は非球面レンズにホログラムを形成した2焦点対物レンズをガラスモールド法で開発し

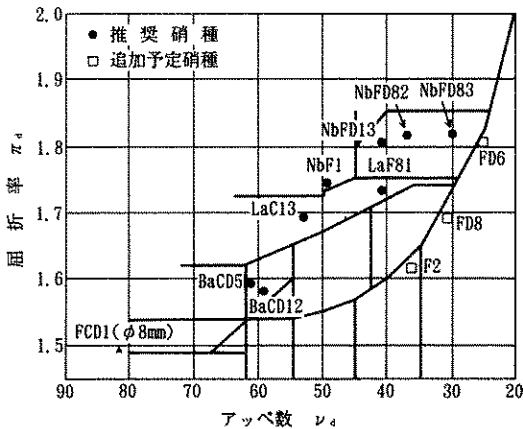


Fig.1. Optical glasses used for precision molding, shown in a Hoya's catalogue. ("M-" is prefixed to the glass types except for FCD1.)

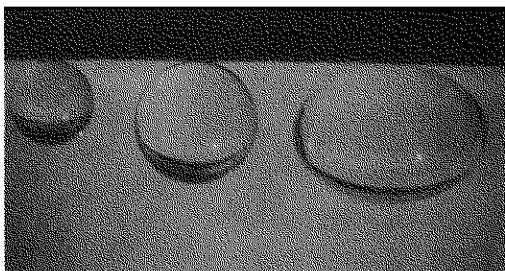


Fig.2. Preforms formed at a high temperature.

た(図3)¹⁷⁾。超硬合金母材上にNi-Cu-P合金膜を形成して、ダイヤモンドバイトでホログラム形状に切削加工し、表面に貴金属合金膜を被覆して型とし、低軟化点のガラスをプレス成形していると言われる。のこぎり歯状のホログラムの段差は $1\mu\text{m}$ 以下である。

(2) ホログラム光学素子およびマイクロレンズアレイ

ガラス製の平板のホログラム光学素子は、通常、フォトマスクを用いた密着露光法により、ガラス基板の上に塗布したレジストにパターンを転写し、反応性イオンエッチング法でエッチングすることにより作製される¹⁸⁾。この方法を応用して成型型を作り、ガラスをプレス成形することにより、モールド法で微細パターン製品を再現性よく、高い性能で作ることができる。図4に一例を示す。この例では溝幅 $1.3\mu\text{m}$ 、溝深さ $0.25\mu\text{m}$ である。

一方、マイクロレンズアレイもガラスモールド法で作ることができる。個々のレンズ径が $100\mu\text{m}$ のマイクロレンズアレイを成形した例を図5に示す。

これらの平板微細パターン製品に対して、ガラスモールドの精密転写技術が注目され、次第に応用されていくものと思われる。

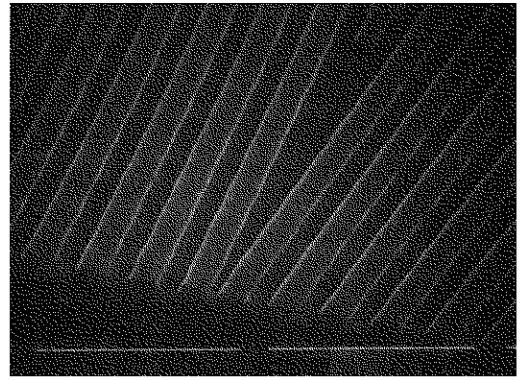


Fig. 4. Holographic optical element.

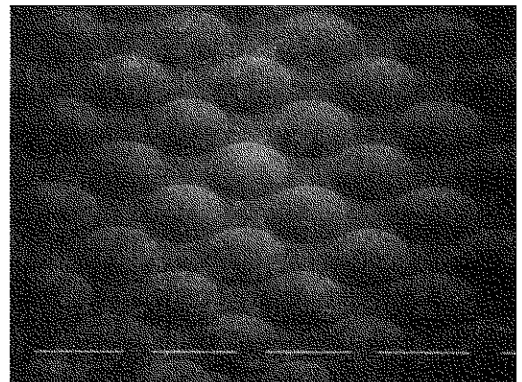


Fig. 5. Microlens array.

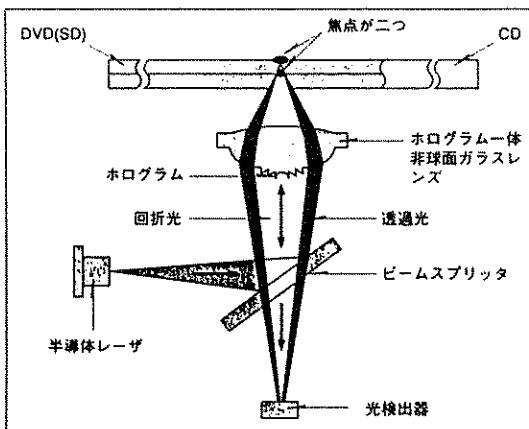


Fig. 3. Principle of hologram integrated dual focus optical pickup¹⁷⁾.

(3) 光ファイバーアレイ

光通信においては、ファイバーの高精度な光接続のためにファイバーアレイが種々検討されている。例えば、分岐路モジュールとして導波路と複数のシングルモードファイバーを接続する場合、 $\pm 1\mu\text{m}$ 以下の位置精度が要求される。このためのファイバーガイドブロックはセラミックスやガラスを加工して作られているが¹⁹⁾、機械加工による方法ではコスト高になってしまう。著者らは、ガラスモールド法でV溝ガイドブロックが精度よく、安価に量産できる可能性のあることを見いだした。図6にV溝部の写真を示し、図7に位置精度の測定結果を示す。8本のV溝の位置精度は仕様を十分に満足している。

今後光ファイバー通信の発展とともに大いに使用されることが期待される。

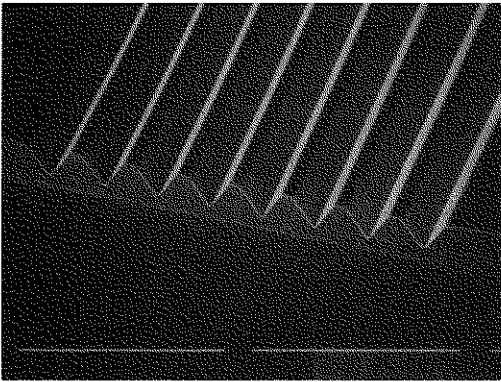


Fig. 6. Fiber-guide block.

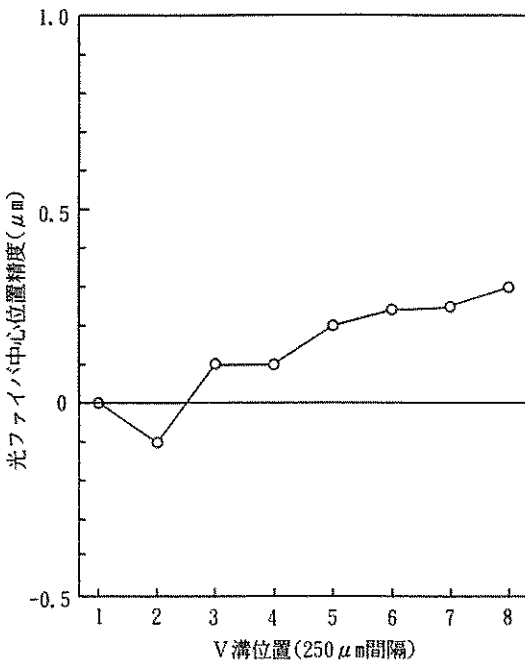


Fig. 7. Measurement of position accuracy of V-grooves.

4. おわりに

ガラスモールド技術は今世紀に現れた画期的なレンズの製造方法であり、これにより非球面レンズの大量生産が可能となった。今後、この技術は非球面レンズの製造にとどまることなく、精密転写性の特長を生かして種々の製品に応用されていくと思われる。また、低コスト化技術が進歩することにより、ガラス非球面レンズも更に大きく普及していくであろう。

参考文献

- 1) S.Hirota: Proceedings of The Fourth International Symposium on New Glass, 47-56 (1993).
- 2) 広田慎一郎: 光技術コンタクト、32、104-114 (1994) .
- 3) M.A.Angle, G.E.Blair and C.C.Maier: U.S.Patent No.3,833,347 (1974).
- 4) J.P.Marechal and R.O.Maschmeyer: U.S.Patent No.4,481,023 (1984).
- 5) 松坂健三、吉村文孝、岡野誓太郎: 特開昭59-152229 (1984) .
- 6) 広田慎一郎、泉谷徹郎、菅原紀士男: 特開昭61-26528 (1986) .
- 7) 泉谷徹郎、北山皓、小川博司: 特開昭47-27216 (1972) .
- 8) 松井麗樹、袴塚康治: 特開昭61-251529 (1986) .
- 9) 執行勇: 特開昭62-216928 (1987) .
- 10) 文字秀人、栗林清、梅谷誠、川田紀行: 特開平2-258640 (1990) .
- 11) 文字秀人、青木正樹、鳥井秀雄、沖中秀行: 特開昭60-246230 (1985) .
- 12) 佐々木眞、泉谷徹郎: 特開昭60-118638 (1985) .
- 13) 楠美康夫、宇野賢、藤野拓男: 特開平1-83529 (1989) .
- 14) 栗林清、青木正樹、沖中秀行: 特開昭61-183134 (1986) .
- 15) 小林正樹、大下知之: 特開平2-26841 (1990).
- 16) 大下知之: 光技術コンタクト、33、410-413 (1995) .
- 17) 春原正明、梅谷誠、清水義之、白藤芳則: 日経メカニカル、No.458、40-48 (1995.7.10) .
- 18) 倉田幸夫ら: シャープ技報、42、45-51(1989).
- 19) 太田隆、福山暢嗣: 特開平5-333225 (1993) .