

プレス成形による光学ガラスレンズの作製

松下電器産業(株) AVC社 AVC商品開発研究所

梅谷 誠

Manufacturing of Optical Glass Lens by Press-Molding Method

Makoto Umetani

AVC Products Development Laboratory, AVC Company, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

1. はじめに

ガラスは高強度で耐熱性、耐湿性などの耐環境性に優れた材料である。また、ガラスは屈折率や分散の光学定数が非常にバラエティに富んでいるので、光学レンズを初め、多種多様な光学デバイスに用いられている。最近では、光学機器の高性能化及び小型軽量化のため、高NA非球面レンズや回折素子一体型レンズなどの特殊な形状の光学レンズの開発が進められている。

前述のように、ガラスは高強度であるので、直接、機械加工などにより精密加工を施すことは非常に困難である。そこで、我々は多様な形状の光学レンズを容易に作製する技術として、ガラスの精密プレス成形技術に着目し、開発を進めてきた。

ガラスの精密プレス成形を行うためには、

- 繰り返しの成形に耐える特殊な

金型材料技術

- 高精度に各種形状を創成する

金型加工技術

- 金型形状を正確に転写する

精密プレス成形技術

- 高精度に各種形状を計測する

計測評価技術

- 各種光学デバイスを性能向上する

光学設計技術

が必要である。我々はこれらの各要素技術を開発し、ビデオカメラ用非球面ガラスレンズや光ピックアップ用非球面ガラスレンズなどの各種光学レンズの精密プレス成形を実施している。本報では、プレス成形による非球面ガラスレンズの作製技術について述べ、さらに、最近の応用例として、非球面レンズとホログラム素子を一体化した特殊な形状のDVD/CD兼用の2焦点ガラスレンズの成形技術¹⁾について紹介する。

2. 精密プレス成形

Fig. 1に精密プレス成形工法の基本プロセスを示した。まず、成形するためのガラス素材を上下型と胴型からなる成形用金型に供給し(ガラス素材供給工程)、金型と共にガラスが変形可能な温度まで加熱し(加熱工程)、そして、充分ガラスが加熱されたら、圧力を加えて変形を開始し、上下型面にガラスを完全に密着させ、金型形状をガラス面に転写させる(成形工程)。その後、金型全体を最適化された条件下で冷却し(冷却工程)、金型から成形されたガラ

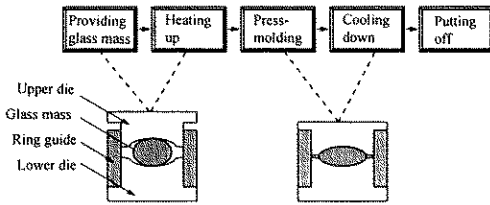


Fig. 1 Press-molding process of optical glass lens.

スレンズを取り出して（取り出し工程）、成形プロセスが完了する。この時、用いるガラスはできるだけ低温で成形できるものが望ましい。また、熱により揮発する成分を多量に含むガラスは成形には適さない。さらに、金型や成形機の酸化防止のため N_2 などの不活性ガス雰囲気中で成形するため、還元されにくいガラスを選択する必要がある。

本成形工法は、ガラス瓶の成形のように熔融ガラスを型に受けて成形するような、低粘度のガラスを成形するのではなく、ガラスが変形可能な温度まで金型と共に加熱し成形するので、ガラスは高粘度の状態に変形させることになる。従って、ガラスの収縮を押さえた成形が可能であり、金型形状を精密に転写することが可能となる。

3. 非球面ガラスレンズの成形

高精度な光学系を球面レンズのみで構成した場合、球面レンズの持つ色収差などの収差を取り除くために複数枚の球面レンズの組み合わせが必要であるが、非球面レンズを用いるとレンズ枚数を削減することができる。ところが、非球面レンズの直接研削、研磨による加工は非常に困難である。そこで、我々は精密プレス成形による非球面ガラスレンズの作製を試みた。

前述のようにガラスの成形では、ガラスを高温で加熱軟化させ、さらに高温状態で圧力を加えるため、特殊な金型材料を開発しなければ、ガラスを繰り返し成形することはできない。金型に必要な条件は以下に示した通りである。

1) 高耐熱性

- 2) 高強度
- 3) 高耐酸化性
- 4) 易加工性
- 5) 高耐ガラス反応性
- 6) 低コスト

このほかにも、熱膨張や熱伝導の性質が成形したレンズ形状に大きな影響を及ぼすので、これらの熱的性質についても考慮する必要がある。

単体材料で金型に使用可能なものは、セラミックスと貴金属材料が考えられる。しかしながら、Table 1 に示したように、一般的にセラミックスでは耐熱性、強度及び耐酸化性に優れているが、加工性及び耐ガラス反応性が劣る。また、貴金属材料は耐酸化性及び耐ガラス反応性に優れているが、耐熱性及び強度が劣り、さらに非常に高価なため実用的でない。

そこで、我々は金型母材と保護膜からなる複合材料について検討を行った。母材には、耐熱性、強度及び加工性が優れたものが必要だが、耐酸化性及び耐ガラス反応性は必要ない。また、保護膜には、耐熱性、強度、耐酸化性及び耐ガラス反応性が求められるが加工性は必要ない。これらの観点から母材と保護膜の種々の材料を検討した結果、Table 2 に示したように、母材として超硬合金を用い、保護膜として貴金属合金薄膜を形成したものが、金型として適していることがわかった。

特に、保護膜は直接ガラスと接触するので、事実上、金型の寿命は保護膜の膜質によって決定される。以下、保護膜の特性について検討し

Table. 1 Characteristics of mono-material for press-molding die.

Characteristics	Ceramics	Noble metal
1) Heat resistance	◎	×
2) Strength	◎	×
3) Oxidation resistance	◎	◎
4) Machinability	×	◎
5) Inertness to glass	×	○
6) Cost	○	×

◎ very good
○ good
× no good

Table. 2 Characteristics of base material and protective film for press-molding die.

Characteristics	Base material (Cemented carbide)	Protective film (Noble metal alloy)
1)Heat resistance	○	◎
2)Strength	○	◎
3)Oxidation resistance	○	◎
4)Machinability	○	◎
5)Inertness to glass	○	◎
6)Cost	○	○

◎ very good
○ good

た一例を示す²⁾。

Pt は耐酸化性及び耐ガラス反応性に優れているが、耐熱性及び強度に劣る。しかしながら、Pt に Rh あるいは Ir を添加すると、耐熱性及び強度は著しく改善される。Fig. 2 にはスパッタリング法により形成した、Pt-Rh あるいは Pt-Ir 合金薄膜の Rh あるいは Ir の含有率によるビッカース硬度の変化を示した。いずれも Rh あるいは Ir の含有率の増加に伴い、硬度は直線的に大きくなるのがわかる。

また、Fig. 3 には、これらの膜を 600°C で 1 時間熱処理を行った前後での表面粗さの変化を示した。いずれも、Rh あるいは Ir の含有率の増加に伴い、耐熱性は向上し、特に、Ir の含

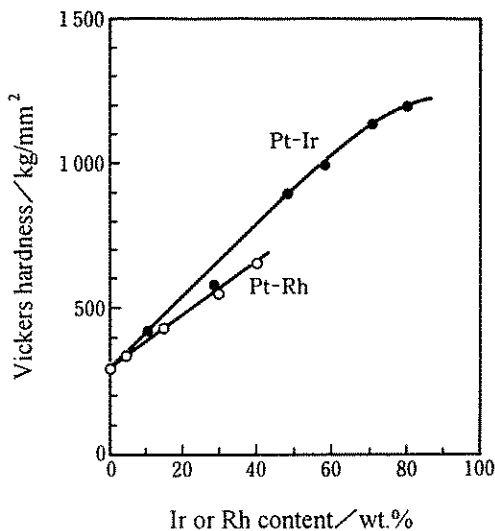


Fig. 2 Effect of Ir or Rh content on hardness of Pt-Ir or Pt-Rh alloy sputtering films.

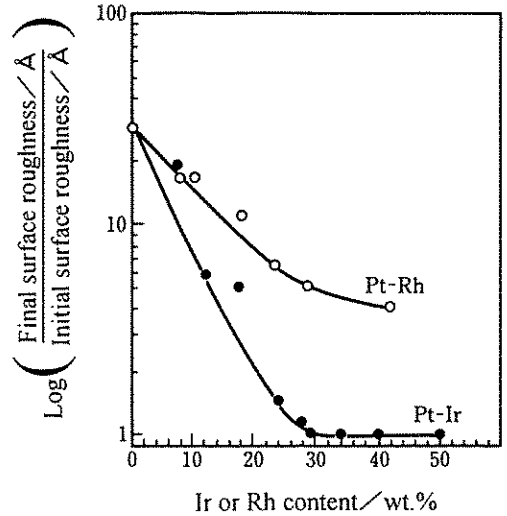


Fig. 3 Effect of Ir or Rh content on heat resistance of Pt-Ir or Pt-Rh alloy sputtering films.

有率が 30 wt.% を越える Pt-Ir 合金薄膜では、熱処理前後で全く表面粗さに変化がないことがわかる。

以上の検討結果より、非球面レンズの成形用金型は、Fig. 4 に示したダイヤモンド砥石を用いた研削加工法により、超合金母材を非球面形状に加工した後、表面に保護膜として、貴金属合金薄膜を成膜して作製した。金型の形状測定結果の一例を Fig. 5 に示した。Fig. 5 は曲率半径約 14 mm、レンズ直径約 5 mm の非球面レンズ成形用金型である。金型の形状精度は 0.1 μm 以下で、非常に高精度な金型が実現できていることがわかる。

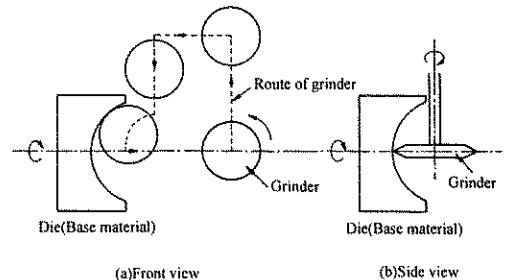


Fig. 4 Machining process of press-molding die for aspherical glass lens.

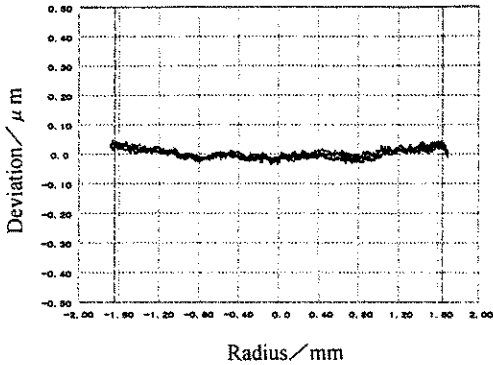


Fig. 5 Measured figure of press-molding die for aspherical glass lens.

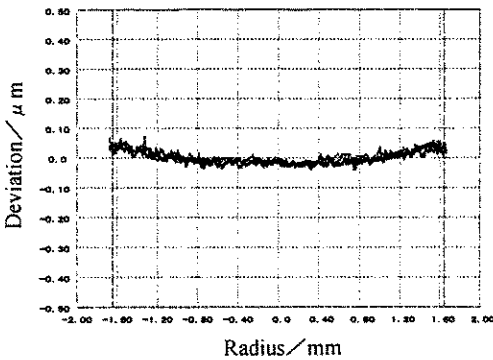


Fig. 6 Measured figure of press-molded aspherical glass lens.

この金型を用いて、前述の成形工法により成形を繰り返し行ったが、金型に変化は認められず、Fig. 6 に示したように形状精度 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の非球面レンズが成形されていることがわかった。以上のように、本精密プレス成形では、形状精度 $0.1 \mu\text{m}$ 以下で、繰り返し安定した非球面ガラスレンズの成形が実現していることがわかる。

4. 2焦点ガラスレンズの成形

DVD (デジタル・ビデオ・ディスク) は、記録密度を上げるために波長 650 nm の半導体レーザと NA 0.60 の対物レンズを採用し、CD サイズのディスクの片面の記録容量を 4.7

G バイトまで大容量化し、2 時間以上の動画を収録する事ができる。

現在、光ディスク市場には CD や CD-ROM が出回っている。DVD と、これらの既存ソフト資産との互換性は不可欠であるが、NA 0.6 の対物レンズを採用している DVD では、ディスク傾きによる収差を抑制するため、ディスク厚みを CD の半分としているので、単焦点レンズを用いた DVD 用光ピックアップによる CD の再生は、球面収差が発生し、困難となる。

我々は、前述のガラスのプレス成形技術を用いて、新たに対物レンズにホログラムを一体化した、2ヶ所に焦点を結ぶ 2 焦点対物レンズを開発し、1つのピックアップで基板厚みの異なる DVD と CD の再生を可能とした。

2 焦点レンズの断面形状は、Fig. 7 に示したように、ベースとなる非球面形状 (点線) にホログラムのレリーフ形状^{3),4)}を重ね合わせた形となっており、レリーフの輪帯数は 27 で、ピッチは周辺部ほど狭くなり、中心の輪帯半径は $290 \mu\text{m}$ 、最外周では $28.5 \mu\text{m}$ となっており、レリーフの深さは約 $600 \text{ nm} \sim 700 \text{ nm}$ となっている。レンズの外径は直径 5 mm となっている。

2 焦点ガラスレンズの成形に用いる金型は、

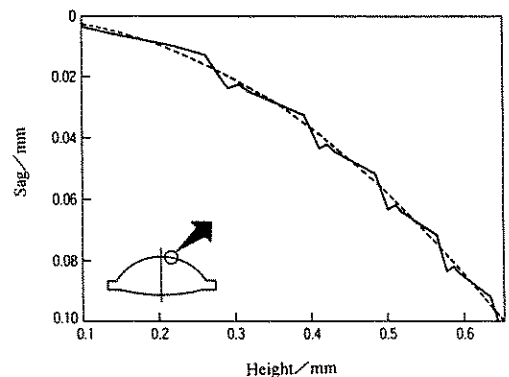


Fig. 7 Enlarged cross-sectional view of relief profile.

Solid curve: Designed relief profile.

Dashed curve: Base aspherical surface profile.

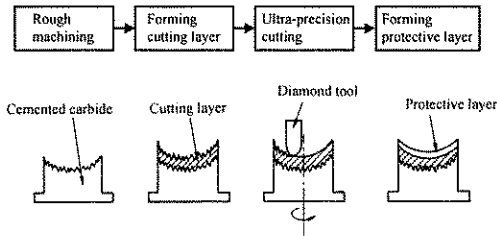


Fig. 8 Manufacturing process of press-molding die for dual-focus glass lens.

非常に微細なレリーフ形状を有しているので、前述の非球面レンズの成形に用いる金型のように、研削加工法を用いて金型を加工することは極めて困難である。そこで、微小なレリーフ形状の加工法としては先端Rの非常に小さなダイヤモンドバイトを用いた切削加工が必要となる。ところが、母材に用いる超合金は高強度であり、直接ダイヤモンドバイトで切削加工すると、バイトがチッピングを起こし、加工できなくなる。また、貴金属合金保護膜を直接切削加工してもダイヤモンドバイトが摩耗する。そこで、Fig. 8 に示した方法によって、切削加工が可能で、ガラスの成形に充分耐える金型を新たに開発した。

金型強度を保持するために、母材には超合金を用い、超合金母材上に切削層を形成し、切削層のみをダイヤモンドバイトを用いて2焦点ガラスレンズ形状に加工した後、表面に貴金属合金保護層を形成するものである。切削層には新たに開発したNi-Cu-P合金スパッタ膜を用いた⁵⁾。切削層の耐熱性及び高温強度は、使用するガラスの成形温度で、成形時の圧力以上の高圧をかけて確認した。金型に変形はなく、本金型は切削加工が可能で繰り返しのガラス成形にも充分耐えることがわかった。

そこで、この金型材料を切削加工法により、ホログラム一体型2焦点ガラスレンズの形状に加工して成形用金型を作製し、ガラスの精密プレス成形により、2焦点ガラスレンズを成形した。

2焦点レンズ形状の測定には分解能 $0.01 \mu\text{m}$

の超高精度3次元測定機を用いた。測定用プローブには、先端R径 0.5 mm のルビー球と先端R径 $1.3 \mu\text{m}$ のダイヤモンド球を用いている。この測定方法では、測定ポイントによりプローブの接触するポイントが変化するので、位置補正が必要となる。また、プローブ先端の球の真球度の誤差は、あらかじめ測定した既知の球面形状を測定して補正する。

2焦点レンズの成形金型の形状を測定した結果をFig. 9に示す。測定した形状は、非球面形状にホログラムが重なった形で表され、各金型の面の部分において、ベースとなる非球面からの偏差量が表示されている。すなわち、ベース非球面が設計通りできていれば、ホログラムの分だけ偏差量が表示される。この測定データより、ホログラム形状を分離し、非球面形状のみを取り出すことにより、ベースとなる非球面形状の評価ができる。Fig. 9から明らかなように、本金型は非常に高精度に加工され、ほぼ設計値を満足していることがわかる。

また、ホログラムの微小な段差形状の測定には、光学式非接触計測機を用い、部分的に各段差を取り出し、微小部分の形状を測定した。代表例として、金型及び成形した2焦点レンズの24輪帯目の段差測定結果をFig. 10に示す。ホログラムのレリーフ形状が、非常に高精度に金型に刻まれ、成形によりガラスレンズにその形状が正確に転写されていることがわか

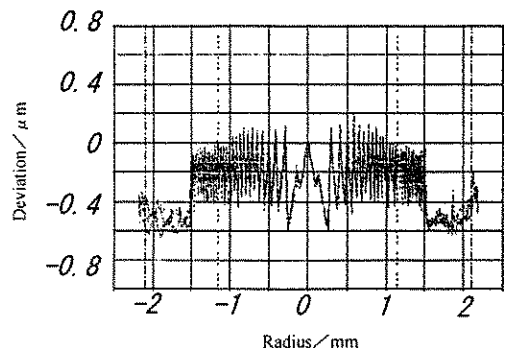


Fig. 9 Measured figure of press-molding die for dual-focus glass lens.

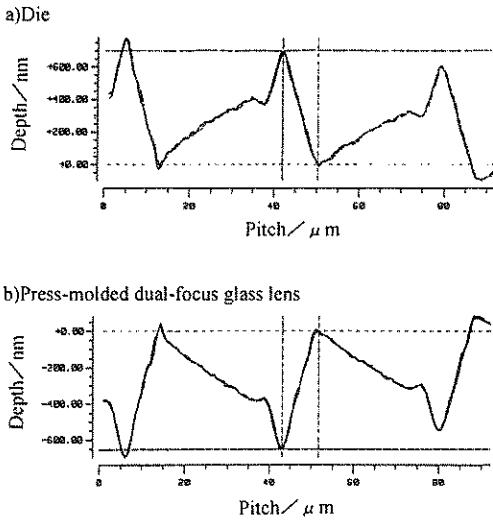


Fig. 10 Measured 24th step figures of die and press-molded dual-focus glass lens.

る。

2焦点ガラスレンズも繰り返し成形を行っているが、3000ショット後のレンズ性能を確認したところ、レンズの光学性能には、何ら変化がないことが確認できた。

以上のように、2焦点ガラスレンズのような複雑で微細な特殊形状の光学ガラスレンズも非常に高精度に成形できることを確認した。

4. まとめ

以上述べてきたように、ガラスの精密プレス

成形により、非球面ガラスレンズや2焦点ガラスレンズのような、非常に加工が困難な形状の光学ガラスレンズの作製が容易に出来ることを示した。金型の加工が可能な形状の光学デバイスであれば、本技術を用いて成形加工が可能であると考えられる。

最近では、マイクロレンズアレイや回折格子などの超微細形状を有する光学デバイスの開発が盛んになされている。今後、これらの光学デバイスの作製に本技術の応用が期待されている。成形技術のさらなる高精度化並びに超微細化を図っていきたい。

参考文献

- 1) 春原正明, 梅谷 誠, 清水義之, 白藤芳則: NIKKEI MECHANICAL, 458 (1995. 7. 10), pp. 40-48.
- 2) 栗林 清, 文字秀人, 界 政行, 青木正樹, 梅谷 誠: 表面技術, 40-8 (1989), 907.
- 3) 金馬慶明 他: ホログラム一体型2焦点対物レンズ(3), 第44回応用物理学関係連合講演会予稿集, 30p-NF-8 (1997).
- 4) 山形道弘 他: ホログラム一体型2焦点対物レンズ(3), 第44回応用物理学関係連合講演会予稿集, 30p-NF-9 (1997).
- 5) 柏木吉成, 梅谷 誠, 片岡秀直, 井上健二, 森本 晁, 青木正樹: 平成6年秋季日本金属学会講演概要, (1994) 227.