

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代ウエハレベルカメラ用マイクロレンズアレイ
金型の超精密加工技術およびレンズ成形技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 株式会社 菱光社

研究開発の概要

1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究開発の背景】

次世代ウエハレベルカメラ用マイクロレンズアレイ金型の超精密加工技術およびレンズ成形技術の有効利用が進められている。

「高度化指針」に定める課題及びニーズを示す。

(二) 金型に係る技術に関する事項 1. 金型に係る技術において達成すべき高度化目標

(5) その他 の項目で、記載の川下製造業者の抱える課題及びニーズにおける研究開発の背景やこれまでの取り組みは下記の通りである。

ア．高精度化，微細化

カ．低コスト化

次世代デジタルカメラ用の小型・高解像度デジタルイメージセンサを実用化するため、ウエハレベルカメラ(WLC)レンズの高精度・高能率製造法の開発が世界中で期待されている。そこで、成形用マイクロレンズアレイ金型の多軸制御の超精密切削法/研削法、微細形状の非接触計測法・微細レンズの転写技術の開発を行い、これらの技術を用いたレンズの試作評価を通じ、その製造技術の実証を行う。

ウエハレベルカメラ(WLC)レンズの製造においては、機能、画質を向上させるために高精度化や微細化といった要求が強く期待されている。さらに、デジタルカメラの価格抑制の観点から低コスト化も同時に達成する事を強く求められている。

【研究目的】

近年、デジタルカメラ、カメラ付き携帯電話、監視カメラなどのデジタルイメージセンサ(図1)のニーズが急速に増大した。特に、CMOS/CCDチップの高分解能化、マイクロ非球面レンズなどの光学部品の超精密機械加工技術の発展により、その性能(画素数、分解能)は飛躍的に向上し、その市場は大幅に拡大している。このようなデジタルイメージセンサ技術は現在のところ我が国の独壇場であり、例えば携帯電話の製造数は2007年度で11億台を突破し、そのうちカメラ搭載モデルは6割を占め、サブカメラを入れるとカメラモジュール市場は8億台にも昇っている。

今後も、ブリティッシュ(ブラジル、ロシア、インド、中国)での市場の拡大が見込まれる一方、従来型のデジタルイメージセンサのレンズモジュール(レンズ+鏡筒)の製造現場の東アジア移転や東アジアの技術開発の追従により、更なる小型化、高画素化、製造コストの低コスト化が必要であると考えられる。

このようなデジタルイメージセンサの製造は図2に示すように、非球面金型を用いて非球面レンズ群を成形し、鏡筒に精密に調整組立してレンズユニットをアセンブリし、C-MOS上に位置決めし、固定する。しかし、このようなプロセスでは、以下のように製造効率、コストなどに限界がある。

(a) レンズは1回の工程から最大で32個取り程度が限界。

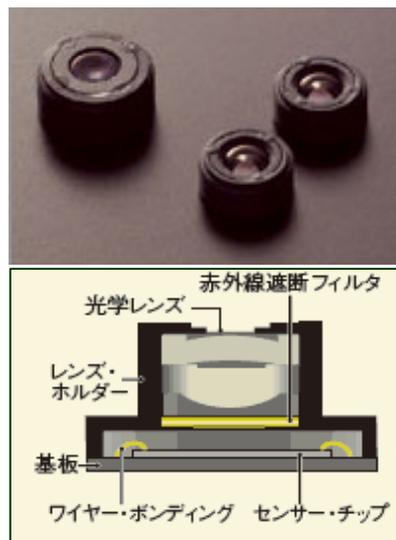


図1 従来型のイメージセンサ

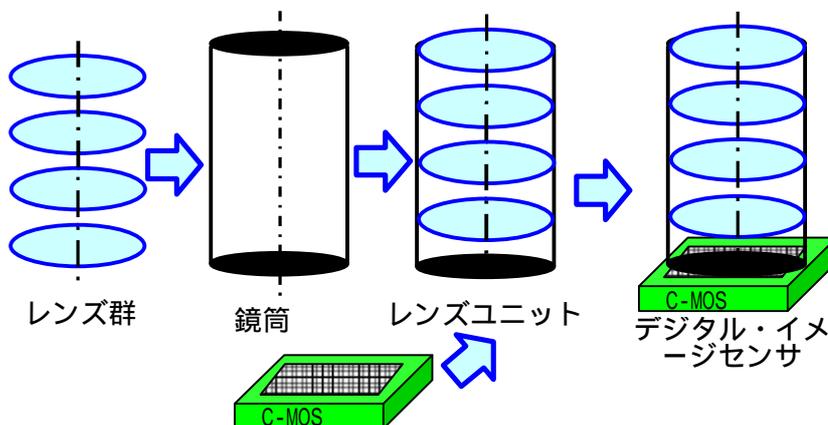


図2 従来型のイメージセンサの製造工程

(b) レンズユニットの製作は個々のレンズの組合せ作業であったため、生産効率が悪い。

(c) 複数メーカーによる個別製品の受け渡しの必要有り。

(d) 更なる小型化・薄型化・低コスト化に限界有り。

そこで、図3に示すようにマイクロレンズアレイを成形し、そのアレイをC-MOSウエハ上で精密位置決めした状態で紫外(UV)成形・固定化し、最後にダイサーでダイシング(砥石切断)し、ウエハレベルカメラレンズユニット一体C-MOSデジタルイメージセンサを低コストで量産するものである。

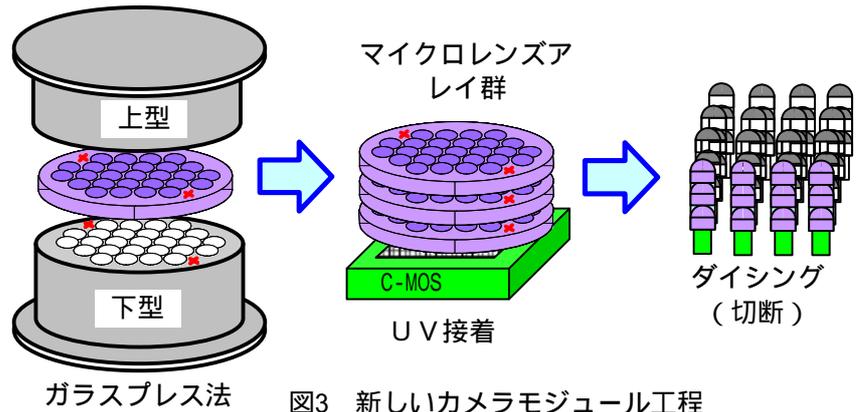


図3 新しいカメラモジュール工程

そこで、本研究開発では、4軸制御の超精密切削加工法および4軸制御の超精密研削加工を開発し、無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型および超硬製マイクロレンズアレイ金型を開発した。そして、これらのマイクロレンズアレイ金型を用いて、成形(射出成形、ガラス成形)技術を開発した。

【具体的対応方法】

具体的な研究方法として以下について検討する。

1. 無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型の切削技術(オフセット切削法)の開発
2. 超硬製マイクロレンズアレイ金型の研削技術(オフセット研削法)の開発
3. ブルーレーザープローブ走査の微細曲面形状の非接触測定システムの開発
4. WLC用マイクロレンズアレイの成形技術の開発

研究の概念図を図4に示す。

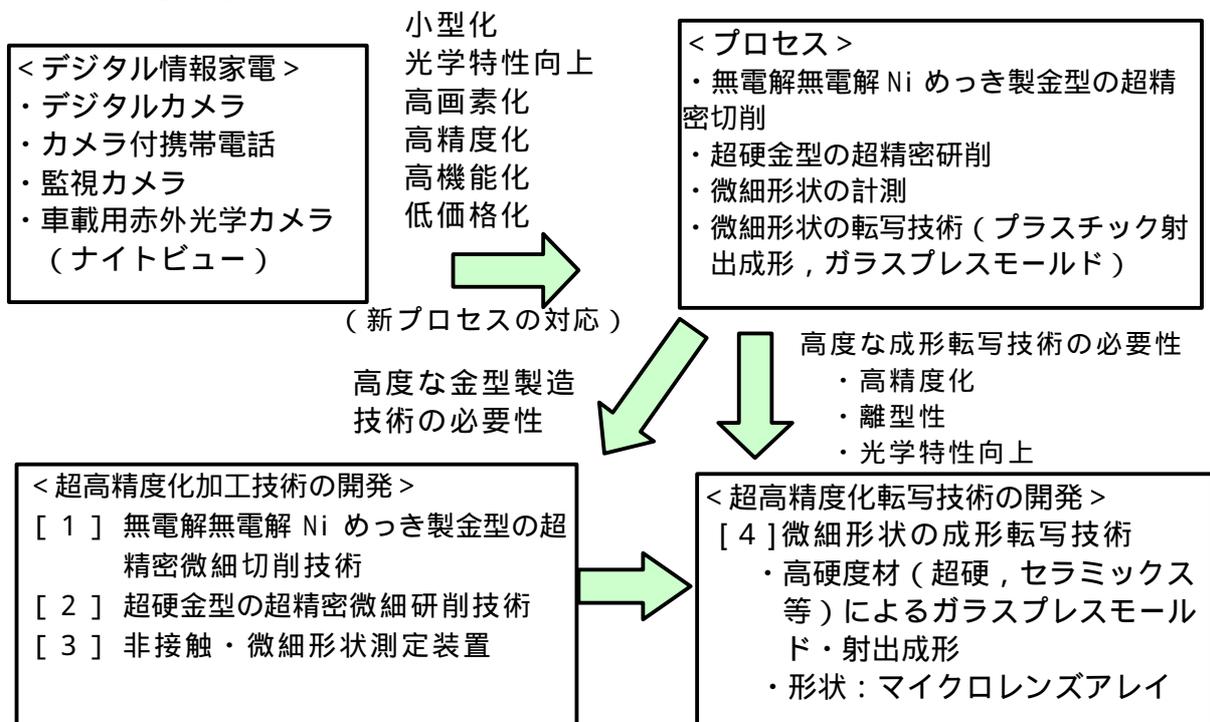
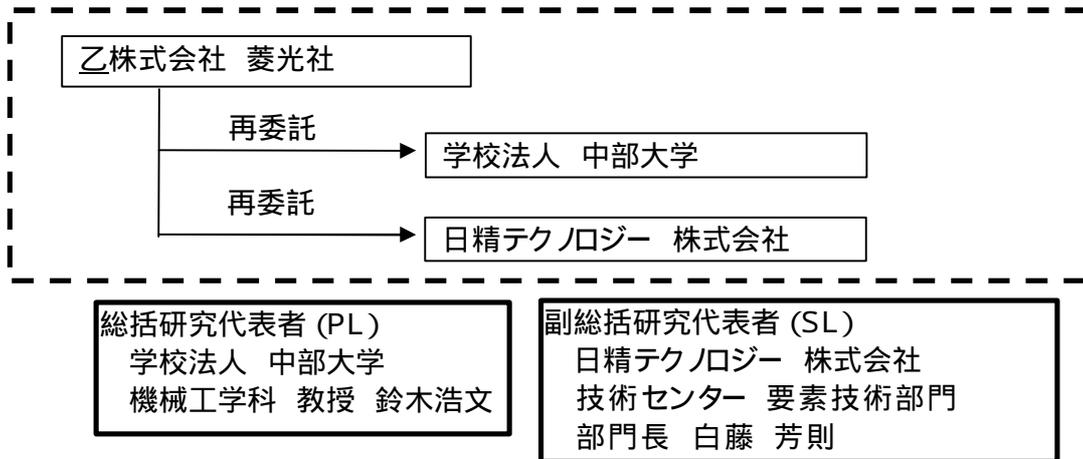


図4 研究開発概念図

1 - 2 研究体制

(1) 研究組織および管理体制

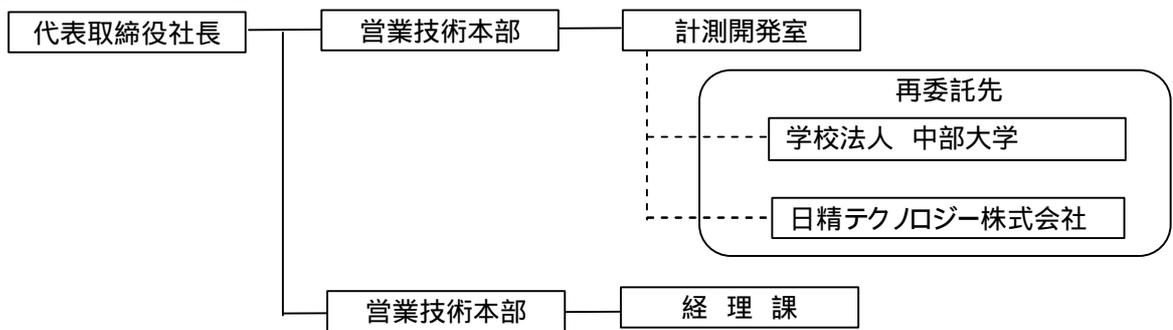
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

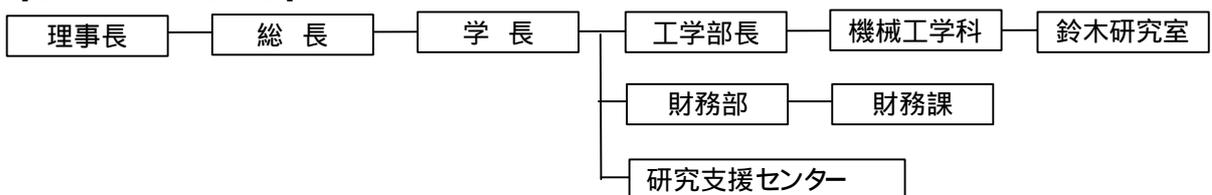
事業管理者

【株式会社 菱光社】

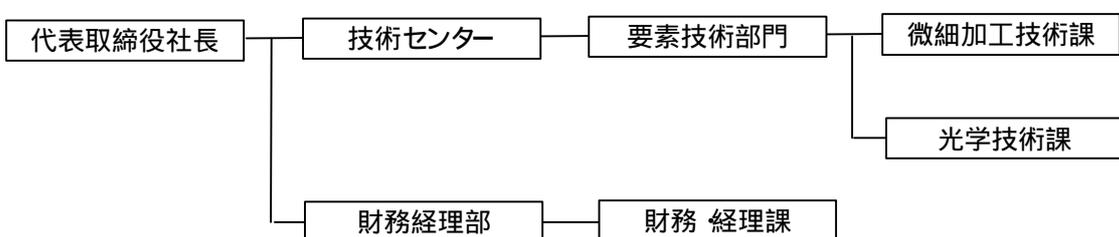


再委託先

【学校法人 中部大学】



【日精テクノロジー 株式会社】



(2) 管理員および研究員

【事業管理者】株式会社 菱光社

管理員

氏名	所属 役職	実施内容 (番号)
松岡 伸夫	計測開発室マネージャ	【5】

研究員

氏名	所属 役職	実施内容 (番号)
松岡 伸夫(再)	計測開発室マネージャ	B-1】 B-2】 B-3】 Q-3】
矢木 一幸	計測開発室グループリーダー	B-1】 B-2】 B-3】 Q-3】
渥美 裕也	計測開発室	B-1】 B-2】 B-3】 Q-3】
片桐 健男	計測開発室	B-1】 B-2】 B-3】 Q-3】
中山 博登	計測開発室	B-1】 B-2】 B-3】 Q-3】

【再委託先】 研究員のみ

学校法人 中部大学

氏名	所属 役職	実施内容 (番号)
鈴木 浩文	工学部機械工学科 教授	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 B-1】 Q-1】 Q-2】
町田 一道	工学部機械工学科 客員教授	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 B-1】 Q-1】 Q-2】

日精テクノロジー株式会社

氏名	所属 役職	実施内容 (番号)
白藤 芳則	要素技術部門 部門長	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 Q-1】 Q-2】 Q-3】
渡辺 幸治	要素技術部門 微細加工技術課 研究員	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 Q-1】 Q-2】 Q-3】
辻内 将史	要素技術部門 微細加工技術課 研究員	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 Q-1】 Q-2】 Q-3】
中尾 友香	要素技術部門 微細加工技術課 研究員	B-1】 B-2】 Q-1】 Q-2】 Q-1】 Q-2】 Q-3】

(3) 協力者 アドバイザ

三鷹光器株式会社

氏名	所属・役職
三浦 勝弘	三鷹光器株式会社 第一製造部 部長

松下電器産業株式会社

氏名	所属・役職
片岡 秀直	パナソニック株式会社 生産革新本部 生産技術研究所 機械レーザ加工技術開発グループ グループマネージャ

協伸産業株式会社

氏名	所属・役職
武田 弘	協伸産業株式会社代表取締役

1 - 3 成果概要

デジタルカメラなどデジタル家電の需要が伸びており、これまでは機械加工に基づくレンズ製造プロセスで日本がリードしてきた。しかし最近、量産・低コスト化を目的として半導体製造工法 (MEMS) を取り入れた新しい製造プロセス (ウエハレベルレンズ製造工程) が欧米・台湾・韓国を中心に主流になるといわれている。そこで、本計画書では、WLC工法においても日本がイニシアチブをとるために、超精密機械加工、精密成形、計測技術を組み入れた新しいプロセスを提案した。そして次世代デジタルカメラ用の小型・高解像度デジタルイメージセンサ (ウエハレベルカメラ)、レンズの高精度・高能率製造技術を開発することを目的に、成形用マイクロレンズアレイ金型の多軸制御の超精密切削法 / 研削法、微細形状の非接触計測法・微細レンズの転写技術の開発を行い、これらの技術を用いたレンズの試作評価を通じ、その製造技術の実証を行った。

このため、(株)菱光社を中心に活動を行っている日精テクノロジー(株)、中部大学がこのテーマについて共同で研究を実施し、次のような成果を得ることができた。

無電解 Ni めっき製マイクロレンズアレイ金型の切削技術の開発

- ・同時 4軸 (X,Y,Z,C) 制御のオフセット切削用 CAMシステムを開発し、20 nm精度のダイヤモンド切削加工を実現する精密加工技術を確立した。
- ・マイクロレンズアレイ金型の形状精度 :0.2 μmP-V を達成した。
- ・表面粗さ :10nmRz を達成した。

超硬製マイクロレンズアレイ金型の研削技術の開発

- ・同時 4軸 (X,Y,Z,C) 制御のオフセット研削用 CAMシステムを開発し、20nm 精度のダイヤモンド研削加工を実現する精密加工技術を確立した。
- ・マイクロレンズアレイ金型の形状精度 :0.2 μmP-V を達成した。
- ・表面粗さ 20nmRz を達成した。

ブルーレーザプローブ走査の微細曲面形状の非接触測定システムの開発

- ・微細形状を有する金型の形状を評価するため、非接触のブルーレーザプローブを開発した。
- ・ブルーレーザ応用 AFセンサ搭載の測定ヘッドの開発し、以下の仕様を達成した。
- ・レーザスポット径 :1 μm 以下
- ・形状測定精度 :50nmP-V
- ・表面粗さ :10nmRz

WLC用マイクロレンズアレイの微細形状の成形転写技術の開発

- プラスチック製マイクロレンズアレイにおいて成形試作を実施し、以下の仕様を達成した。
- ・形状測定精度 :1 μmP-V ,表面粗さ 20nmRz
- ・レンズ間ピッチ精度 :3μm

ガラス製マイクロレンズアレイにおいて成形試作を実施し、以下の仕様を達成した。

- ・形状測定精度 :1 μmP-V ,表面粗さ 20nmRz

成形試作されたマイクロレンズアレイの寸法・形状・内部応力を評価した。

- ・位相差 :130nm以下を達成した。

1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口

株式会社 菱光社 計測開発室マネージャ 松岡 伸夫
連絡先

〒186-0002 東京都国立市東 1-4-13 COI 国立ビル 7F
Tel: 042-573-3611 , Fax: 042-573-3338
E-mail: matsukan@ryokosha.co.jp

第2章 無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型の切削技術の開発

軸対称の非球面の切削加工の場合、軸対称の非球面金型を超精密主軸に同軸度を確保した上で設置し、工作物を回転させながら、ダイヤモンドバイトを、同時2軸(X,Z)制御して走査すれば、目標の非球面形状が超精密加工できる。しかし、この方法では、1つのキャビティ(レンズ形状)しか加工できず、マイクロレンズアレイ金型を製作する場合、必要な金型を多数製作し、これらを精密に位置調整した上で組み合わせなければならない。しかし、この方法では、レンズピッチ誤差は数μmが限界であり、光学特性の優れたマイクロレンズアレイの金型の製作は不可能である。

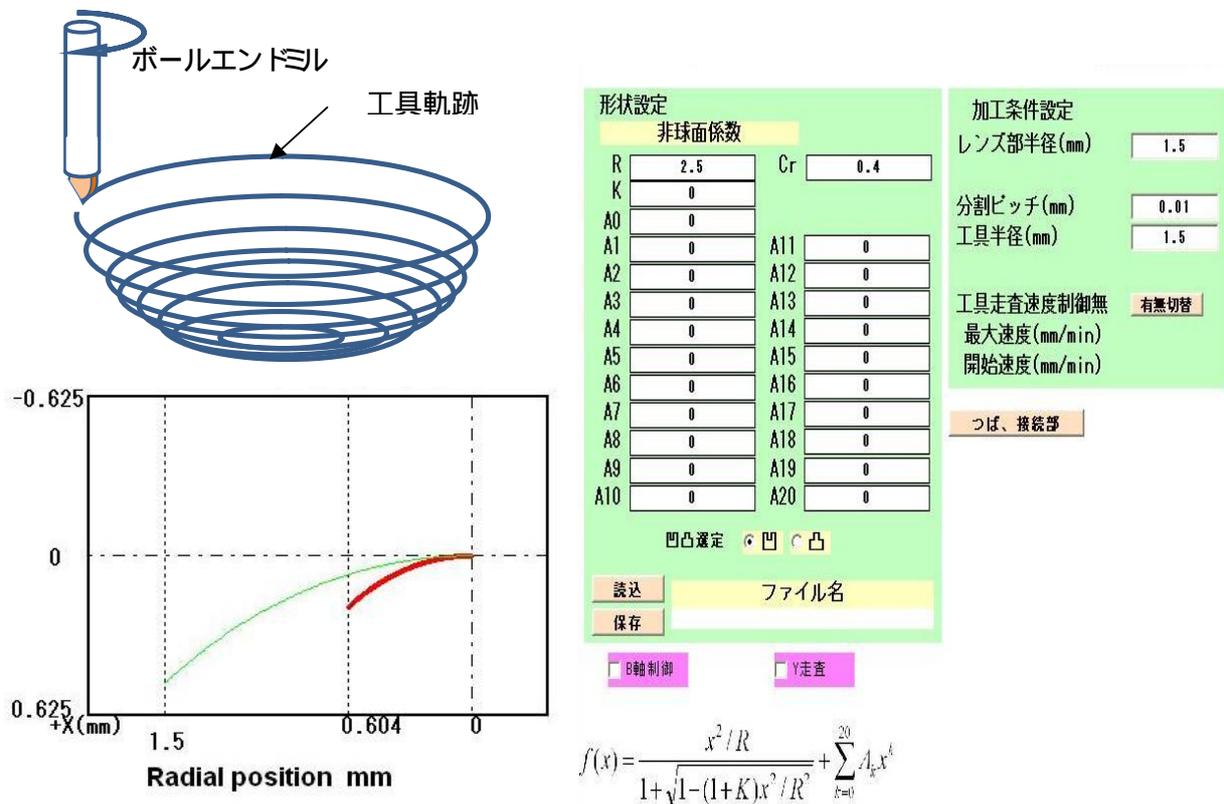
そこで、同じアール形状のダイヤモンドバイトを用いて、同時4軸(X,Y,Z,C)制御の超精密切削する方法を開発し用いる。本オフセット切削法では、機構学的には、見かけ上、工具が自転し、各軸対称の金型が公転することにより、軸外しの軸対称非球面形状が創成されるもので、工具を同時4軸制御することにより、ジグと金型の取り外し無く連続して形状創成できることである。

2-1 切削加工方法

軸対称の非球面の切削加工の場合、軸対称の非球面金型を超精密主軸に同軸度を確保した上で設置し、工作物を回転させながら、ダイヤモンドバイトを、同時2軸(X,Z)制御して走査すれば、目標の非球面形状が超精密加工できる。しかし、この方法では、1つのキャビティ(レンズ形状)しか加工できず、マイクロレンズアレイ金型を製作する場合、必要な金型を多数製作し、これらを精密に位置調整した上で組み合わせなければならない。しかしこの方法では、レンズピッチ誤差は数μmが限界であり、光学特性の優れたマイクロレンズアレイの金型の製作は不可能である。

そこで、無電解Niめっき金型の切削加工においては開発した同時4軸オフセットCAMシステムを転用して同時4軸マイクロミーリング法による加工を行った。切削においては上記の問題を回避するため、無電解Niめっき金型の切削においては同時4軸オフセット加工CAMシステムを流用して、改良型のマイクロミーリング法で加工を行うこととした。

マイクロミーリング法の原理を図5に示す。マイクロミーリング加工法では単結晶ダイヤモンドボールエンドミル(円弧形状)を回転させ擬似球体と見なして螺旋状に回転工具を走査し、ミーリング加工(フライス加工)を行うものである。



$$f(x) = \frac{x^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+K)x^2/R^2}} + \sum_{k=0}^{20} A_k x^k$$

図5 改良型のマイクロミーリング法

2 - 2 加工装置

切削実験は同時5軸(X, Y, Z, C, B)制御駆動の超精密加工機 ULG-100D(HYB)(東芝機械(株)製)を用いて行った。加工装置の外観を図6に示す。位置決め分解能は1nmで、工具スピンドルは最大回転数80,000rpmの空気静圧軸受で、ダイヤモンド工具はコレットチャックにより固定した。



図6 切削加工装置の外観

2 - 3 無電解Niめっき金型の非球面切削実験

単結晶ダイヤモンドボールエンドミルを用い、図7に示すようにプラスチックマイクロレンズアレイ成形用の無電解Niめっき金型を試作し、その加工特性を評価した。金型加工の様子を図8に示す。

金型はSTVAX材(クローム合金ステンレス工具鋼)でニアネット形状にマシニングセンタで前加工を行い、約50μmの無電解Niめっきを施して用いた。切削条件を表1に示す。単結晶ダイヤモンドボールエンドミルは空気静圧スピンドルにコレットチャックにより取り付けられた。

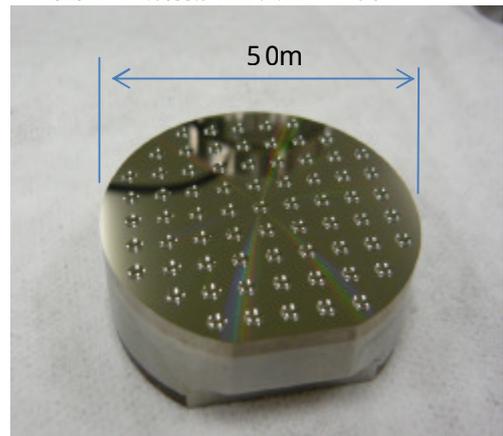


図7 無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型



図8 金型加工の様子

表1 無電解Niめっき切削条件

被削材	無電解Niめっき
工具回転数	60,000 rpm
切込み	1 μm
送り	40 mm/min
切削雰囲気	白灯油噴霧
切削様式	ダウンカット

レンズ形状のサグ量は約362μmであり、New View5000(Zygo社)により測定した切削加工面の表面粗さの変化を図9に示す。全数において10nmRz以下となっている。

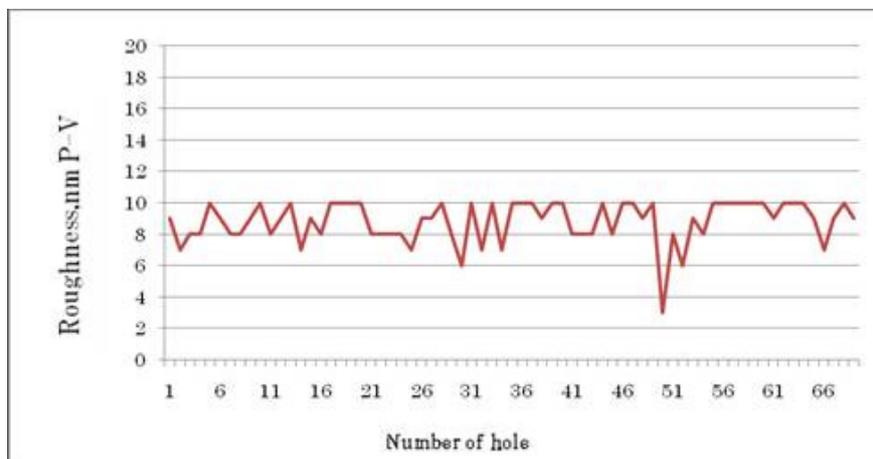


図9 切削加工面の表面粗さの変化

UA3P(パナソニック社)により測定した切削加工面の形状誤差曲線および全数測定 of 形状精度の変化を図 10 に示す。0.2 $\mu\text{mP-V}$ 以下の形状精度が得られている。

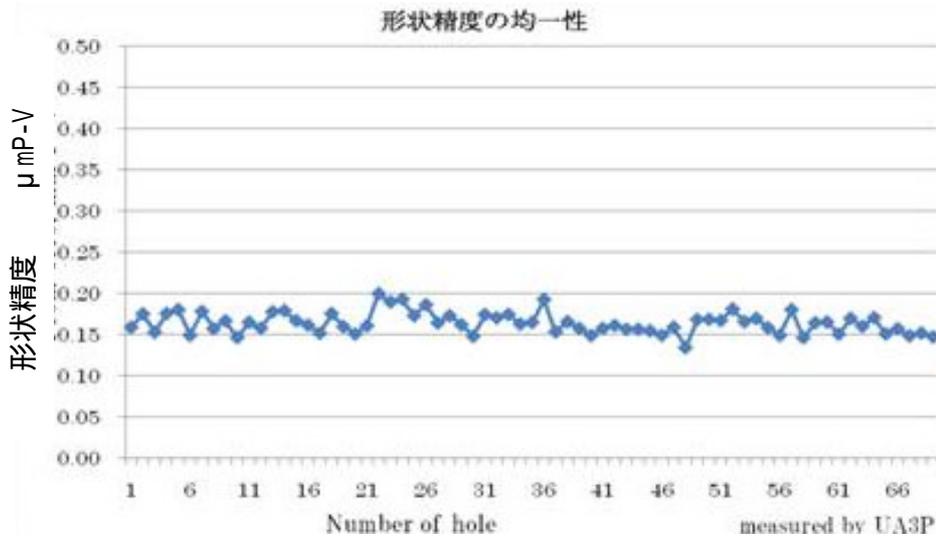


図 10 切削加工面の形状精度の変化

第 3 章 超硬製マイクロレンズアレイ金型の研削技術の開発

軸対称の非球面の研削加工の場合、軸対称の非球面金型を超精密主軸に同軸度を確保した上で設置し、工作物を回転させながら、ダイヤモンド軸付砥石を、同時 2 軸 (X,Z) 制御して走査すれば、目標の非球面形状が超精密加工できる。しかし、この方法では、上記切削と同じく、レンズアレイ金型を製作する場合、必要な金型を多数製作し、これらを精密に位置調整した上で組み合わせなければならない。しかしこの方法では、レンズピッチ誤差は数 μm が限界であり、光学特性の優れたマイクロレンズアレイ金型の製作は不可能である。

そこで、同じ軸付形状のダイヤモンド砥石を用いて、同時 4 軸 (X,Y,Z,C) 制御の超精密研削を行う方法を開発し用いる。本オフセット研削法では、機構学的には、高速で工具が自転し、各軸対称の金型が公転することにより、軸外しの軸対称球面形状が創成されるものである。

3 - 1 同時 4 軸制御のオフセット研削方法

軸対称の非球面の研削加工の場合、軸対称の非球面金型を超精密主軸に同軸度を確保した上で設置し、工作物を回転させながら、ダイヤモンド軸付砥石を、同時 2 軸 (X,Z) 制御して走査すれば、目標の非球面形状が超精密加工できる。しかし、この方法では、マイクロレンズアレイ金型を製作する場合、必要な金型を多数製作し、これらを精密に位置調整した上で組合せなければならない。しかしこの方法では、レンズピッチ誤差は数 μm が限界であり、光学特性の優れたマイクロレンズアレイ金型の製作は不可能である。

そこで、図 11 に示すように、同じ軸付形状のダイヤモンド砥石を用いて、同時 4 軸 (X,Y,Z,C) 制御の超精密研削する方法を開発し用いた。本オフセット研削法では、機構学的には、見かけ上、工具が自転し、各軸対称の金型が公転することにより、軸外しの軸対称球面形状が創成される。本研究では、上記の研削法に関する開発は以下の手順で行った。

- (1) 同時 4 軸 (X,Y,Z,C) 制御の超精密オフセット研削法でベクトル解析を用いて、幾何学的な工具の 4 軸制御の理論を誘導した。
- (2) 上記理論に基づき、4 軸制御の砥石走査 NC プログラムジェネレータ (検証レベル CAM システム) を開発した。
- (3) 上記の策定の検証レベル CAM の仕様に基づく実用的量産レベル CAM の仕様の策定

(4) 実用的量産レベルCAMの制作 .

(5) 砥石の位置決め誤差要因による形状誤差曲線をシミュレーションし , 最適な誤差補正法を導出した .

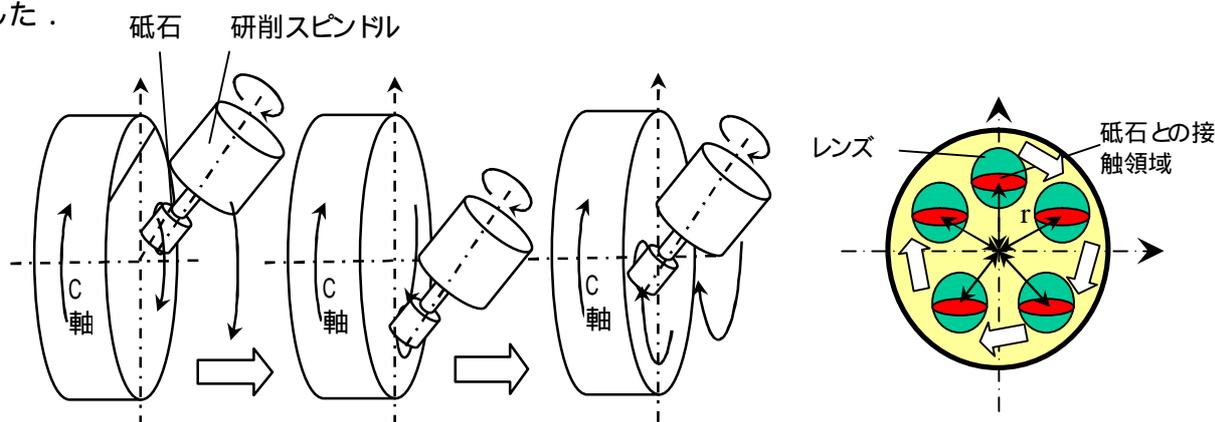


図 11 同時4軸 (X,Y,Z,C) 制御の超精密オフセット研削法

3 - 2 凹凸マイクロレンズアレイ金型の試作実験

成形品のレンズ形状は , 厚みが 2 mm , 21 個のレンズを有する凹凸レンズ形状のメニスカスタイプとした . 図 12 に最終成形品の形状を示す . 金型のサイズはレンズアレイの成形時のリスク低減のため , 比較的小さい 25mm とした .

金型材料は , 日本タングステン(株)の微粒子超硬合金 RCCFN を選定した . 表 2 に材種特性を示す . 特徴はバインダーレス超硬材の中でも最高の硬度を有し , 耐摩耗性・耐酸化性に優れていることである .

加工方法は同時4軸オフセット制御法およびマイクロミーリング加工法を用いて , 上金型 (凹面形状) 下金型 (凸面形状) それぞれ 1 セット , 計 4 個の金型を製作し加工特性の評価を行った .

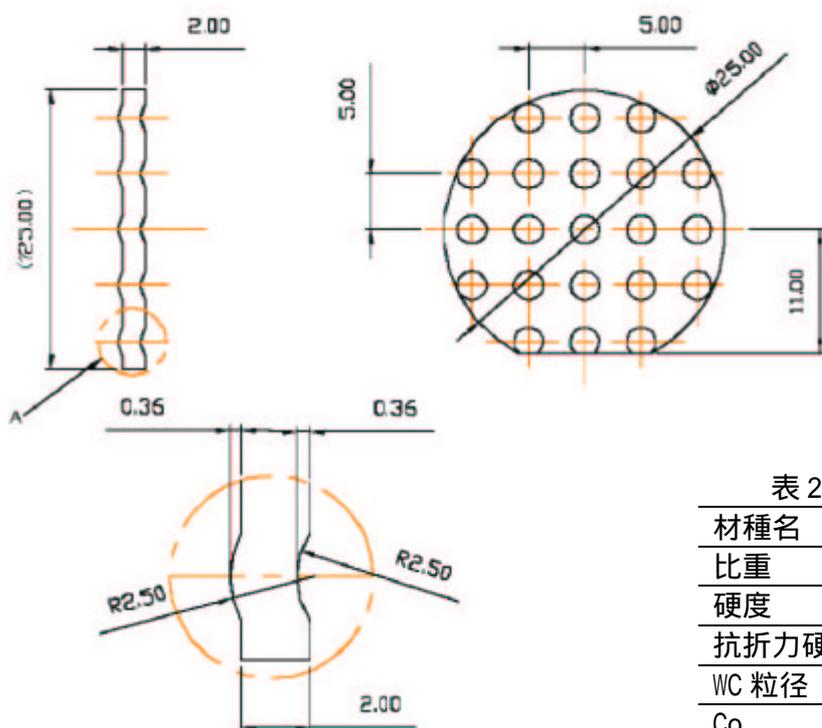


図 12 マイクロレンズアレイの最終成形品の形状

表 2 材種特性表

材種名	RCCFN
比重	14.5 ~ 14.7
硬度	HRA94 ~ 96
抗折力硬度	1.27 GPa
WC 粒径	~ 0.6 μm
Co	0 mass%
熱膨張率	4.75 x10 ⁻⁶ /K

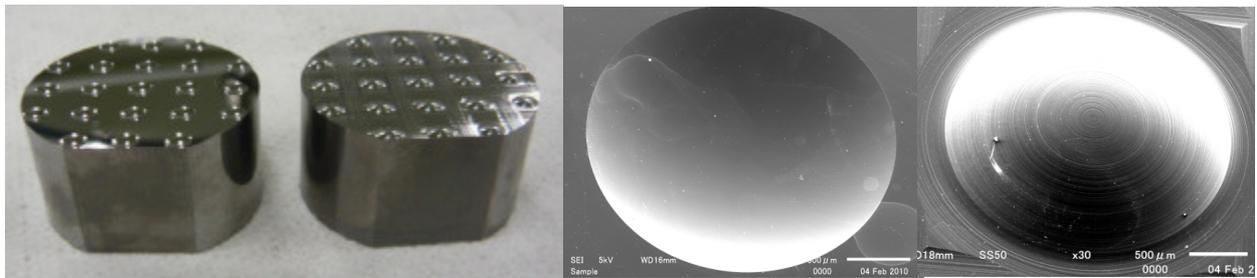
研削実験は同時4軸 (X,Y,Z,C) 制御駆動の超精密加工機 ULG-100C(H3) (東芝機械(株)製) を用いて行った . 位置決め分解能は 1nm で , 研削スピンドルは最大回転数 80,000rpm の空気静圧軸受 , ダイヤ軸付き砥石はコレットチャックにより固定した .

4軸(X,Y,Z,C)制御超精密研削NCプログラム創成用CAMシステムを用い生成された軌跡どおりに砥石を動作させて、実際に入力された形状を研削した。上記加工プログラム・超微粒ダイヤモンドレジンボンド軸付き砥石を用い、ガラスマイクロレンズアレイ成形用の超硬金型を試作し、その加工特性を評価した。研削条件を表3に示す。

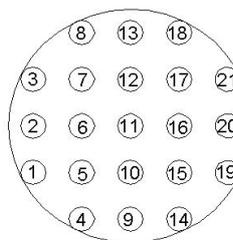
研削加工終了後の金型外観および電子顕微鏡写真を図13に示す。工具位置関係や工具の曲率半径誤差を修正した後にUA-3P(Panasonic製)によりマイクロレンズアレイ金型の形状精度を測定した。UA-3Pにより測定した研削加工後(凹面形状)の形状精度($\mu\text{mP-V}$)測定結果を図14に示す。21個のレンズ形状を測定しプロットしている。それぞれの測定位置は左下図に示す。形状精度は凹面で $0.2\sim 0.7\mu\text{mP-V}$ が得られている。凸面では $0.6\sim 1.6\mu\text{mP-V}$ となっており、十分とは言えない。これは研削砥石の砥粒径が#1500と不十分であったためであり、微粒砥粒を用いれば精度が向上すると考えられる。

表3 研削条件

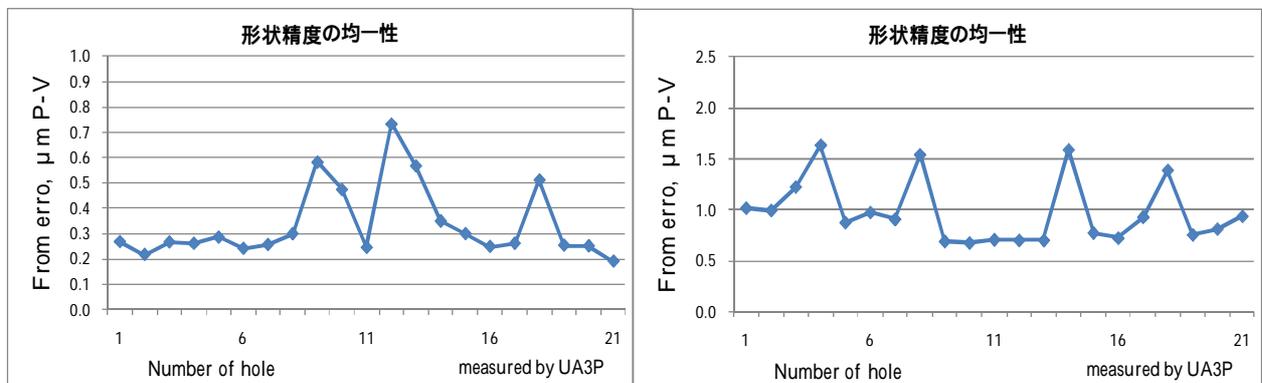
砥石	レジンボンド・ダイヤモンド
粒径	#1500
外径	20 mm
先端の曲率半径	r=2.5mm
回転速度	60,000rpm
送り速度	360°/min
Z軸インフィールド切込み	5 μm
切込み速度	1 $\mu\text{m}/\text{min}$



(a)凹凸金型外観(左:凹面,右:凸面) (b)凹面形状SEM写真 (c)凸面形状SEM写真
図13 研削加工終了後の金型外観および電子顕微鏡(SEM)写真



アレイの評価位置



(a)凹面 (b)凸面

図14 研削加工後の形状精度の測定結果

さらに New View5000(Zygo 社製)により測定した研削加工後(凹面形状)の表面粗さ(μmRz)測定結果を図 15 に示す。表面粗さは 4~40nmRz が得られており、良好な表面粗さが得られた。

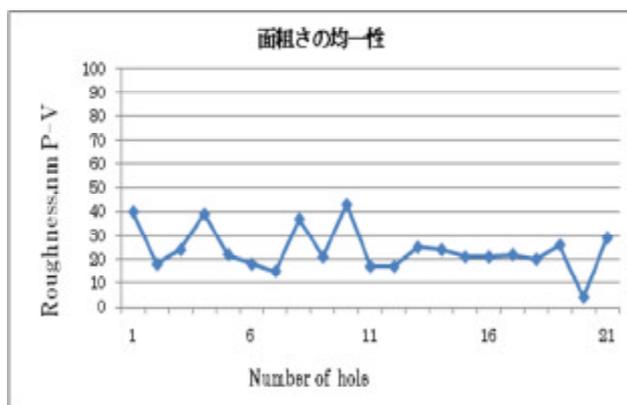


図 15 研削加工(凹面形状)後の表面粗さの測定結果

第 4 章 ブルーレーザープローブ走査の微細曲面形状の非接触測定システムの開発

微細金型の形状の加工精度を検証するため、微細な形状を測定可能な計測プローブの開発を行う必要がある。WLC用マイクロレンズアレイ金型は、超精密加工(切削, 研削)によって加工され、その加工精度を保障するだけでなく、形状計測データを基に補正加工を行うことにより加工精度の向上が図られる。従来は、図 16 に示すような接触式形状測定器により測定されているが、次の問題点がある。(a)測定プローブの真球度や変形の影響を受ける。(b)微細なパターンの測定の場合、プローブの径より小さなピッチのパターンは計測できない。(c)矩形のエッジ部の計測は不可。(d)プローブとの接触により傷がつく。等の問題があった。

そこで図 17 に示すような非接触のレーザープローブ方式の形状測定器ではそのような問題はなく、よりレーザービーム径を小さくする(短い波長)非接触測定法の開発を行なう。このようなレーザープローブ走査式の測定機により、精密微細加工機の加工後の微細金型の形状を計測し、補正加工を行い、加工精度と能率を向上させた。

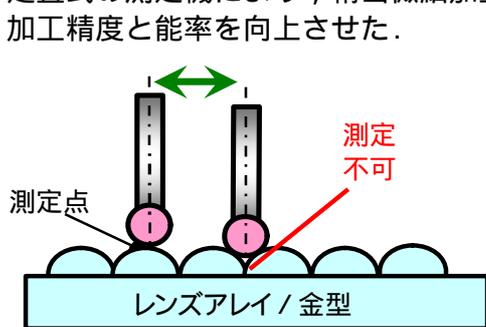


図 16 接触式形状測定器

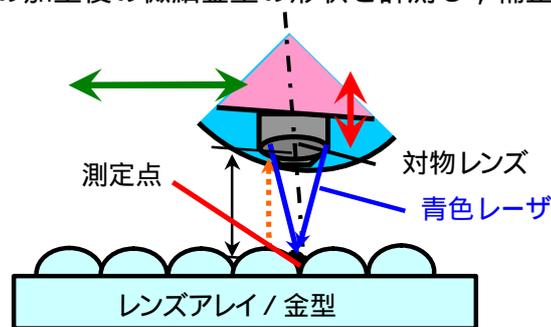


図 17 非接触のレーザープローブ方式の形状測定

(1) ブルーレーザープローブ走査計測ヘッドの開発

(ブルーレーザーオートフォーカスヘッドの開発および機能検証)

(1.1) ブルーレーザーの波長検証

従来仕様 635nm 波長でのレーザースポット径の算出をすると約 0.41 μm であるが、短波長レーザーにてレーザースポット径の縮小を目指し研究・開発を試みた。

本装置の原理であるポイントオートフォーカス方式はレーザースポットの均一性が重要な要素であり、レーザースポットの均一性は、装置内部光学系や対物レンズの収差、偏芯等が原因で左右される。当初、405nm 波長でのレーザースポット縮小を試みたが、対物レンズの 405nm 波長に対する光学特性が芳しくなくレーザー集光性能が悪い為、473nm 波長レーザーを採用した。

レーザースポット径としては次式で表される。

また、レーザーの強度分布はガウシアン分布となるため、実際のスポット径は異なる(図 18)。

$$= 0.61 * \left(\frac{\lambda}{NA} \right) \dots (1)$$

ここで、 λ : 波長 (nm), NA : 対物レンズ開口数 である。

473nm のレーザスポット径は、式 (1) より算出すると約 0.3 μ m である。図 19 に示す通り調整後のレーザスポット径を回折格子パターンにて検証した。取得した形状データから寸法評価した結果、0.4 μ m 以下に集光できており目標値を達成した。

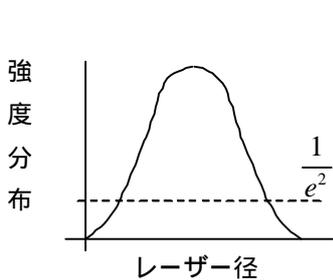


図 18 レーザ径の
ガウシアン分布

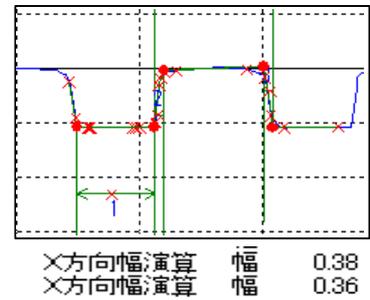
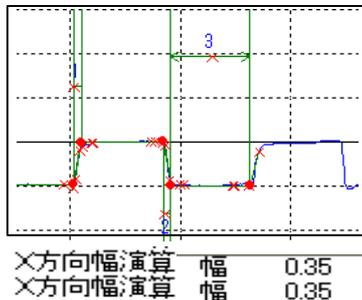


図 19 ブルーレーザによる回折パターン形状検証
(左 : 波長 405nm 右 : 波長 473nm)

(1 . 2) ブルーレーザオートフォーカスの精度検証結果

473nm レーザを搭載したブルーレーザ装置の目標値に対する成果を記す。

レーザスポット径 1 μ m 以下

回折格子パターンにおいて、エッジの幅を実際に取得した形状データから寸法評価した結果、図 19 より 0.4 μ m 以下のレーザスポット径が達成していることがわかる。

測定精度 50nm 以下

5.2mm のガラス基準球における形状誤差を確認した。ガラス基準球 (真球度 50nm 以下) を用いて装置の形状測定誤差の検証を実施した。結果として、41nm P-V を獲得する事ができ、目標値を達成した。図 20 に測定精度結果を示す。

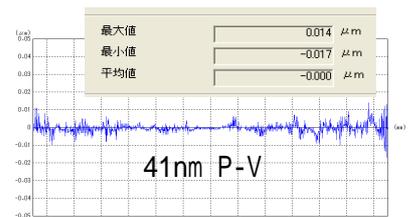


図 20 測定精度の結果

粗さ測定 Rz10nm 以下

走査型白色干渉方式の装置との比較を行い、実測値が 10nm 以下の誤差となるか検証を実施した。走査型白色干渉方式にて Rz (P-V) にて 5nm の測定結果を得た。それに対して、本装置の結果を図 21 に記す。表面粗さ Rz において、6.0nm を捉えることができた。走査型白色干渉方式と比較して、1.0nm の差異と同等の結果が得られ、10nm Rz 以下の目標値を達成することができた。

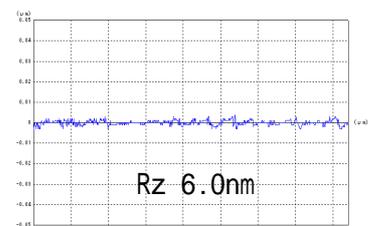


図 21 表面粗さ測定結果

本研究にて開発したブルーレーザによる非接触三次元測定装置 NH-3UP の開発結果内容を表 4 に示す。開発機の外観写真を図 22 に示す。

表 4 開発機の検証結果

装置名	開発機 NH-3UP
レーザ	半導体レーザ
波長	473nm
スポット径 100 倍使用	0.4 μ m 以下
精度	50nm 以下
粗さ	10nmRz 以下



図 22 非接触三次元測定装置外観

(1.3) ブルーレーザオートフォーカス搭載の非接触三次元測定器の課題

今回、開発したブルーレーザオートフォーカス搭載の非接触三次元測定器であるが、レーザビームをより小さく集光することによって、より精度を向上することができた。結果、より微細形状で高精度を要求するレンズ向けの測定が対応できた。課題として駆動系の真直度の向上、急傾斜角度へのオートフォーカスの追従性があるが、次の開発テーマとして取り組んでいきたい。

(2) マイクロレンズアレイの形状評価ソフトの開発

従来の単レンズにおける測定ではレンズ単体の形状評価を主に管理されてきたが、ウエハレベルレンズになるとウエハレベルで成形されたウエハレンズが最終的には貼り合わせの工程を行わなければならない。この際にウエハレンズの1枚目、2枚目、3枚目において個々のウエハレンズが正確に貼り合わせ可能でなければならない。したがって形状評価はもちろんであるが、ウエハレンズ内のレンズ中心位置が全て同じ位置に成形されていなければ光学性能を達成出来ないため、従来の管理にはなかったウエハレンズ内でのレンズ座標やピッチズレの管理が重要となる。上述の内容を踏まえてウエハレンズにおける測定項目を考慮しながら自動測定を行えるソフトを製作することを目的とした。

(2.1) マイクロレンズアレイの形状評価ソフトの仕様策定

非接触三次元測定器 NH において計測を行ってきたノハウよりウエハレンズにおいて必要となる計測項目を下記のように挙げて仕様策定の検討を行った。

- ・ウエハレンズ上における N 番目レンズ座標計測：図 23 に示すようにウエハレンズの貼り合わせをする際に各ウエハレンズの N 番目のレンズがアライメント座標系に対して同じ座標位置に成形されているかを確認する計測が必要となる。したがって各ウエハレンズでのレンズ相対座標位置の計測項目を策定した。
- ・レンズ外径と曲率中心の偏芯計測：平面へのレンズアレイ加工において加工径の中心に対して、センターに曲率中心が加工されているかを確認するため、画像中心計測および形状中心計測を行う項目を策定した。
- ・レンズの形状計測：単レンズ金型と同様に形状精度を計測する事が求められる。ウエハレンズ内の全てのレンズにおいて形状精度を確認する必要がある。本ソフトでは自動的に全数の形状計測を行う項目を策定した。
- ・レンズの高さ計測：金型におけるレンズアレイの頂点高さバラツキは転写製品への誤差に直結するため、金型においては全数の高さ管理が必要となる。自動的に個々のレンズ形状測定を実施した際に高さのバラツキ評価を算出する項目を策定した。
- ・計測データ解析処理：自動測定にて測定されたレンズデータより一括演算処理を行い、各計測項目についてのデータ処理を行えるように策定した。

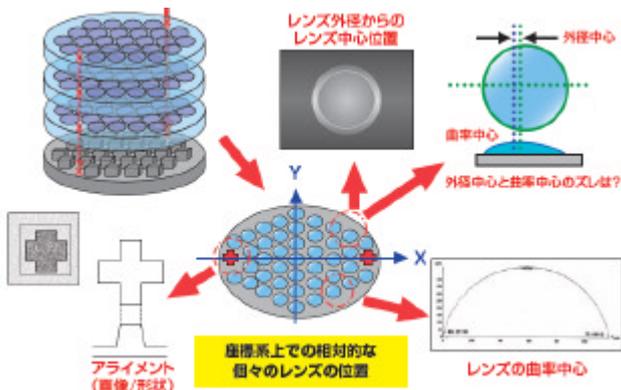


図 23 ウエハレンズにおける座標計測

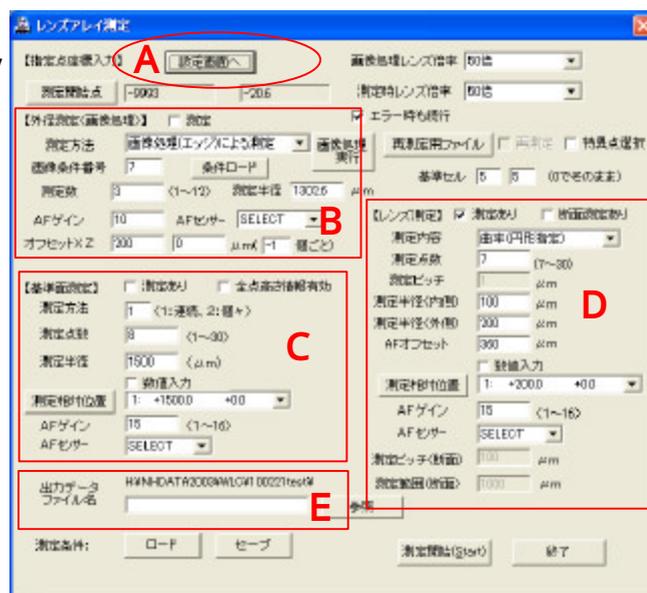


図 24 マイクロアレイ形状ソフト設定画面

(2 . 2) マイクロレンズアレイ形状ソフトの開発結果

ソフト仕様策定内容を基に実開発に着手した．開発段階において仕様修正を重ねながら以下のようなソフトを開発した．マイクロレンズアレイ形状ソフトの設定画面を図 24 に示す．

- A : レンズアレイの設定・・・レンズアレイ数と設計ピッチを入力して測定箇所を登録．
- B : 外径測定設定・・・画像処理によりレンズ外径を検出する条件設定を登録．
- C : 基準面測定設定・・・ウエハレンズでは全体基準面（反り含む）にて高さを測定するがレンズ毎に基準面を作成しての高さが必要な場合に登録．
- D : レンズ形状測定およびピッチ測定設定・・・レンズ形状測定に必要な測定範囲や測定ピッチなどの条件登録を行う．また，形状評価を行わずにレンズアレイの中心座標のみが必要な場合に選択を行う事が設定可能である．
- E : 測定結果保存先・・・測定結果を登録したフォルダへ自動的に保存するためのファイル名登録を行う．

計測結果について数値処理された結果については CSV データに出力される．数値データを視覚的に解析するためにレンズ「中心座標と設計値とのズレ」および基点レンズからの X Y についてレンズアレイ番地に結果を表示させる機能も搭載させた．これによりレンズの位置ズレ傾向と数値を簡単に比較評価が行えるようになった．他の測定結果についても同様の出力を選択にて行えるようにした．図 25 にレンズ中心座標と設計位置のズレ表示 / ズレ量を示す．

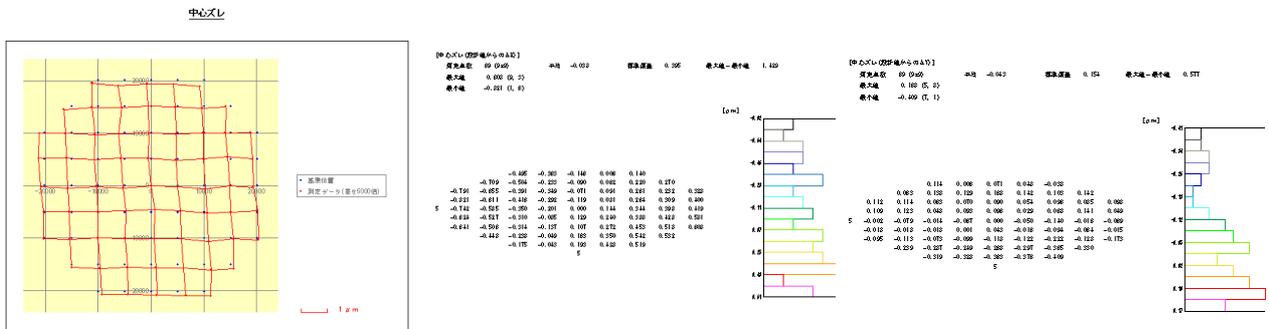


図 25 レンズ中心座標と設計位置のズレ表示と数値（左：ズレ表示 中： X 右： Y）

(3) 形状測定条件の最適化

WLC 向けマイクロレンズアレイの目的を考えたときに，C-MOS センサのウエハをはじめ数枚のレンズウエハを重ね合わせる目的がある．上下の個々のレンズのセンター同士を貼りあわせなければ，レンズユニットにしたとき，偏芯のバラつきが生じてしまう．この形状測定条件の最適化では，測定機の絶対的位置座標，即ち高精度ステージを確立する．

(3 . 1) 高精度ステージ補正ソフトの策定

従来の非接触三次元測定器 NH でのステージの測長補正は近似直線で行っているが，ヨーイングや直行度の誤差について補正が行えない（図 26，図 27）．即ち 150mm のステージ面内で対角では数 μm の誤差を生じてしまう．本研究において，ステージのヨーイング及び直行度の誤差を軽減する高精度ステージ補正ソフトの開発を行った．結論からいうと面内精度 $3\mu\text{m}$ 以内のステージが，本ソフトで補正を行って， $0.2\mu\text{m}$ 以下まで精度が向上した．

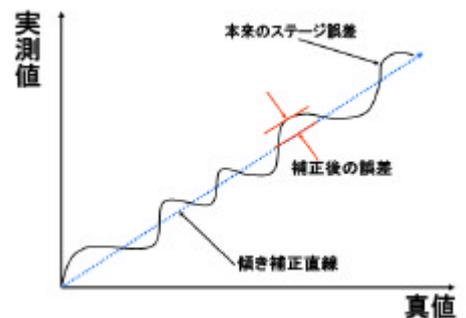


図 26 ステージの測長補正と補正後のステージ誤差

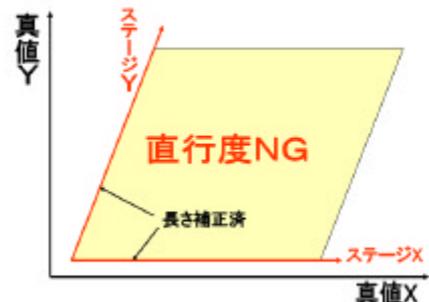


図 27 ステージの直交度誤差

(3.2) マイクロレンズアレイ金型の計測

高精度ステージ補正ソフトによるマイクロレンズアレイ金型計測を行った。計測には本研究にて加工された 50 mmの無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型を用いた。

(3.3) 計測検証

a. レンズ中心計測 (69個)

50 mm内において69個のレンズアレイの中心座標を計測する事により、設計値に対するレンズの中心座標のバラツキを把握した。図28に

50 mm無電解Niめっき製レンズアレイ金型を0度位置に設置した際の設計位置(青)に対する実測の中心座標位置(赤)をマーカー表示した結果を示す。

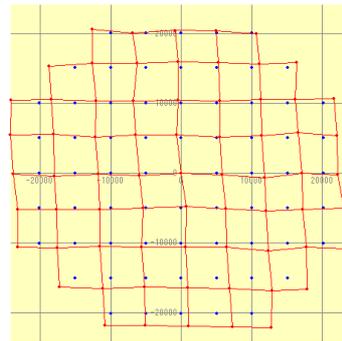


図28 設置0度での中心座標結果

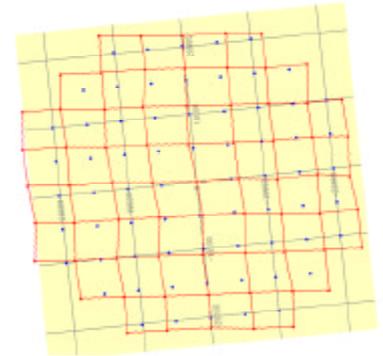


図29 設置90度での中心座標結果 表示は0度位置に回転させている

次に金型を90度時計回りに回転させた際に同計測を行った結果について、0度位置と同様の表示位置に戻した結果表示を図29に示す。これらの結果よりサンプルを置き換えた際の傾向と一致していることより計測の動的再現性が確認出来た。また設計値からのレンズ中心座標のズレ量を表5に示す。

表5 マイクロレンズ金型における設計値からのレンズ中心座標ズレ量 (2点間距離)

Y9			0.32	0.25	0.41	0.53	0.59		
Y8		0.45	0.32	0.24	0.33	0.42	0.56	0.55	
Y7	0.66	0.49	0.31	0.08	0.19	0.29	0.44	0.49	0.49
Y6	0.65	0.49	0.32	0.12	0.11	0.25	0.37	0.38	0.37
Y5	0.73	0.54	0.33	0.15	0.00	0.12	0.26	0.33	0.41
Y4	0.72	0.54	0.34	0.21	0.10	0.19	0.25	0.31	0.46
Y3	0.83	0.65	0.52	0.31	0.22	0.23	0.29	0.30	0.35
Y2		0.63	0.51	0.37	0.29	0.32	0.37	0.40	
Y1			0.54	0.47	0.37	0.42	0.44		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9

(μm)

b. 形状精度の計測(69個)

無電解Niめっき製マイクロレンズアレイ金型の50mm内に加工された個々のレンズ形状精度を確認するために非接触三次元形状測定器NHにて連続測定を行った。測定データ処理については、ベストフィットR処理演算を行った。全ての形状データを重ねて表示した結果を図30に示した。結果より各レンズ箇所によるバラツキを含めて、0.2μm P-V以内に形状精度が加工されていることを確認した。

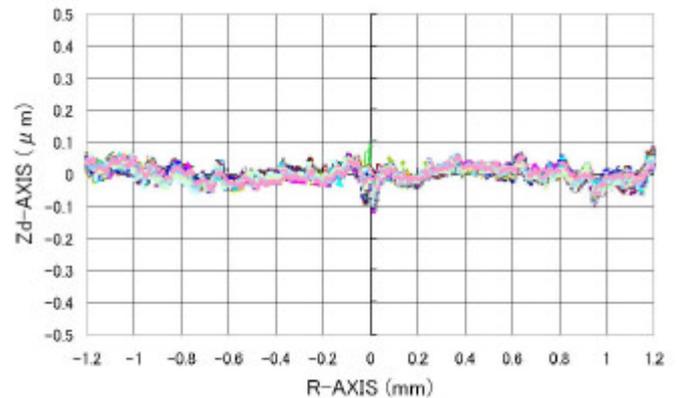


図30 形状精度結果 (ベストフィットR)

(4) マイクロレンズアレイ評価ソフトの結論

ウェハ・レベル・レンズのマイクロレンズアレイに必要な計測が、非接触三次元測定装置NHシリーズに搭載するこのソフトで全て網羅することが可能となった。またデータの信頼性の争点になる精度についても、高精度ステージ補正ソフトでクリアすることが出来るようになった。

第5章 WLC用マイクロレンズアレイの微細形状の成形転写技術の開発

本研究にあるプラスチック向けの無電解 Ni めっき製マイクロレンズアレイ金型およびガラス向けの超硬製マイクロレンズアレイ金型を用いた成形の具現化を目的とする。マイクロレンズアレイは、個々のレンズ成形と異なる大きな課題をもっている。ピッチ間の寸法誤差、また大面積におけるうねりの影響、素材の伸縮、また離型時の光学特性の損失等もあり、成型条件の最適化を達成しなくてはならない。

本研究では、プラスチックを素材にしたマイクロレンズアレイの成形、ガラスを素材にしたマイクロレンズアレイの成形方法を試作開発して、検証を行うものとする。現行のプラスチックレンズ成形は単レンズの成形であり、成形個数としてさほど多くはない。マイクロレンズアレイ金型による射出成形は全てのレンズ形状精度、ピッチ精度、光学的複屈折の発生を抑える事が難しいため、最適条件の見極めを含め試作開発を行う。現行のガラスレンズ成形は単レンズの成形である。ガラス製マイクロレンズアレイの成形方法として、リヒート成形を用いるが光学分野においての実績例が少ない。成形実験を重ねることによりマイクロレンズアレイ成形の最適条件を見出す。

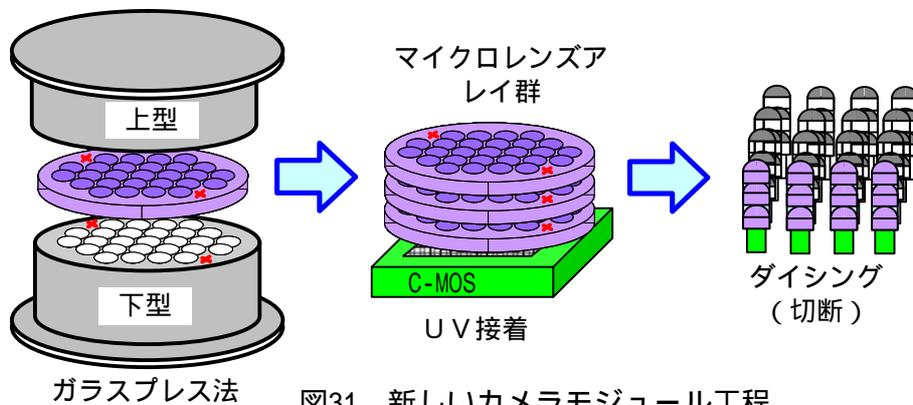


図31 新しいカメラモジュール工程

(1) プラスチック製マイクロレンズアレイの開発

(1.1) プラスチック製マイクロレンズアレイの試作

無電解 Ni めっき製マイクロレンズアレイ金型を用いてプラスチック製マイクロレンズアレイの成形を射出成型で行った。第2章にて製作した 50mm 上に 69 個のレンズアレイが形成された無電解 Ni めっき製マイクロレンズアレイ金型を用いて、レンズ両凸 69 個の一括射出成型レンズを表 6 に示す条件で試作した。

表 6 試作成形条件

樹脂温度	280 °
充填時間	1.79s
保圧	3 段階で降下 (65MPa/4s 55MPa/4s 45MPa/5s)
冷却	40sec
材料	ZEONEX

(1.2) 形状精度

成形後のマイクロレンズアレイの各レンズの形状精度を非接触三次元測定器 NH(三鷹光器製)により測定した。マイクロレンズアレイ 69 個の測定形状をベストフィット R 解析した。解析した結果を重ね合わせ表示したものを図 32 に示す。全てのレンズについて 0.9 μmP-V の形状精度が得られている。

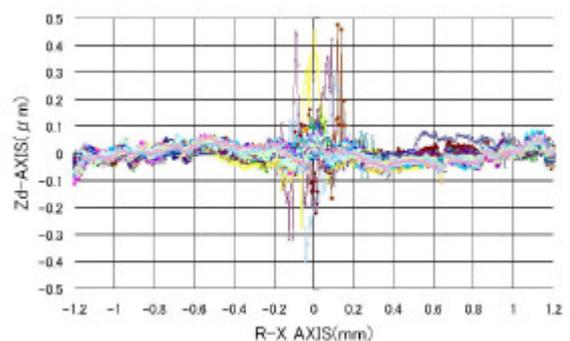


図 32 成形レンズの形状精度結果

(1.3) 内部歪みの評価

Ni めっき製マイクロレンズアレイ金型を用いて射出成型したレンズアレイ (図 33) の内部歪みを確認す

るため、2次元複屈折評価装置（フォトニックラティス製）を用いて成型品の評価を行った。測定結果を図34に示す。レンズ部の内部歪みを複屈折の位相差数値を用いて現している。内部歪みは118.5nmであった。

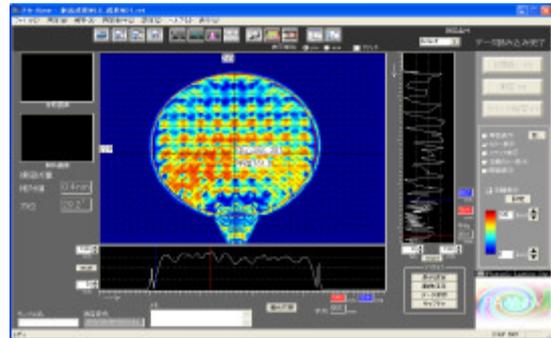
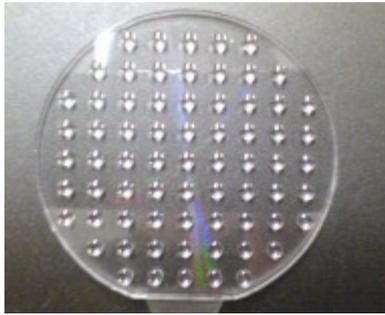


図33 プラスチック製マイクロレンズアレイ

図34 試作成型品の内部歪みの評価

(1.4) ピッチ評価

第4章にて開発したマイクロレンズアレイ形状評価ソフトを用いて、レンズ箇所のみを自動的に形状測定および中心座標算出までを行い、設計値とのズレを求める測定を行った。ズレの表示についてはマイクロレンズアレイの中心を基準座標として表示している。表7にズレ量の測定結果を示す。マイクロレンズアレイの設計値と中心座標のズレ量について X, Y に分けて示している。なお、レンズ上にゴミがあり計測時に影響を及ぼしている箇所の結果については除外している。

表7 設計値からの中心座標ズレ量の測定結果
(マイクロレンズアレイ中心を基準座標として表示)

設計値からのズレ量 X (μm)

Y9			2.42	1.16	-0.58	-2.26	-3.48		
Y8		4.44	3.49	1.76	-0.36	-2.44	-4.07	-5.15	
Y7	4.88	5.10	3.71	1.93	-0.12	-2.16	-3.83	-5.13	-5.07
Y6	5.73	5.36	3.72	1.95	-0.07	-1.90	-3.71	-5.13	-5.39
Y5	5.06	4.96	3.30	1.71	0.00	-1.56	-2.98	-4.32	-4.50
Y4	4.42	4.42	3.08	1.47	0.09	-1.43	-2.76	-3.90	-3.93
Y3	2.08	3.05	2.15	1.02	0.16	-0.64	-1.70	-2.57	-1.77
Y2		1.63	0.69	-0.30	0.03	0.48	-0.47	-1.51	
Y1			-2.58	-4.22	0.30	4.26	2.67		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9

設計値からのズレ量 Y (μm)

Y9			-7.37	-7.91	-7.75	-7.13	-5.83		
Y8		-6.39	-7.30	-7.33	-7.01	-6.27	-5.41	-3.66	
Y7	-4.09	-5.29	-5.55	-5.41	-4.91	-4.45	-3.67	-2.70	-0.77
Y6	-2.88	-3.38	-3.31	-2.99	-2.42	-1.87	-1.25	-0.20	1.06
Y5	-0.40	-0.51	-0.55	-0.32	0.00	0.55	1.01	1.65	2.64
Y4	0.66	1.24	1.68	2.13	2.63	3.06	3.55	4.10	4.51
Y3	2.38	3.21	3.91	4.56	5.12	5.17	5.02	5.03	4.92
Y2		2.66	4.22	6.40	7.79	7.46	6.11	5.53	
Y1			3.18	(-33.42)	9.43	6.88	4.95		
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9

(1.5) 考察

プラスチック製マイクロレンズアレイの成形試作実験を行った結果、目標値は達成することができたが、今後は以下の点について課題を挙げて改善する必要がある。

1) エアマーク対策

エアマークの原因は射出充填する際に発生する。樹脂の充填速度によってはエアを巻き込んでしまう。樹脂の充填速度を下げる事によりエアを巻き込みにくくする。ただし、充填速度を下げ過ぎるとショートショットが発生しやすくなるため、樹脂温度と金型温度の最適条件を見極める必要がある。

2) 内部歪みの対策

二次元複屈折評価システム（フォトリソグラフィ製）による計測で、内部歪みの目標値としていた複屈折による位相差量については位相差量として 118.5nm を得た。内部歪み（残留応力）を低減するには 1 次圧後の保圧で調整する。最適な保圧条件に関しては成形実験を行って見極める必要がある。保圧時間をもっと長くするためにはランナー部の形状を太くし、ランナー部の樹脂が固化するのを遅くする必要がある。

3) 形状精度(面性状, 曲率, ピッチ, うねり, 表面粗さ)の改善

(a) 金型設計の見直し

金型は成形による収縮を考慮した設計により加工されているが、本実験にて成形されたマイクロレンズアレイのピッチおよび曲率が想定される収縮よりも大きかった。均一な収縮傾向を得ているのであれば金型設計の見直しをかけることで改善が見込まれる。

(b) 成形条件の調整

転写性を上げるためには調整項目として樹脂温度、金型温度、樹脂圧力を上昇させる事で成形の転写率を上げる事は可能であるが、これは単レンズに対する知見であり、本研究にて試作したマイクロレンズアレイについては同様に考える事は出来ない。したがって、成形実験を重ねる事により成形傾向や特性データを把握した上で判断せざるをえない。

(2) ガラス製マイクロレンズアレイの開発

(2.1) ガラス製マイクロレンズアレイの試作

第3章で試作した超硬製マイクロレンズアレイ金型を用いて、ガラス製マイクロレンズアレイの試作を行った。以下の手順で実施した。

図 35 ガラス成型プロセス

- 1) ガラス硝材を金型上にセット。
- 2) チャンバ内の真空化（エア排出）。
- 3) チャンバ内を窒素ガス雰囲気にする。
- 4) 赤外線ランプで金型とガラス硝材を成形温度まで加熱。
- 5) チャンバ内の真空化（エア排出）。
- 6) 型締め後ガラス硝材をプレス。
- 7) 成形されたレンズを窒素ガスにて冷却。
- 8) 設定温度まで冷却後に成形レンズを金型から取り出す。

成形装置の写真を図 36 および図 37 に示す。



図 35 ガラス成型プロセス

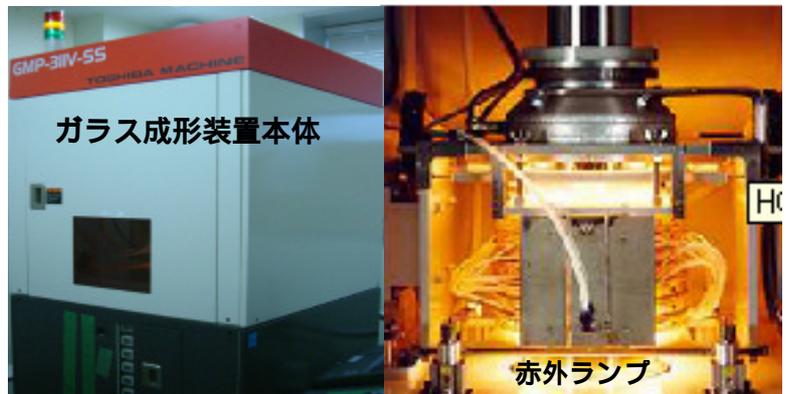


図 36 ガラス成型装置

図 37 成形機内部

(2.2) 気泡対策実験

1) 硝材形状による気泡抑制

円柱形状の硝材を使用．金型の破損を考慮して，設定温度をガラス転移点よりも 40 程度高い 605 とし，ショートショットよりの条件として成形実験を行った．その結果，レンズアレイ成形品の中心箇所を基点にして十字 5 箇所のレンズ頂点付近に気泡（ポア）が発生した．

次に円盤形状の硝材で成形を行った場合，レンズアレイ形状中心部の 1 箇所のみ気泡となった．気泡が発生する金型形状は一樣に凹面形状であり，凸面形状では一切確認出来なかった．つまりこのような気泡発生現象は，凹面形状であるがゆえに硝材が上から蓋をするような状態になり，結果その空間が真空雰囲気にならず空気が残る．その状態で成形を行うことによって（空気の逃げ道がない）気泡となって現れると考える．このことより，硝材は円柱形状に比べ円盤形状が気泡改善の観点からは有効（レンズ形状の閉じる数が少ない）であると考え，円盤形状の硝材で成形条件の最適化検討を行った．

2) 成形温度による気泡抑制

ガラス成形においては気泡の発生が頻繁に起こる．そこで，気泡の抑制法について検討を行った．成形温度を 575~620 において 620 より 5 間隔で温度を下降させて気泡の出方を観察した．成形温度以外の設定値・成形体積の条件は変えずに成形を行った．その時の結果を図 38 に示す．温度下降に共なって気泡サイズが小さくなって行き，575 での成形において気泡が消失していることがわかる．このことより，硝材の粘性が上がる事で金型を押し切るまでに空気が抜けるような変形が硝材に起こった可能性が考えられる．

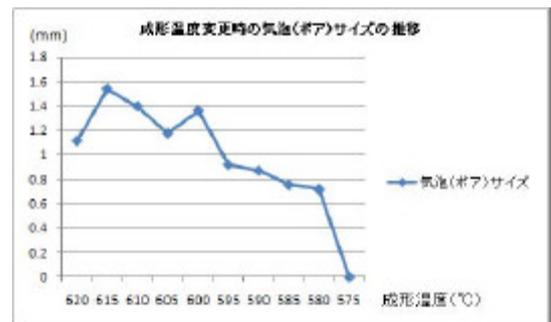


図 38 成形温度と気泡の直径

(2.3) ガラス製マイクロレンズアレイ試作品の評価

1) 形状精度

ガラス製マイクロレンズアレイの形状精度について，3x3 レンズアレイの 9 箇所について非接触三次元測定器 NH にて形状測定を行った結果を図 39 に示す．形状結果についてはベスト R フィッティング処理にて解析を行い，その差分についてを重ね合わせグラフ表示した．0.6 μmP-V の形状精度が得られ，目標精度の 1 μmP-V が得られている．

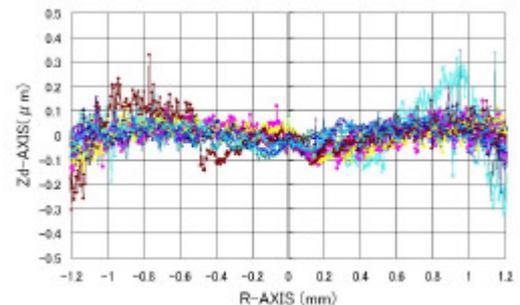


図 39 ガラス製マイクロレンズアレイ 9 箇所の形状精度

2) 内部歪みの評価

超硬製マイクロレンズアレイ金型を用いてガラス成型したレンズアレイ（図 41）の内部歪みを確認するために，2次元複屈折評価装置を用いて成型品の評価を行った．体積が 0.978cc の円柱形状ガラス材（オハラ L-BAL42）を用いて成形温度 575 にて成形された試作品を測定した．その結果，最大 31nm を確認し，目標値である 130nm 以下には収まっていた．

次に，体積が 0.526cc の円盤形状のゴブ材・プリフォーム（住田光学 K-VC89）を用いて成形した結果を図 42 に示す．気泡が無くなった 575 付近で内部応力も軽減していることがわかる．

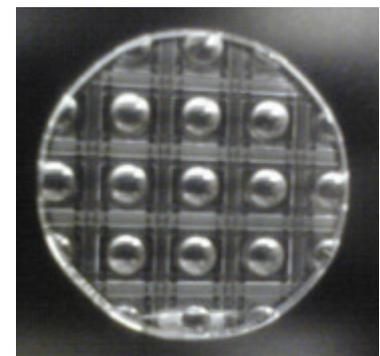


図 41 ガラス製マイクロレンズアレイ試作品

3) 非接触三次元測定器 NH を用いて試作品のピッチ評価

第 4 章にて開発したマイクロレンズアレイ形状評価ソフトを用いて，レンズ箇所のみを自動的に形状測定および中心座標算出までを行い，設計値とのズレを求める測定を行った．ズレの表示についてはアレイ中心レンズを基準座標として表示をしている．表 8 にズレ表示結果を示す．各レンズアレイでのズレ量について，Y に分けて示す．

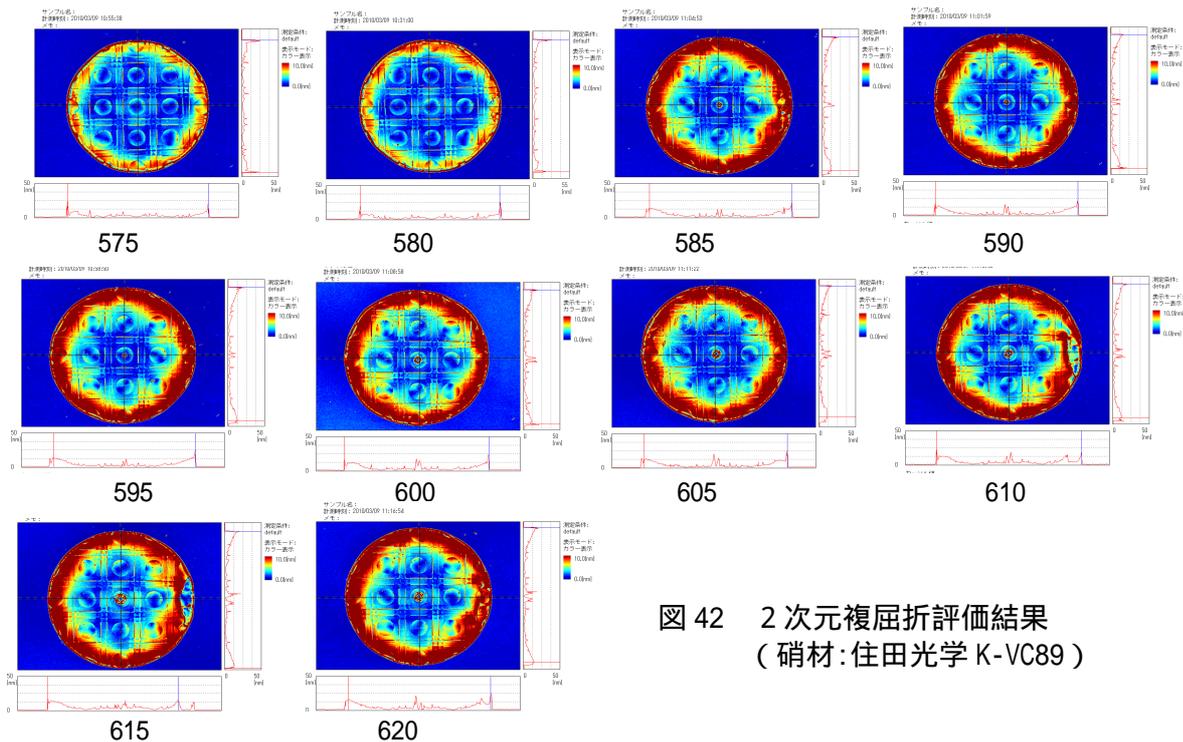


図 42 2次元複屈折評価結果
(硝材:住田光学 K-VC89)

表 8 設計値からの中心座標ズレ量結果 (アレイレンズ中心を基準座標として表示)

	設計値からのズレ量 X (μm)			設計値からのズレ量 Y (μm)		
	X1	X2	X3	X1	X2	X3
Y3	10.50	-0.02	-11.40	11.53	11.11	10.44
Y2	10.82	0.00	-10.69	-0.06	0.00	-0.16
Y1	11.59	0.12	-10.60	-10.55	-10.80	-11.73

(2.4) 考察

(1) 硝材形状の選定

円柱形状より円盤形状の方が気泡をキャンセルしやすいことがわかった。

(2) 成形温度による気泡抑制

620 と 575 での成型を比べると 575 が、気泡がキャンセルしやすいことがわかった。

硝材の粘性が上がる事で金型を押し切るまでに空気が抜けるような変形が硝材に起こった可能性が考えられる。

(3) 内部歪みと温度の関係

620 と 575 での成型を比べると 575 が、より内部歪みが小さくなる結果を得られた。金型の離型性との相関もあるのでこの結果を有効に利用したい。

第 6 章 全体総括

本研究テーマ「次世代ウエハレベルカメラ用マイクロレンズアレイ金型の超精密加工技術およびレンズ成形技術の研究開発」について総括する。WLC (ウエハ・レベル・カメラ) 用加工プロセスを実用化するには、「マイクロレンズアレイ用金型の製造技術」, 「マイクロレンズアレイの成形技術」, 成形金型と成形レンズを評価するための「マイクロレンズアレイ用測定技術」の各々のテーマを達成しなければならなかった。従来の金型製造方法で加工する個々のレンズ金型と異なり、複数個のレンズの集合体であるマイクロレンズアレイの金型を製作するには次の課

題の解決も新たに不可欠であった。個々のレンズの形状精度の安定化，個々のレンズの表面粗さの安定化，個々のレンズ間ピッチの安定化

この課題に対して同時4軸制御のオフセット切削技術および研削法技術の開発により，プラスチックレンズ成形用の無電解Niメッキ製のマイクロレンズアレイ金型，ガラスレンズプレス成形用の超硬製のマイクロレンズアレイ金型を目標精度まで達成することが可能となった。そしてその試作金型により，プラスチック及びガラスによる試作成形を繰り返し，レンズ内部歪みを低減し，成形時における気泡が低減する条件を模索した。歩留はまだ検討を要するが，精度面での目標は達成することができた。さらにウェハレベルカメラ用マイクロレンズアレイおよび金型用に特化した測定器の開発に取り組んだ。その結果，ブルーレーザ搭載，レンズアレイ測定に特化した計測機能，ステージ精度の直交度を極める高精度ステージ補正を備えたマイクロレンズアレイ向けの測定器を開発することができた。

今回の研究課題が実用化レベルに達するにはまだ課題は少なくない。マイクロレンズアレイのレンズ個数が増えれば，工具磨耗による加工精度の悪化，歩留の悪化が顕著になることが予想される。また大面積のレンズアレイを成形すると，内部歪み，気泡の残留などの問題も生じる。

このように課題も多いものの，WLC工法のメリットを再度確認すると下記に示すことが挙げられる。大幅なコストダウンが可能，金型による大量生産，プロセスの簡易化とそれに伴うサイクルタイムの向上，調芯レス化が可能

WLCの工法が確立すれば，上記のメリットが達成できるまさに「夢の工法」である。「夢の工法」を実現するには，直面する課題に向き合う勇気が必要である。課題が多いというのは，ビジネスチャンスが多いということでもある。WLCに携わるビジネスは様々な方面で予測される。しかし，どのパートでアドバンテージをとるのかしっかり狙いを定めて事業化を目指したい。

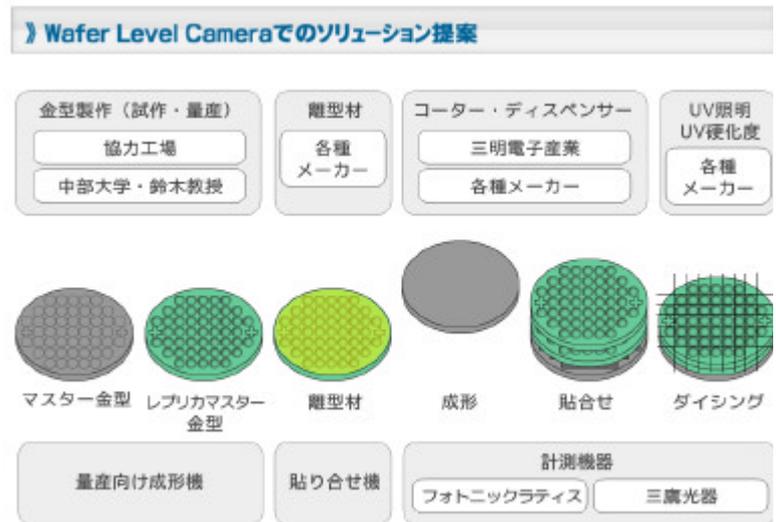


図 43 WLC 製造プロセス

戦略的基盤技術高度化支援事業に提案計画書で掲げた事業計画であるが，すでに事業管理法人(株)菱光社のホームページに掲げるWLC製造プロセスを図43に示すように，ビジネス化にまい進している¹²⁾。WLCという難易度の高い金型製作を掲げることによって，図44に示すように高精度金型の受託をビジネスモデルにした。今回のプロジェクトを基点にして，今後も(株)菱光社，中部大学，日精テクノロジー(株)が以下を分担し，連携し，このビジネスモデルに携わって行く。

(株)菱光社：市場調査，顧客開拓，計測保証・評価装置の販売，金型と試作レンズの販売，

日精テクノロジー(株)：金型設計・試作・量産・成形

中部大学：実製品用レンズの成形型の超精密加工技術の開発



図 44 高精度金型受託ビジネスモデル

また、WLC向け超精密金型の製造技術をナノインプリントという大きな市場にも目を向け、図45に示すようにナノインプリント技術もビジネスプランにした。ウェハサイズの円盤状の金型、すなわちスタンプと呼ばれている金型にも今回培った金型技術は十分に適用できる。ナノインプリントの工程の最も上流に位置するのがスタンプ(金型)である。スタンプ(金型)を押えることによって、成形技術の提供、測定技術の提供とナノインプリントの全般的なソリューション提案もプロジェクトグループで可能となった。



図 45 ナノインプリントソリューション提案

また、技術開発のみでなく、これらの技術を以下の事業化P

R活動を通じて、顧客開拓、新たなパートナーの開拓、試作を進めていく。

- (1) (財)科学技術交流財団・超精密加工研究会での研究紹介・PR(4回開催/年, 会員100名強)
- (2) 日本機械学会, 精密工学会, 砥粒加工学会, 工作機械見本市(JIMTOF), インターモールド展示会, レンズ展での成果の展示およびPR。

参考文献・引用文献

- 1) 瀧野日出雄：ガラスレンズの製造技術，精密工学会誌，70，5(2004)，619。
- 2) 鈴木浩文，鎌野利尚，谷岡鉄也，島村和弘，横山三自，小宮山吉三，北嶋孝之，奥山繁樹：マイクロ非球面光学部品のガラス成形に関する研究 - 凝固収縮過程における変形補正による形状精度の向上 - ，精密工学会大会学術講演論文集，2(1999)，266
- 3) 鈴木浩文，三浦勝弘：超精密加工における複雑形状計測，機械の研究 59，2(2007)，233-240。
- 4) 守安精，山形豊，森田晋也，大森整，林偉民，牧野内昭武：機上測定におけるプローブ取付誤差の精度への影響，日本機械学会第2回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集，(2000)109-110。
- 5) 鈴木浩文：複雑形状の非球面工学部品の超精密加工における形状計測の現状とその動向，日本機械学会講習会教材(2001)，1-8。
- 6) 鈴木浩文，小寺直，杉本耕一，太田努：非球面形状の機上測定システムの開発，精密工学会誌，61-11，(1995)1594-1598
- 7) 渡辺俊夫：ブルーレイディスク，日本機械学会誌，107-1030，(2004)714。
- 8) 守安精，中川威雄，森田晋也，山形豊，大森整，牧野内昭武，加藤純一，山口一郎：機上計測用高精度小型触針式形状測定センサの開発，1999年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(1999)196。
- 9) 山口勝己，村田一夫，北川清一郎，大割寛，今村公亮，島田尚一，井川直哉：非軸対称非球面のラスタ切削加工における形状誤差(気圧変化にともなうレーザ測長誤差の影響)，日本機械学会論文集(C編)，68，665(2002)308。
- 10) 大西孝，鈴木浩文，山本雄士，森脇俊道，沖野正，守安精，山形豊：非球面形状のオンマシン計測システムの開発(第1報)，2006年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(2006)217-218。
- 11) 鈴木浩文ら；マイクロ非球面光学部品のガラス成形に関する研究，1999年度精密工学会秋季講演論文集，(1999)266。
- 12) 株式会社菱光ホームページ <<http://www.ryokosha.co.jp/products/microfabrication.html>>