

Herstellung gechrpter Mikrolinsenarrays durch Reflow von Fotoresist



Frank Wippermann



Jacques Duparré



Peter Dannberg



Peter Schreiber



Andreas Bräuer

Herkömmliche Arrays bestehen aus einer sich wiederholenden Anordnung einer Einheitszelle auf einem festen Raster. Dies ist für einige Anwendungen nachteilig, da die Linsen nicht einzeln für ihre spezielle Aufgabe optimiert werden können, sondern eine Kompromisslösung darstellen. Gechrpte Arrays lösen die starre Anordnung einheitlicher Linsen auf. Die Arrays bestehen aus individuell angepassten Zellen, die mittels parametrischer Beschreibung definiert sind. Die Zahl erforderlicher Parameter hängt hierbei von der konkreten Geometrie der Linsen ab. Die Zelldefinition kann durch analytische Funktionen beschrieben oder durch numerische Optimierungsverfahren gewonnen werden. Allen gechrpten Arrays ist hierbei die Abhängigkeit der Funktionen von der Position der jeweiligen Zelle im Array gemein.

Zur Herstellung von Mikrolinsenarrays eignet sich im Besonderen das Schmelzen von Fotoresist, mit dem besonders glatte und gut definierte Oberflächen hergestellt werden können /1/. Hierbei werden die nach der Entwicklung des durch eine Maske bestrahlten Resists entstandenen Zylinder aufgeschmolzen, was durch das Wirken von Oberflächenspannungen zur gewünschten Linsenform führt (Abb. 1).

Um gechrpte Arrays herzustellen, muss auch die Maske aus individuell geformten Zellen bestehen. Da kommerziell verfügbare Software lediglich für die Herstellung regulärer Arrays ausgelegt ist, waren neue Software-Tools zu erarbeiten. Sinnvolle Randgeometrien der Linsen für den Reflowprozess sind Rechtecke (Zylinderlinsen), Kreise (sphärische Linsen) und Ellipsen (anamorphotische Linsen).

Letztere ermöglichen eine effektive kanalweise Korrektur von Astigmatismus und Bildfeldwölbung, sofern die einzelnen Linsen des Arrays für unterschiedliche Feldwinkelbereiche genutzt werden, wie dies z. B. bei der Insektenaugenkamera (ultra-dünne Kamera) der Fall ist /2/, /3/. Zur Beschreibung des Arrays elliptischer Linsen sind fünf Funktionen erforderlich, die analytisch abgeleitet werden können (Abb. 2). Das optische Design führte zu einer Belichtungsmaske mit etwa 20 000 individuell geformten, positionierten und gedrehten Ellipsen.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die gute Übereinstimmung der gemessenen Werte der Krümmungsradien der elliptischen Linsen mit den Designwerten und die beugungsbegrenzte Abbildungsqualität. Gechrpte Arrays ermöglichen damit neue Designfreiheiten für die Gestaltung von Mikrolinsenarrays, die für Aberrationskorrektur und verbesserte Integration genutzt werden können.

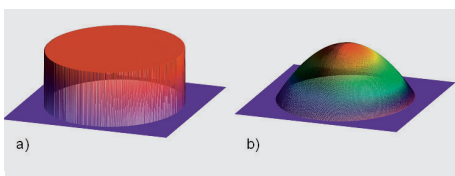


Abb. 1:
a: Resist-Zylinder mit elliptischer Basis.
b: Computer simulierte Oberfläche des elliptischen Zylinders nach Schmelzprozess.

Fig. 1:
a: Resist cylinder with elliptical rim.
b: Computer simulated surface by iterative melting of a resist cylinder with elliptical rim.

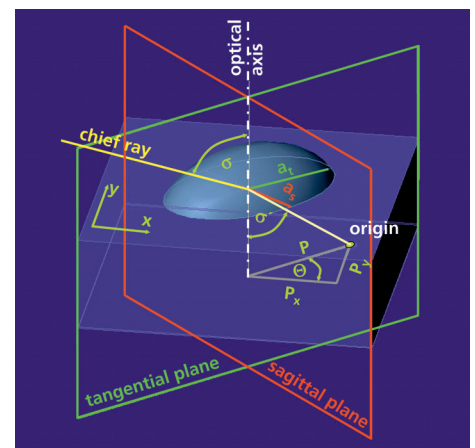


Abb. 2:
Geometrie elliptischer Linsen; Parameter: Halbachsen der Ellipse (Tangential- und Sagittalebene), Koordinaten des Scheitelpunktes (P_x und P_y) und Drehwinkel Θ .

Fig. 2:
Geometry of the ellipsoidal lens; parameters: axes of the ellipse (tangential and sagittal plane), coordinates of the vertex position (P_x and P_y) and orientation angle Θ .

Chirped arrays of micro-lenses by reflow of photoresist

Conventional arrays consist of a repetitive arrangement of a unit cell on a fixed, equidistantly sectioned grid. This is disadvantageous for many applications because the cells cannot be individually optimized for their specific optical function but instead the design is a compromise which enables a sufficient, overall performance. In a chirped array, the inflexibility of a regular arrangement has been overcome. Here, the array consists of individually shaped lenses which are defined by a parametric description of the cells optical function. The number of parameters needed depends on the geometry to be described. The parameters each cell possesses can be defined by analytical functions or by using numerical optimization techniques. Dependency on the position of the cell within the array is a characteristic of these functions.

Reflow of photoresist, which leads to very smooth and well defined surfaces, is a fabrication technology for the creation of micro-lenses with superior optical performance [1]. In this process, a layer of photoresist is patterned by exposure through a photolithographic mask. After the development process this leads to resist cylinders, which are subsequently melted. The surface of the lenses is formed by surface tension effects (Fig. 1).

For creating a chirped micro-lens array, the mask determining the bases of the lenses consists of individually shaped cells. Since commercially available software can only deal with regular arrays (repeating structures) new software tools were developed by us. Stringent limitations to viable rim geometries and therefore to the 3D-surfaces apply which make rectangles (cylindrical lenses), circles (spherical lenses) and ellipsoids (anamorphic lenses) the most useful forms.

The latter enables an efficient, channel-wise compensation of off-axis aberrations like astigmatism and field curvature when the single cells of the array are working under different angles of incidence e.g. in the artificial apposition compound eye objective (ultra-thin camera) [2, 3]. For the definition of the chirped array of ellipsoidal lenses, five describing functions are needed (Fig. 2), which can be derived completely analytically. The optical design data has to be translated into a photolithographic mask which consists of about 20 000 individually shaped, translated and rotated ellipses.

The parameters of the lenses of the fabricated chirped array match the design data extremely accurately (Fig. 3) and show diffraction limited performance for each single channel (Fig. 4). Chirped micro-lens arrays open up novel design possibilities which enable aberration compensation and improved integration.

References:

- /1/ Daly, D. et al: "The manufacture of micro-lenses by melting of photoresist", J. Meas. Sci. Technol. 1, pp. 759–766, (1990)
- /2/ Wippermann, F.; Duparré, J.; Schreiber, P.; Dannberg, P.: "Design and fabrication of a chirped array of refractive ellipsoidal micro-lenses for an apposition eye camera objective", Proc. of Optical Design and Engineering II, L. Mazuray and R. Wartmann, eds., SPIE 5962, (2005).
- /3/ Duparré, J.; Frank Wippermann, F.; Dannberg, P.; Reimann, A.: "Chirped arrays of refractive ellipsoidal microlenses for aberration correction under oblique incidence", Optics Express 13 (2005) 26 p. 10539–10551, ISSN 1094-4087.

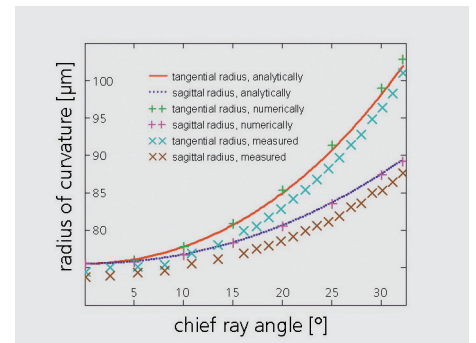


Abb. 3: Berechnete und gemessene Krümmungsradien (tangential und sagittal) eines durch Reflow hergestellten gechirpten Arrays elliptischer Linsen zur Kompensation von off-axis Aberration eines künstlichen Facettenaugenobjektivs (ultra-dünne Kamera).

Fig. 3: Calculated and measured tangential and sagittal radii of curvature of a chirped array of ellipsoidal micro-lenses used for off-axis aberration compensation of the artificial apposition compound eye objective (ultra-thin camera).

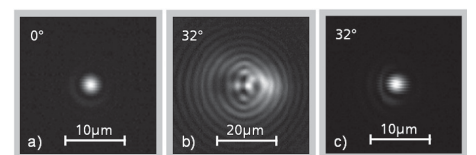


Abb. 4: Gemessene Intensitätsverteilungen im Fokus von durch Reflow hergestellten Mikrolinsen.
a: sphärische Linse unter senkrechtem Einfall mit beugungsbegrenzter Abbildungsqualität.
b: sphärische Linse unter schrägem Einfall (32°).
c: elliptische Linse unter schrägem Einfall (32°) mit beugungsbegrenzter Abbildungsqualität.

Fig. 4: Measured intensity distributions in the focal plane of micro-lenses fabricated by reflow.
a: spherical lens under perpendicular incidence with diffraction limited performance.
b: spherical lens under oblique incidence (32°).
c: ellipsoidal lens under oblique incidence (32°) with diffraction limited performance.