

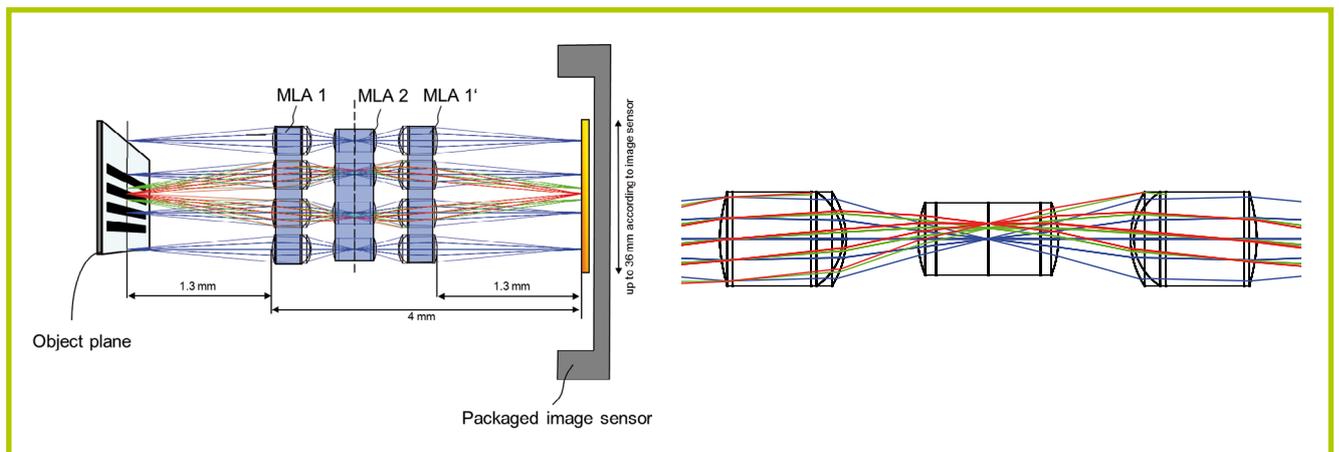
FLACHBAUENDES MIKROSKOP

ULTRA-THIN MICROSCOPE

Mikroskope sind abbildende optische Systeme zur Betrachtung kleiner Objekte und Strukturen, die dem menschlichen Beobachter mit unbewaffnetem Auge verborgen bleiben. Nicht zuletzt durch das Wirken in Jena agierender Pioniere der Mikroskopie wurde das Erscheinungsbild derartiger Instrumente geprägt: ein zylindrischer Tubus von etwa 150 mm Länge mit einem Objektiv an einem Ende, welches dem Objekt gegenübersteht, und einem Okular am gegenüberliegenden Ende, durch das der Betrachter mit seinem Auge blickt.

Microscopes are imaging systems used to visualize small objects and structures which cannot be seen by the naked human eye.

The appearance of the instrumentation was not least defined by the work of Jena-based pioneers of microscopy: a cylindrical tube of about 150 mm length with an objective at one end facing the object and an ocular at the distal end which is looked through by the examiner's eye.



1 Links: schematische Darstellung der Arrayanordnung der Abbildungskanäle des ultra-dünnen Mikroskops. Rechts: Detailansicht der Abbildungsoptik aus drei Substraten und insgesamt acht Mikrolinsenarrays. | Left: schematic drawing of the ultra-thin microscope consisting of an array of imaging channels. Right: detail of the imaging optics consisting of three substrates carrying in total eight microlens arrays.)

Das entwickelte flachbauende Abbildungssystem verfügt über eine grundlegend andere Morphologie, greift jedoch Ideen des konventionellen Aufbaus auf und verfolgt denselben Zweck eines μικρός (klein) σκοπεῖν (betrachten).

Entgegen konventionellen Systemen verfügt das ultra-dünne Mikroskop über eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Abbildungskanälen, die jeweils einen Teilbereich des Gesamtobjekts mit einem Gesamtabbildungsmaßstab von 1 übertragen und aneinander lückenlos anschließende Teilbilder generieren [1, 2]. Das aus drei Komponenten bestehende System ist spiegelsymmetrisch zur Mittelebene, die gleichzeitig die Zwischenbildebene des Objektivs darstellt (Abb. 1). Folglich sind die erste und dritte Baugruppe identisch, wodurch sich der Herstellungsaufwand deutlich reduziert. In der Baugruppe finden mikrooptische Asphären und Achromaten Verwendung, um chromatische als auch monochromatische Abbildungsfehler zu korrigieren und hohe Auflösungen bei möglichst großem Wellenlängenbereich zu realisieren.

Die laterale Ausdehnung der Arrays aus Abbildungsoptiken ist prinzipiell nicht begrenzt, so dass quasi beliebig große Objektflächen mit hoher Ortsauflösung ohne Notwendigkeit einer zeitlich sequenziellen Bildaufnahme (Scannen) betrachtet werden können. Die Multiaperturanordnung erlaubt damit zum einen eine deutliche Reduzierung der optischen Baulänge auf 5,3 mm und zum anderen die simultane Beobachtung großer Objektfelder mit einer Ortsauflösung von 5 µm.

2 *Prototyp der Abbildungsoptik eines ultra-dünnen Mikroskops im Größenvergleich zu einer Ein-Eurocent-Münze.*

3 *Vollständig assemblierter Demonstrator des ultra-dünnen Mikroskops unter Nutzung eines Vollformatbildwandlers mit einem Objektfeld von 36 × 24 mm² und 16 Megapixeln.*

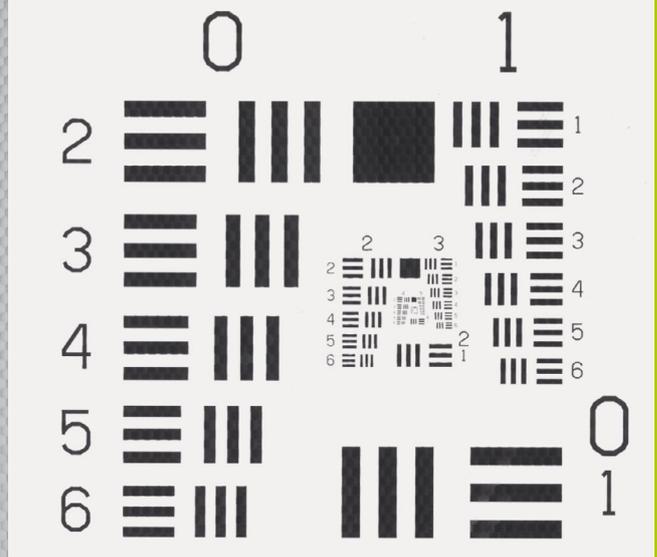
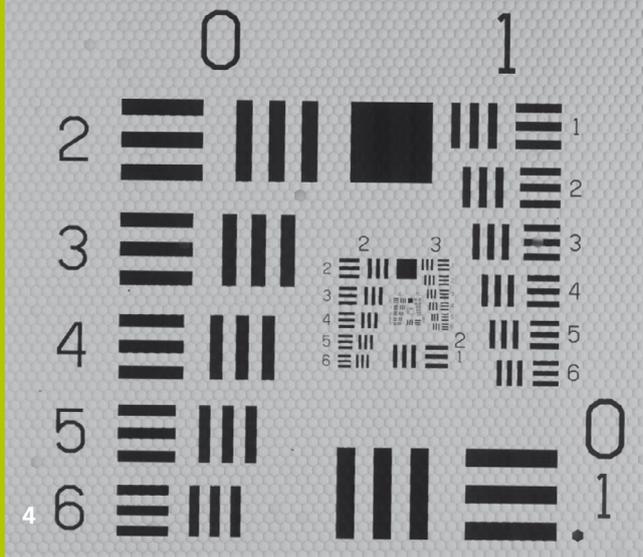
The newly-developed ultra-thin imaging system possesses a significantly different morphology but still uses principles of the conventional layout and is dedicated to the same goal of a μικρός (small) σκοπεῖν (watch).

In contrast to conventional systems, the ultra-thin microscope possesses a multitude of adjacently-placed neighboring imaging channels each transmitting a part of the overall object with unity imaging scale [1, 2]. The three-component setup has a symmetrical layout with respect to its intermediate image plane (Fig. 1). In consequence, the first and the third lens group are identical, leading to reduced fabrication costs. Micro-optical aspheres and achromatic doublets are used in the setup for correcting chromatic and non-chromatic aberrations in order to achieve high resolution at a broad wavelength spectrum.

Theoretically, the lateral extent of the array of imaging channels is not limited, allowing for examination of an almost arbitrary object field with high image fidelity and without the need for sequential imaging acquisition as in scanner optics. The advantages of the multi-aperture layout are thus twofold: first, it allows for a reduction of the total track length to 5.3 mm, and second, the simultaneous examination of large object field with a lateral resolution of 5 µm.

2 *Prototype of a completely assembled imaging optic of an ultra-thin microscope in comparison to a one-euro-cent coin.*

3 *Completely assembled demonstrator of the ultra-thin microscope using a full format image sensor with a light sensitive area of 36 × 24 mm² having 16 million pixels.*



Die Optimierung und Auslegung des Abbildungssystems erfolgte für Demonstratoren auf Basis eines Bildsensors mit einer aktiven Fläche von $6,6 \times 5 \text{ mm}^2$ (Abb. 2) und weiterhin eines Vollformatbildsensors mit einer aktiven Fläche von $36 \times 24 \text{ mm}^2$ (Abb. 3) [3]. Die sphärischen Linsen der Arrays wurden durch Reflow von strukturiertem Fotoresist und anschließender Abformung von UV-Polymeren unterschiedlicher Dispersion erzeugt. Die asphärischen Linsen wurden durch Ätztransfer mittels reaktiven Ionenätzens (RIE) in Kieselglas erzeugt und nachfolgend in UV-aushärtbare Polymere mittels wafer-basierter Replikationstechnik abgeformt. Abbildung 4 zeigt das Rohbild eines Testmusters nach Aufnahme mit dem ultra-dünnen Mikroskop. Es sind zwei Bereiche mit unterschiedlicher globaler Helligkeit zu erkennen, die durch eine fehlende Feinanpassung der Kameraelektronik an den Imagerchip hervorgerufen wird.

Weiterhin sind die einzelnen Kanäle der Abbildungsoptik an dem Abfall der Bildhelligkeit in jedem Kanal zu erkennen. Beide Effekte sind unabhängig vom betrachteten Objekt und können mithin durch einfache Bildnachbearbeitung eliminiert werden.

Die Möglichkeit, große Objekte mit hoher Ortsauflösung simultan abzubilden, sowie der geringe Bauraumbedarf eröffnen Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen wie Medizintechnik, Oberflächen- und Dokumentenprüfung.

4 Links: Rohbild einer Teststruktur. Die unterschiedlichen Bildhelligkeiten zwischen rechter und linker Bildseite sind durch die Elektronik des Bildwandlers bedingt. Durch den Randabfall der Bildhelligkeit in jedem Kanal sind die Einzelkanäle des Aufbaus erkennbar. Rechts: Bild der Teststruktur nach einfacher Bildnachbearbeitung.

The optimization of the imaging system was done for two prototypes using imagers with a light sensitive area of $6.6 \times 5 \text{ mm}^2$ (Fig. 2) and a full format imager ($36 \times 24 \text{ mm}^2$, Fig. 3) [3].

Reflow of photo resist was used in order to fabricate spherical microlens arrays which were subsequently copied by UV-replication into polymer materials of different dispersion characteristics. The aspheric lenses were fabricated by transfer etching based on reactive ion etching (RIE) into silica and a subsequent wafer level based replication into UV-curing polymers. Figure 4 shows a raw image of a test chart imaged by the ultra-thin microscope. Two areas of different brightness can be recognized which are caused by the internal electronics of the imager.

Additionally, the individual channels can be identified due to the decreasing illumination at the margin of each imaging channel. Both effects can be completely eliminated using simple image processing software tools.

The opportunity for simultaneous image acquisition of a large object field with high spatial resolution in combination with an ultra-thin layout enables new applications in the fields of medical analysis, surface and document characterization.

4 Left: raw image of a test target. The areas of different brightness are caused by the internal electronics of the image sensor. The individual channels can be identified due to the decreasing illumination at the margin of each imaging channel. Right: both effects can be completely eliminated using simple image processing software tools.

Literatur/References

- [1] Hogle, W. B.; Dändliker, R.; Herzig, H. P.: Lens array photolithography, GB patent appl. 224080.3 (1992), U.S. pat. 08/114,732 (1993).
- [2] Völkel, R.; Eisner, M.; Weible, K. J.: Miniaturization of Imaging Systems, MST/MEMS for production engineering, mstnews 2/03.
- [3] Brückner, A.; Duparré, J.; Wippermann, F.; Leitel, R.; Dannberg, P.; Bräuer, A.: Ultra-compact close-up micro-optical imaging system, Proc. SPIE 7786, 77860A, 2010.

AUTHORS

Frank Wippermann

Andreas Brückner

Jacques Duparré¹

Robert Leitel

Wolfgang Buss

Bernd Höfer

¹ *Pelican Imaging, Mountain View,
CA, USA*

CONTACT

Dr. Frank Wippermann

Phone +49 3641 807-437

frank.wippermann@iof.fraunhofer.de