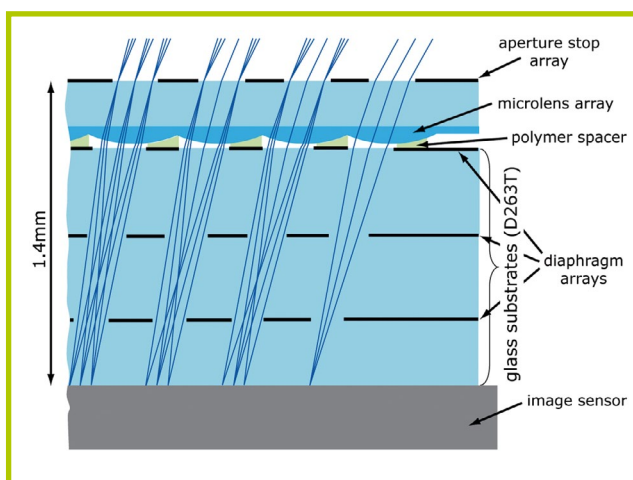


## ULTRA-DÜNNNE KAMERA MIT VGA-AUFLÖSUNG

## ULTRA-THIN CAMERA WITH VGA RESOLUTION

Die Verwendung von miniaturisierten Kamerasystemen in mobilen Endgeräten (z. B. Mobiltelefone, Laptops und Automobil-Kameras) bedarf sowohl der Verkleinerung von opto-elektronischen und elektronischen als auch von optischen Komponenten. Die Grundvoraussetzungen dafür sind eine kurze Brennweite sowie eine geringe Anzahl an optischen Komponenten der Abbildungsoptik. Des Weiteren entsteht durch die Miniaturisierung Bedarf an einem erhöhten bildseitigen Auflösungsvermögen und erhöhter Lichtempfindlichkeit (bzw. numerischer Apertur).

The application of miniaturized camera systems in mobile devices (e. g. mobile phones, laptops, and automotive cameras) demands not only the shrinking of opto-electronic and electronic but also of optical components. A short focal length as well as a low number of components of the imaging optics are the basic requirements to achieve that goal. Furthermore, the miniaturization gives rise to additional demands such as increased image resolution and light sensitivity (in terms of numerical aperture).



1 Schematischer Schnitt durch den Schichtaufbau eines elektronischen Clusterauges. | Schematic section of the layered structure of an electronic cluster-eye.



Für die kleinsten konventionellen Objektive haben sich Herstellungsmethoden der Mikrosystemtechnik (speziell: die UV-Abformung von ultra-präzisionsbearbeiteten Mastern sowie Wafer-Stapeln und Bonden) bereits durchgesetzt. Allerdings ist die sogenannte Wafer-Level-Optik (WLO) aufgrund der Schrumpfung bei der Abformung von Linsen mit großen Pfeilhöhen und Problemen bei der Einstellung exakter Schichtdicken im Falle von Einzelaperturoptiken bisher auf Auflösungsvermögen bis maximal VGA begrenzt.

Wir haben ein ultra-dünnes VGA-Kameramodul gemäß eines alternativen Systemansatzes realisiert: ein mikrooptisches Modul, welches verschiedene Teile des Gesichtsfeldes in getrennten optischen Kanälen erfasst (Abb. 1 und 2). Die verschiedenen Mikrobilder werden mittels Software digital zu einem Gesamtbild des kompletten Gesichtsfeldes von  $58^\circ \times 45^\circ$  zusammengefügt (Abb. 3). Die Aufteilung des Gesichtsfeldes entkoppelt den Zusammenhang zwischen Brennweite und Gesichtsfeldgröße und ermöglicht somit die Realisierung einer gegenüber Einzelaperturoptiken etwa halben Baulänge des optischen Aufbaus. Inspiriert von den Facettenaugen der Insekten, erlaubt dieses Prinzip ein VGA-Objektiv mit einer Baulänge von 1,4 mm auf einem Bildsensor mit einer Pixelgröße von  $3,2 \mu\text{m}$  (Abb. 4) [1]. Eine kurze Brennweite und ein kleines Gesichtsfeld pro Kanal eröffnen obendrein die Möglichkeit, einfache optische Komponenten wie Mikrolinsen mit geringen Pfeilhöhen einzusetzen, wie sie durch das Schmelzen von Photoresist erzeugbar sind.

**2** Bild eines CCTV-Testmusters, wie es durch den Bildsensor des Demonstrators mit einer vollen Auflösung von 3 MP aufgenommen wurde. Der Rahmen zeigt einen vergrößerten Bereich der  $17 \times 13$  Mikrobilder.

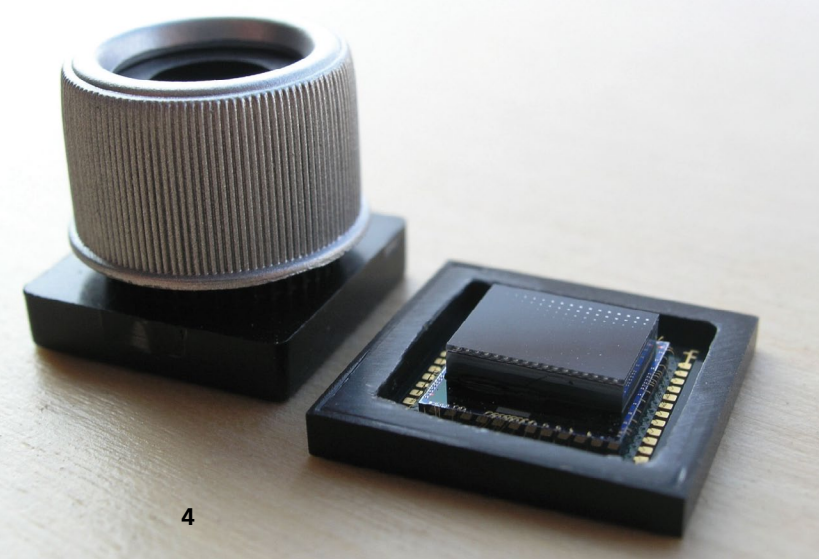
**3** Außenansicht des Instituts, aufgenommen mit dem elektronischen Clusterauge.

Fabrication methods known from microsystems technology (especially UV-molding of ultra-precision machined masters as well as wafer stacking and bonding) have already been established for the tiniest conventional imaging systems. However, so-called wafer level optics (WLO) is limited to resolutions up to VGA for single aperture optics so far, because the molding of lenses with high sags suffers from polymer shrinkage and insufficient layer thickness control.

We realized an ultra-thin VGA camera module with an alternative system approach using a microoptical module which captures different portions of the object field of view within separated optical channels (see Figs. 1 and 2). These different micro-images are joined together digitally by software to form a total image of the full field of view of  $58^\circ \times 45^\circ$  (Fig. 3). The segmentation of the full field of view decouples focal length from the size of the field of view and thus half of the total track length may be realized for the optical setup when compared to single aperture optics. This concept, which is inspired by the insect compound eye, allows fitting a VGA lens in a total track length of 1.4 mm on an image sensor with  $3.2 \mu\text{m}$  pixel pitch (Fig. 4) [1]. A short focal length and a small field size per channel additionally enable the application of simple optical components such as microlenses with small sag, as can be created by reflow of photoresist.

**2** Image of a CCTV test chart as it is recorded by the image sensor of the prototype with a full resolution of 3 MP. The inset shows a magnified section of the  $17 \times 13$  micro-images.

**3** A snapshot view on the institute captured by the electronic cluster-eye.



4

Die entsprechenden Module wurden durch etablierte Verfahren der Mikrooptik wie UV-Lithographie, Reflow und UV-Abformung im Wafermaßstab hergestellt. Der Linsen- und der Spacerwafer wurden getrennt voneinander prozessiert und im Wafermaßstab miteinander verbunden – wobei der Linsenwafer mittels Polymer-Abstandshaltern kopfüber auf dem Spacerwafer aufgesetzt wurde.

Im Gegensatz zu früheren Entwicklungen [2, 3] verwendet ein solches elektronisches Clusterauge mehrere Pixel pro Kanal, um eine effektivere Nutzung der aktiven Siliziumfläche und eine höhere Bildauflösung zu erreichen. Zusätzlich dient eine Echtzeit-Bildverarbeitung dazu, die Verzeichnung der einzelnen Mikrobilder zu korrigieren und diese optimal zu einem Gesamtbild zu fusionieren. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem optischen Design geben Grund zur Annahme, dass mikrooptische Abbildungssysteme geeignet sind, um in naher Zukunft Bildauflösungen im Megapixel-Bereich bei einer Baulänge von weniger als 2 mm zu realisieren.

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das BMBF im Projekt »Insekten-inspirierte Abbildungssysteme« (FKZ: 01RB0705A), welches im Rahmen der BIONA-Initiative durchgeführt wird.

Hence, such modules were fabricated on wafer level with well-established microoptical fabrication techniques such as UV-lithography, reflow, and UV-molding. Lens and spacer wafers were generated separately and subsequently bonded together on wafer level – the lens wafer with polymer stand-offs was placed upside down on the spacer wafer.

In contrast to former developments [2, 3], such an electronic cluster-eye uses multiple pixels per channel in order to achieve a more efficient use of the active silicon area and a higher resolution. Additionally, we implemented real-time image processing in order to correct the distortion of the individual micro-images and optimally fuse them into a complete image. Optical design data raises the hope that these types of microoptical imaging systems may be suitable for achieving megapixel image resolution with a total track length of less than 2 mm in the near future.

The authors acknowledge the financial support from the BMBF-funded project "Insect-inspired imaging systems" (FKZ: 01RB0705A) which is part of the BIONA initiative.

4 Prototyp des elektronischen Clusterauges (rechts) im Vergleich zu einem konventionellen Objektiv einer Webcam mit VGA-Auflösung (links).

4 Prototype of an electronic cluster-eye (right) in comparison to a conventional lens of a webcam with VGA resolution (left).

## Literatur/References

- [1] Brückner, A.; Duparré, J.; Leitel, R.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Thin wafer-level camera lenses inspired by insect compound eyes, *Opt. Express* 18 (24), p. 1–16 (2010).
- [2] Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Artificial neural superposition eye, *Opt. Express* 15 (19), p. 11922–11933 (2007).
- [3] Brückner, A.; Duparré, J.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Hoffmann, C.: Ultra-compact vision system for automotive applications, *Proceedings 4th EOS Topical Meeting on Advanced Imaging Techniques*, Jena, Germany (2009), p. 166–167.

## AUTHORS

*Andreas Brückner*

*Peter Dannberg*

*Robert Leitel*

*Alexander Oberdörster*

*Frank Wippermann*

*Andreas Bräuer*

## CONTACT

*Dr. Frank Wippermann*

*Phone +49 3641 807-437*

*frank.wippermann@iof.fraunhofer.de*