

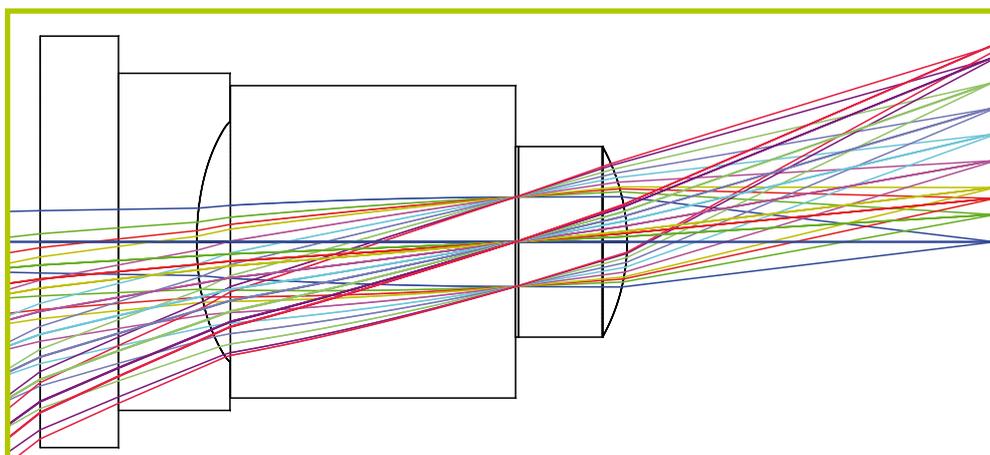
2

## CHIP IN THE TIP – ULTRAKOMPAKTE ENDOSKOPKAMERA MIT VGA-AUFLÖSUNG

## CHIP IN THE TIP – ULTRA-COMPACT CAMERA FOR ENDOSCOPY WITH VGA RESOLUTION

Eines der wichtigsten Hilfsmittel für den Arzt in der medizinischen Diagnostik ist die Visualisierung des Gewebes, um krankhafte Veränderungen der Organe frühzeitig zu erkennen und heilende Maßnahmen einzuleiten. Für die minimalinvasive Chirurgie mit Endoskop-Werkzeugen sind abbildende Kamerasysteme mit minimalen Abmessungen bei guter Auflösung eine der Voraussetzungen für den Operationserfolg.

Visualization is still the most important tool in medical diagnostics to allow for the physician, in combination with their medical knowledge, to detect diseases within the human body and choose healing treatments in order to enable recovery. For minimal invasive surgical operations that use endoscopic tools, imaging camera modules that have both a small volume and a good resolution are necessary to ensure the success of the surgical treatment.



1 *Optisches Design des Kameramoduls mit Geradeaussicht und 75° Gesichtsfeldwinkel. | Optical design of the camera module with straight forward 75° field of view.*

Moderne Technologien der Mikrosystemtechnik ermöglichen, Optik und Bildsensorik in einem System an der Spitze des Endoskops zu integrieren. Abbildung 1 zeigt das optische Design eines ultrakompakten Kameramoduls [1] mit VGA-Auflösung und einem Gesichtsfeldwinkel von 75°. Das Endoskopobjektiv verfügt (von links nach rechts) über ein planparalleles Frontfenster, das hermetisch dicht und langzeitstabil mittels Laserstrahllöten im Endoskoptubus fixiert wird. Das zweite Element, eine einseitig plane Polymerasphäre, wird mittels Diamantdrehen prototypisch und später mittels Spritzguss massentauglich gefertigt. Drittes Element ist eine Gradientenindexlinse (GRINTECH GmbH), die einen bezüglich der optischen Achse rotationsymmetrischen Brechzahlverlauf aufweist und deshalb bei beidseits planen Endflächen eine fokussierende Wirkung generiert. Das abschließende Element der Abbildungsoptik ist eine Polymerlinse mit sphärischem Profil, die durch Diamantdrehen bzw. alternativ durch das Dosieren von UV-härtbarem Polymer in einem Drop-on-Demand-Verfahren hergestellt werden kann. Das hochminiaturisierte Objektiv besitzt eine Baulänge (Abstand erste Planfläche bis zur Bildebene) von 6,4 mm.

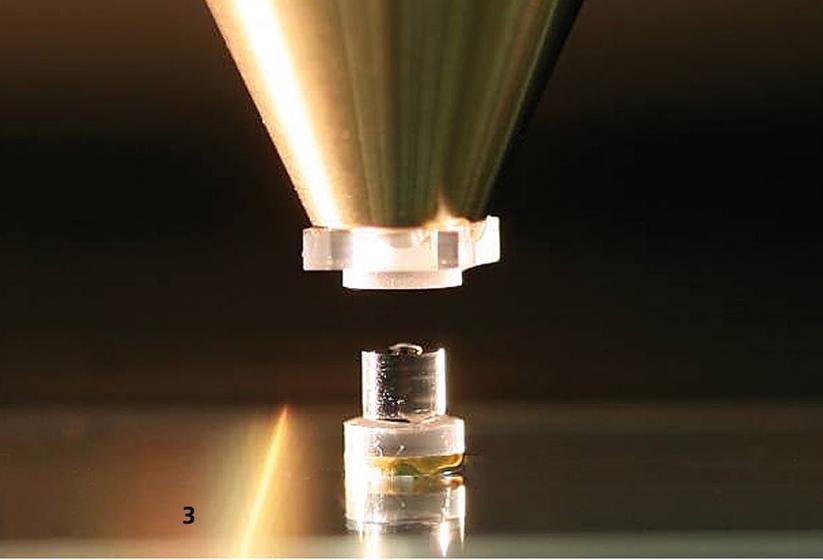
Abbildung 2 zeigt die opto-mechanisch integrierte Gesamtbaugruppe. Eine Besonderheit ist der miniaturisierte Bildsensor mit VGA-Auflösung (X-FAB Semiconductor Foundries AG). Runde Außenkonturen des Sensors und Through-Silicon-Durchkontaktierungen zu dessen Rückseite für die Anbindung an eine keramische Leiterplatte (VIA electronic GmbH) ermöglichen die effektive Belegung der Sensorfläche mit bildgebenden Pixeln bei einem Außendurchmesser des Moduls von 3 mm.

**2 Integrierte Gesamtbaugruppe mit Objektiv, Bildsensor, keramischer Leiterplatte und Twisted-Pair-Anschluss.**

Microsystem technologies now allow for the direct integration of imaging optics and sensors in a system. Figure 1 shows the optical design of such an ultra compact imaging camera system [1] that has VGA resolution and a field of view of 75°. The endoscope objective contains (from left to right) a plan-parallel front window that is used for hermetic encapsulation by laser beam soldering. The second element is plan-concave aspherical polymeric lens that is manufactured directly by diamond turning e. g. in PMMA or later using mass replication technologies such as injection moulding. The third element is a gradient index lens (GRIN-lens) manufactured by GRINTECH GmbH. In contrast to classical lenses with refraction based on surface profiles, such GRIN-lenses have a rotational symmetric refractive index gradient and thus even focus with planar surfaces. The final element is a spherical polymeric lens that can be manufactured by diamond turning again or, alternatively, by the drop-on-demand deposition of a precise volume of UV-curable optical polymer on an area with a defined boundary condition. The whole objective within its specifications has an overall length (distance between front window and image plane) of 6.4 mm.

Figure 2 illustrates the opto-mechanical integration of the whole assembly. The highlight is the miniaturized image sensor with VGA resolution manufactured by X-FAB Semiconductor Foundries AG. A round outer contour of the sensor and through-silicon vias to its backside for the connection to a ceramic printed circuit board (manufactured by VIA electronic GmbH) allow for an efficient arrangement of pixels within an overall diameter for the module of 3 mm.

**2 Opto-mechanical integration of the whole assembly with objective, image sensor, ceramic PCB and twisted-pair-wiring.**



Mit einer Pixelgröße von  $2,8 \mu\text{m}$  und 422 500 Pixel in einem Bildkreisdurchmesser von 2,6 mm lassen sich bis zu 190 Linienpaare/mm auflösen. Die Technologie der Außenkonturierung des Sensors ermöglicht beliebige Formen mit z. B. Freiräumen zum Vorbeiführen von Beleuchtungsfasern. Die auf dem Sensor integrierte Vorverarbeitung bereitet die Bildinformationen so auf, dass diese hinsichtlich des Kontrastes verstärkt und über Twisted-Pair-Leitungen als Video-Stream übertragen werden können.

Neben dem kompakten Design des Kameramoduls ist dessen kosteneffiziente und langzeitstabile, biokompatible Integration von Bedeutung für die Akzeptanz im Bereich der Medizintechnik. Unter Zuhilfenahme der planaren Funktionsflächen einzelner Komponenten kann die Abbildungsoptik mit Hilfe eines Pick&Place-Verfahrens (Abb. 3), bei dem die Außendurchmesser der einzelnen Komponenten coaxial zueinander ausgerichtet werden, ohne aktive Justage montiert werden [2]. Erst bei der Ausrichtung der Optik zum Bildsensor ist für die optimale Abbildung eine aktive Justierung notwendig. Die Abbildungsoptik wird in einem Edeltahlrohr montiert, der beispielhaft die Endoskopspitze repräsentiert. Da aus Gründen der Hygiene wieder verwendbare Endoskope mittels Autoklavieren dekontaminiert werden, ist das optische System geeignet zu verkapseln. Zum hermetischen Verschluss an der Schnittstelle Frontglas–Edeltahlrohr wurde erfolgreich ein spezielles Laserstrahlötverfahren, das Solderjet-Bumping [3], eingesetzt. Mit diesem Verfahren werden diskrete, aber überlappende Volumina der biokompatiblen Weichlotlegierung 80Au20Sn beim Fügen des Frontglases im Edeltahlrohr

With pixel dimensions of  $2.8 \mu\text{m}$  and 422 500 pixels in an image diameter of 2.6 mm, the sensor has a resolution up to 190 line pairs/mm. Its free outer contour allows for the feed through e. g. of illumination fibers, while the integrated pre-processing enhances image contrast and sends the images as a video stream via twisted-pair-wiring.

Besides the compact design of the camera module, its cost efficient and long-term stable, bio-compatible integration is of importance for acceptance within the medical instrumentation market. Using the planar surfaces of the optical components, the imaging optics can be assembled by a simple pick&place technology (Fig. 3), where the outer diameters of the components are coaxially arranged to each other without using expensive active optical alignment [2]. Only when placing the already assembled imaging optics in front of the sensor is active alignment of up to 5 degrees of freedom necessary. The optics is mounted within a stainless steel tube that represents the tip of the endoscope. For reasons of hygiene, reusable endoscopes have to be decontaminated in autoclaves at high temperature and humidity. Therefore, to prevent functional degradation, the optical system has to be encapsulated sufficiently. For the demonstrated module, at the interface between the stainless steel tube and the front window the bio-compatible solder alloy 80Au20Sn was applied by the laser beam soldering technology of solderjet bumping [3]. Overlapping discrete volumes of the solder join the window to the tube (Fig. 4) and create a hermetically sealed assembly that has leakage rates of less than  $10^{-8}$  mbar x l/s even after several autoclave cycles.

3 *Pick&Place-Montage der Abbildungsoptik.*

4 *Gelötetes Frontfenster im Edeltahlrohr.*

3 *Pick&Place assembly of the imaging optics.*

4 *Soldered front window within the stainless steel tube.*

appliziert (Abb. 4), so dass eine dichte Verbindung entsteht, die auch nach mehreren Autoklavierzyklen Heliumleckraten von  $<10^{-8}$  mbar x l/s aufweist.

Das FuE-Projekt »HOKA« wird mit Mitteln des Freistaates Thüringen gefördert (FKZ 2008FE9175) und von der Thüringer Aufbaubank (TAB) betreut.

The R&D-project "HOKA" is funded by the Freistaat Thüringen (FKZ 2008FE9175) and administered by the Thüringer Aufbaubank (TAB).

#### Literatur/References

- [1] Wippermann, F. et al.: Disposable low cost video endoscopes for straight and oblique viewing direction with simplified integration. In: Proceedings SPIE 7556-03, Photonics West 2010.
- [2] Beckert, E. et al.: Autoclaveable miniaturized video endoscopes with simplified flip-chip assembly. In: Proceedings SPIE 7893-11, Photonics West 2011.
- [3] Burkhardt, Th. et al.: Parametric investigation of solder bumping for assembly of optical components. In: Proceedings SPIE 7202-03, Photonics West 2009.

## AUTHORS

*Erik Beckert*  
*Frank Wippermann*  
*Sarah Walther*  
*Thomas Burkhardt*  
*Bernhard Messerschmidt<sup>1</sup>*  
*Daniel Gäbler<sup>2</sup>*  
*Thomas Barntitzek<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> GRINTECH GmbH, Jena

<sup>2</sup> X-FAB Semiconductor  
Foundries AG, Erfurt

<sup>3</sup> VIA electronic GmbH, Hermsdorf

## CONTACT

*Dr. Erik Beckert*  
*Phone +49 3641 807-338*  
*erik.beckert@iof.fraunhofer.de*