

ULTRAFLACHE ARRAY-PROJEKTIONSOPTIK

ULTRA-SLIM ARRAY PROJECTION OPTICS

Für die Realisierung extrem miniaturisierter Projektionsdisplays (Picoprojektoren) existieren gegenwärtig zwei Systemarchitekturen: LED-beleuchtete Mikrodisplays /1/ und mikromechanische Scannerspiegel mit Laserbeleuchtung /2/. Während Laserscanner kleinste Bauvolumina ermöglichen aber durch die Laserleistung auf ca. 10 lm Bildhelligkeit limitiert sind, erreichen LED-Pico-beamer höhere Leistungen, weisen aber größere Abmaße auf. Die Miniaturisierung dieser Projektoren wird durch die Etendue der verwendeten LED-Quelle begrenzt, die bei gegebener Blendenzahl der Projektionsoptik eine minimale laterale Ausdehnung des Imagers und damit auch eine Mindestbaulänge erfordern /3/. Die für die Implementierung in mobile Geräte zulässigen maximalen Systemabmaße bestimmen somit direkt die maximale Helligkeit der Projektion.

Das Optikschemata des Array-Projektors überwindet diese Abhängigkeiten einkanaliger Projektionssysteme und ermöglicht extrem flache, dafür lateral ausgedehnte, mikrooptische Projektionssysteme großer Helligkeit. Ein solcher Array-Projektor besteht aus einer regelmäßigen Anordnung projizierender Einzelkanäle, deren Projektionen sich auf dem Schirm zum Gesamtbild vereinen und erlaubt sowohl die Realisierung statischer als auch dynamischer Projektoren.

1 *Statische, monochrome Array-Projektionsoptik (li.), Mikrolinsenarray mit vergrabenen Farbfiltern und Blenden für den dynamischen Array-Projektor (re.).*

2 *Graustufenprojektion mit einem statischen Array-Projektor.*

Typical system architectures for extremely miniaturized projection displays (pico projectors) are either LED-illuminated micro-displays /1/ or MEMS scanning mirrors with laser illumination /2/. On the one hand, laser scanners enable the smallest form factors but are limited by laser power to about 10 lm flux, on the other, LED-illuminated imagers achieve higher flux but require a larger design envelope. Miniaturization of this class of projectors is limited by the etendue of the LED light source, which requires a minimum size of the imager – and thus also a minimum overall length of the projector – for a given projection $f/\#$ /3/. Consequently, available space, i.e. for implementation into mobile devices, determines maximum projected light flux.

The optics scheme of the array projector breaks this rule of single channel imaging systems and enables extremely slim but laterally extended projection systems with large flux. The presented array projector consists of a regular array of individual projecting channels which form a superposed image on a screen, enabling realization of static as well as dynamic projectors.

1 *Static monochrome array projection optics (left), micro-lens array with buried color filters and apertures for the dynamic array projector (right).*

2 *Grayscale projection from the static array projector.*



2

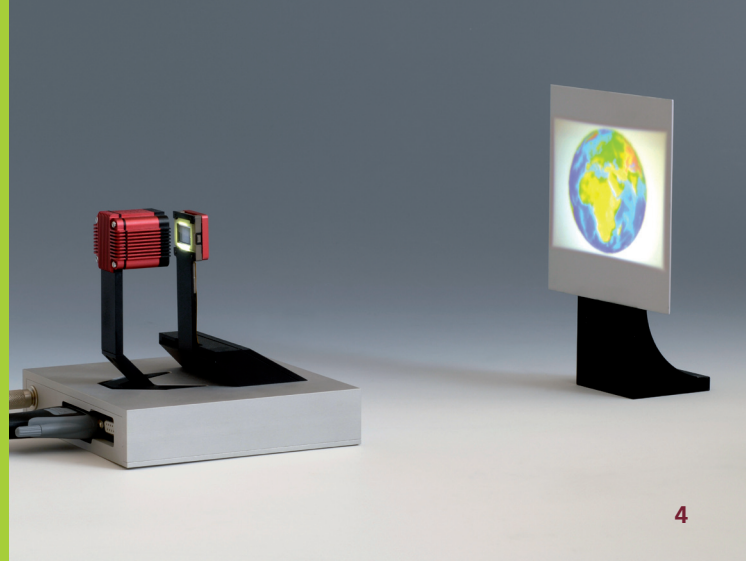
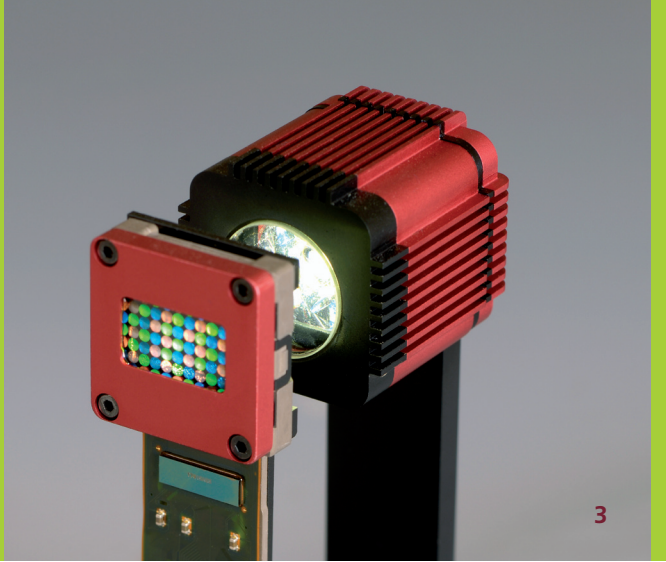
Der statische Projektor besteht aus einem Tandemarray kurzbrennweitiger Mikrolinsen mit einem vergrabenen Objektarray. Eine Helligkeitssteigerung bedarf im Gegensatz zu einkanaligen Projektoren keiner Baulängenvergrößerung, sondern einer Erhöhung der Anzahl sich überlagernder Projektionskanäle d. h. einer lateralen Vergrößerung des Arrays. Aufgrund des Wabenkondensator-ähnlichen Aufbaus erfolgt parallel zur Projektion eine Homogenisierung der Lichtquelle. Ein Array-Projektor mit einer hexagonalen Anordnung von 225 Einzelmikroprojektoren benötigt lediglich $12 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ Bauraum (Abb. 1). Jeder Projektionskanal besteht aus einer Feldlinse, der vergrabenen Objektstruktur und einer, zur Überlagerung der Einzelbilder dezentrierten, Projektionsoptik. Die Herstellung des monolithischen Elements erfolgt durch Replikation eines Reflow-Mikrolinsenmasters in Polymer auf ein lithographisch strukturiertes Objektarray auf einem Glassubstrat /4/. Die übertragbare Bildauflösung des ersten Prototyps ist 350×350 Pixel. Bei Beleuchtung mit einer kollimierten 240 lm Weißlicht-LED wird ein Lichtstrom von 35 lm erzielt und so eine tageslichttaugliche Projektion bei einer Bildgröße von $11 \times 11 \text{ cm}^2$ in 40 cm Abstand ermöglicht (Abb. 2).

Die Erzeugung farbiger Bilder wird durch eine kanalweise Einfärbung durch ein vergrabenes Farbfilterarray erreicht (Abb. 1). Da jeder Kanal nur monochrom arbeitet, ist keine Achromatisierung der Projektionsoptiken erforderlich, was eine einfache und kostengünstige Auslegung des Projektorarrays ermöglicht. Die dynamische Erzeugung farbiger Bilder mit 180×140 Pixeln gelingt mit einem monochromen 2-Megapixel-LCD-Mikroimager (Abb. 3). Generell erfordert das Prinzip des Array-Projektors Mikroimager mit möglichst vielen und möglichst kleinen Pixeln, wobei Einzelpixelfehler weit weniger kritisch sind als bei herkömmlichen Einkanalprojektoren. Durch die geringe Transmission des LCD und der Farbfilter werden hier gegenwärtig nur 8 lm Bildhelligkeit erreicht (Abb. 4).

The static projector consists of a tandem array of micro-lenses of short focal length with a buried mask representing the object array. Contrary to single channel architectures, flux enhancement requires no enlarged overall length but an increased number of superposed projection channels i.e. only a lateral increase in size. Because of the system design similar to a fly's eye condenser, a homogenization of the illumination source takes place simultaneously with the projection. A hexagonal array of 225 individual micro-projectors requires only $12 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ overall size (Fig. 1). Each projection channel consists of a field lens, a buried object structure and a projection lens, which is slightly decentered to achieve perfect superposition of the individual images at a defined distance. The monolithic array projector is manufactured by replication of a reflow lens-array master into polymer on a buried lithographic object array on a glass substrate /4/. The resolution of the realized sample is 350×350 pixels. Illumination with a collimated 240 lm white light LED results in 35 lm flux, enabling projection in bright daylight with a projected image size of $11 \times 11 \text{ cm}^2$ at a distance of 40 cm (Fig. 2).

Channel-wise coloration of images using a buried RGB color filter array (Fig. 1) permits generation of full-color images. Monochrome operation of the individual channel supersedes achromatization of the projection optics resulting in cost-efficient realization of the projector array.

We realized dynamic generation of colored images with 180×140 pixels with a monochrome 2 megapixel LCD micro-imager (Fig. 3). Generally speaking, the array projector approach requires micro-imagers with the most and smallest possible pixels. This requirement is relaxed by a large tolerable rate of pixel failures compared to common single channel projectors. Currently, we are achieving only 8 lm flux of the projected image because of the small transmission of the LCD and the color filters (Fig. 4).



Die Systemarchitektur des dynamischen Array-Projektors erlaubt auf Grund der hohen Tiefenschärfe der einzelnen Mikroprojektoren die Einstellung der Projektionsentfernung in einem großen Bereich ohne mechanisch bewegte Teile durch die elektronische Einstellung der Dezentrierung der einzelnen Mikrobilder auf dem LCD-Display.

Kombiniert mit einer flachen Lichtquelle, ähnlich einer Display-hinterleuchtung, erlaubt das Prinzip des Array-Projektors die Realisierung lichtstarker statischer und dynamischer monochromer und RGB-Projektorsysteme, deren Helligkeit unter Beibehaltung einer geringen Baulänge im Bereich von ca. 1 cm durch laterale Vergrößerung von Lichtquelle und Array-Projektionsoptik skalierbar ist. VGA-Auflösung ist durch Erweiterung des Projektors um eine weitere Optikebene erreichbar.

Die Autoren danken Peter Dannberg und Erik Förster für die Unterstützung bei der Herstellung der mikrooptischen Elemente und der Assemblierung der Projektoren.

System architecture of the dynamic array projector allows focusing for different projection distances without mechanical moving parts by electronic control of decentration of the individual micro-images on the LCD display.

Combined with a flat light source similar to a display backlight, the array projector principle enables realization of high-brightness static and dynamic, monochrome and RGB projector systems. The light flux of these projectors scales with lateral extension, while maintaining a short overall length in the range of 1 cm. By adding a second optics layer for the projection lens, VGA resolution is achievable.

The authors thank Peter Dannberg and Erik Förster for assistance in manufacturing the micro-optical components and assembly of the sample projectors.

3 Blick auf den dynamischen RGB-Array-Projektor.

4 RGB-Projektion mit dynamischem Array-Projektor.

3 Dynamic RGB array projector.

4 RGB projection from the dynamic array projector.

Literatur/References

/1/ Darmon, D.: LED-Illuminated Pico Projector Architectures, SID Digest 2008.

/2/ Handschy, M. A.; Spenner, B. F.: The future of pico projectors, Information Display 24, No. 12, 2008.

/3/ Geissler, E.: Meeting the Challenges of Developing LED-based Projection-Displays, SPIE Proc. 6196 Photonics in Multimedia, Strasburg, 2006.

/4/ Dannberg, P.; Mann, G.; Wagner, L.; Bräuer, A.: Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E integration, SPIE Proc. 4179 Micromaching Technology for Micro-Optics, Santa Clara, 2000.

AUTHORS

Marcel Sieler

Peter Schreiber

CONTACT

Dr. Peter Schreiber

Phone +49 3641 807-430

peter.schreiber@iof.fraunhofer.de

Dr. Andreas Bräuer

Phone +49 3641 807-404

andreas.braeuer@iof.fraunhofer.de