

2

LEDS IN DER MESS- UND PRÜFTECHNIK

LEDS FOR MEASUREMENT AND TESTING TECHNOLOGY

Heute stehen mit neuartigen LEDs interessante Hochleistungslichtquellen hoher Effizienz zur Verfügung. Eine stetig wachsende Zahl verfügbarer Emissionswellenlängen vom Ultraviolett bis in das nahe Infrarot sowie weiße Emittoren, lineare Modulier- und Dimmbarkeit, rauscharme Emission und geringe Herstellungskosten – die rasante Entwicklung von Hochleistungs-LEDs hat single-mode-Laserdioden in vielen Bereichen überholt /1/. Dieser Umstand motiviert Überlegungen zum Ersatz von Laserdiodenmodulen durch LED-basierte Systeme in Mess- und Überwachungstechnik und Machine Vision.

Die - verglichen mit Laserdioden – geringe räumliche Kohärenz verhindert störende Speckle im Leuchtfeld, erfordert allerdings neuartige Optikkonzepte zur Realisierung bislang »laser-typischer« strukturierter Beleuchtungen, wie Spotarrays oder Linienfoki. Während die Optik von Laserdioden-Spotarrays üblicherweise nur aus Kollimatorasphäre und diffraktivem Strahlteiler besteht, bietet sich für die LED-Realisierung eine Aufteilung der Pupille des Kollimators durch ein Mikrolinsenarray mit nachfolgender Relayoptik zur Abbildung des Spotarrays aus der Brennebene der Lenslets in die Beleuchtungsebene an (Abb. 1). Mit steigender Spotanzahl

Current high-power LEDs are light sources with outstanding efficiency. A continuously growing number of emission wavelengths from ultraviolet to infrared, as well as white light emission, linear modulation and dimming, low-noise emission and small manufacturing cost – the rapid development of high-power LEDs has overtaken single-mode laser diodes with regard to numerous parameters /1/. This fact motivated investigations to replace laser diode modules by LED-based systems in measurement applications, surveillance and machine vision.

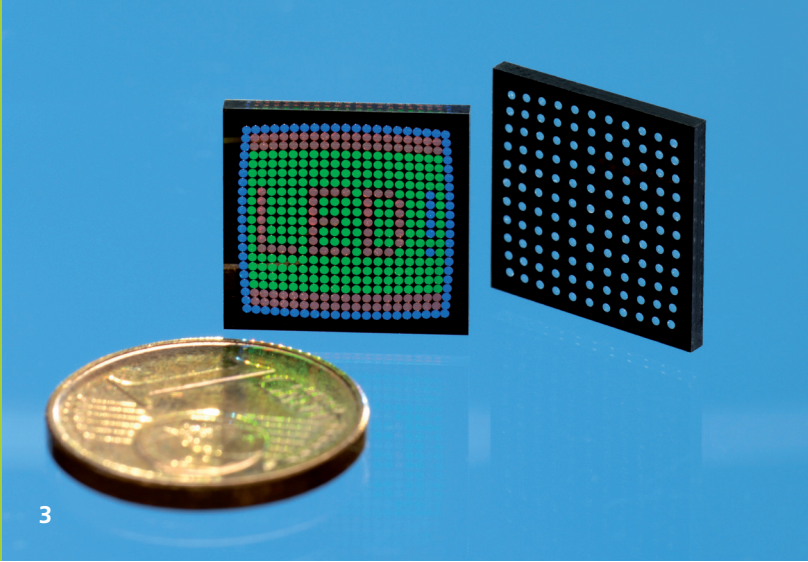
Compared with laser diodes, the small spatial coherence prevents unwanted speckle in the illuminated area but requires new optical system designs for the realization of currently laser-dominated patterned light sources like spot array generators or line-foci and pattern generators. Laser diode spot array optics usually consists of only a collimating asphere and a diffractive beam splitter. For realization of LED illuminated modules, a lens array based pupil-splitting approach combined with imaging of the spot array in the focal plane into the illumination plane by a relay optics is advantageous (Fig. 1). The beam quality of the individual spots increases with increasing spot number: Using the M^2 -parameter for characterization of beam quality, the collimated beam of a high-power

2 *Aufbau des Spotarraygenerators.*

3 *Gechirpte Linsenarrays mit Blendenstrukturen und vergrabenen Farbfiltern (links).*

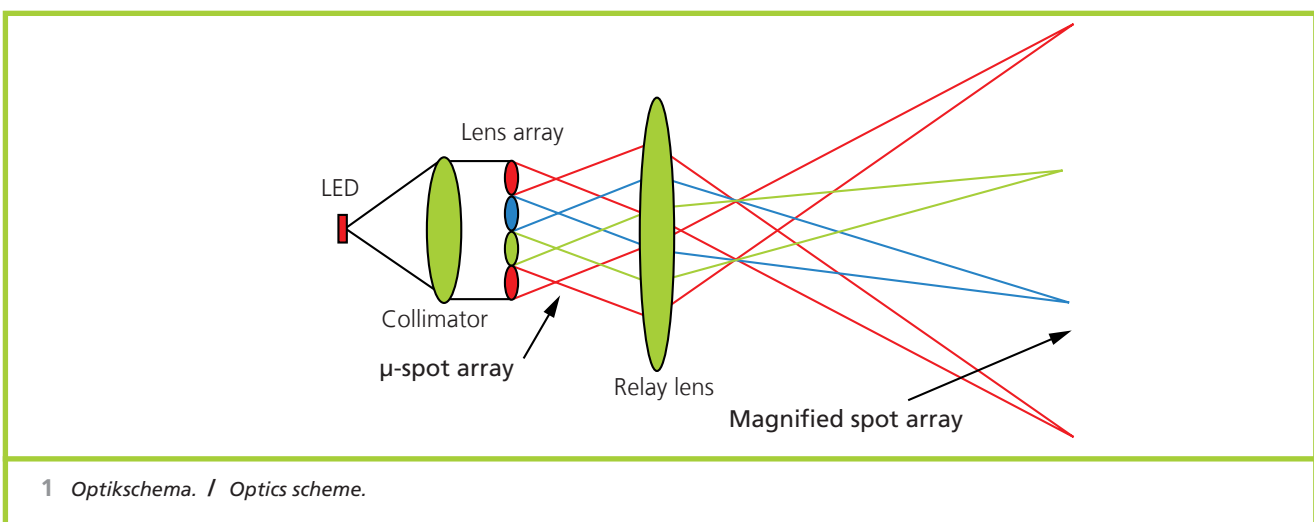
2 *Schematic diagram of the spot array generator.*

3 *Chirped lens arrays with apertures and buried color filters (left).*

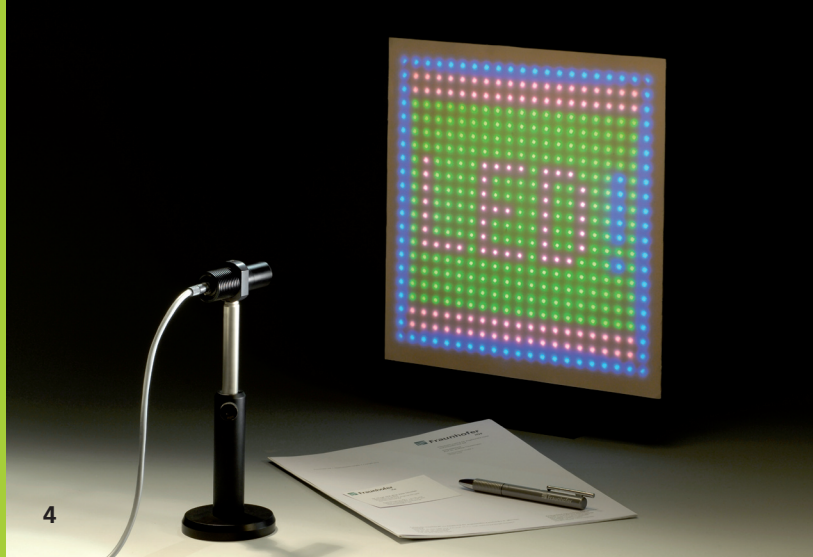


verbessert sich die Strahlqualität der Einzelspots verglichen mit der kollimierten LED: Beschreibt man die Strahlqualität mit dem in der Lasertechnik üblichen M^2 -Parameter, so liegt die kollimierte Hochleistungs-LED bei größenordnungsmäßig $M^2 \approx 1000$, während die Bündel des $N \times N$ Spotarrays ein um den Faktor N geringeres M^2 aufweisen. Mit Laserdiodenmodulen vergleichbare Strahlqualitäten erzielt man demzufolge für Spotzahlen ab einigen 100×100 Spots. Vorteile dieses Optikkonzepts gegenüber der diffraktiven Strahlformung sind die Wellenlängenunabhängigkeit der Spotpositionen, die Vermeidung von Streulicht durch parasitäre Beugungsordnungen, die einfache Realisierbarkeit unregelmäßiger Spotmuster und die Möglichkeit der »Individualisierung« der Spots durch individuelles Einfärben mittels Farbfilterarrays. Wesentliche Nachteile sind die auf Grund des Arrayfüllfaktors geringere Systemtransmission, die geringere Tiefenschärfe bzw. erhöhte Spotgröße und die zusätzlich erforderliche Relayoptik. Der Einsatz eines gechirpten Linsenarrays /2/ erhöht die Attraktivität des Designansatzes durch die Vorkompensation der Aberrationen der Relayoptik.

LED reaches about $M^2 \approx 1000$, while the individual beams of a $N \times N$ spot-array exhibit better beam quality by a factor of $1/N$. Thus, beam qualities comparable with laser diode modules can be achieved for spot arrays with some 100×100 spots. Advantages of this design approach compared to diffractive beam splitters are wavelength-independent spot positions, avoidance of stray light from parasitic diffraction orders, simple realization of irregular spot patterns and the feasibility of "individualized" spots by using buried color filter-arrays. Important shortcomings are smaller system transmission from array fill-factor and collimation efficiency and the additional required relay optics. Using a chirped lens array /2/ increases the attractiveness of this design approach by precompensation of relay optics aberrations.



1 Optikschemata. / Optics scheme.



Ein 21 x 21 Spotarray mit einer Fächerdivergenz von 40° x 40° wurde als Demonstrator mit einer kollimierten weißen Hochleistungs-LED als Lichtquelle realisiert. Das Pupillensplitting erfolgt durch ein gechirptes Linsenarray mit ca. 500 µm Pitch und einer numerischen Apertur von 0,13 bis 0,18. Die tonnenförmig verzerrte Anordnung der Lenslets gleicht die kissenförmige Verzeichnung der Relayoptik aus (denkbar ist hier auch eine Keystone-Korrektur für geneigte Beleuchtungsebenen), die nach außen zunehmende Brennweite der Lenslets kompensiert die Bildfeldwölbung. Das ermöglicht eine extrem einfache Realisierung der Relayoptik mit nur einer Plankonvexlinse und einer ebenfalls plankonvexen Feldlinse (Abb. 2). Die z. B. für Anwendungen in der 3D-Vermessung interessante »Individualisierung« der Spots wurde durch unter den Lenslets vergrabene RGB-Farbfiler und die Unterdrückung von Streulicht durch ebenfalls vergrabene Blendenstrukturen erreicht (Abb. 3). Die Herstellung des Lensarrays erfolgt durch Abformung von Reflow-Arraymastern in Polymer auf die zuvor lithographisch strukturierten Filter- und Blendenstrukturen auf ein Floatglassubstrat /3/. Das projizierte 21 x 21 Spotarray (Abb. 4) weist eine Strahlqualität der einzelnen Bündel von $M^2 < 60$ bei einer sehr geringen Verzeichnung von weniger als 0,5 % auf.

LED-Lichtquellen mit refraktiven, mikrooptischen Arraykomponenten stellen eine attraktive Alternative zu üblichen Laserdiodenmodulen für strukturierte Beleuchtungen dar. Die leistungsstarke, specklefreie und optional mehrfarbige Beleuchtung mit kostengünstigen Quellen erlaubt verbesserte bzw. gänzlich neue Systemkonzepte.

A 21 x 21 spot array with 40° x 40° ray fan divergence was realized with a collimated white high-power LED as light source. A chirped lens array with 500 µm pitch and lenslets with numerical aperture of 0.13 to 0.18 realizes the pupil splitting. The barrel-shaped placement of the lenslets compensates for the pincushion distortion of the relay optics – optional a keystone correction for tilted illuminated planes is possible. Increased focal widths of the off-axis lenslets corrects for field curvature. This enables an extremely simple relay optics layout consisting only of a plano-convex lens and an also plano-convex field lens, placed in front of the lens array (Fig. 2). Individualization of spots, which is attractive i.e. for 3D surface profile characterization, is realized by color filters buried beneath the lenslets (Fig. 3). Suppression of straylight is achieved by an aperture array also buried in the lens array. The lens array is manufactured by replication of reflow master structures into polymer on top of lithographically structured filter and aperture arrays on a float glass substrate /3/. The projected 21 x 21 spot array (Fig. 4) offers a beam quality of $M^2 < 60$ of the individual spots and very small spot array distortion of less than 0.5 %.

LED light sources with refractive micro-optical components are a promising approach for the replacement of the usual laser diode modules for patterned illumination. The powerful, speckle-free and optional multi-colored illumination with cost-efficient modules enables advanced features in existing layouts and completely new system designs.

Die Autoren danken Ralf Rosenberger für die Konstruktion und Theresa Kunz für die Charakterisierung des Spotarray-generators. Diese Arbeit wurde vom BMBF im Rahmen des Projekts POLO unter FKZ 13N9396 gefördert.

The authors thank Ralf Rosenberger for the mechanical design and demonstrator assembly and Theresa Kunz for characterization of the spot-array generator. This work was funded by the BMBF in the framework of the project POLO under contract 13N9396.

Literatur/References

- /1/ Steegmüller, U.; Recent Progress in High Brightness LED Technology and Applications, SEMICON West, San Francisco, 2009.
- /2/ Wippermann, F.; Schreiber, P.; Chirped refractive microlens arrays, Photonik international 2/2008.
- /3/ Dannberg, P.; Wippermann, F.; Schreiber, P.; Bräuer, A.; Wafer-level fabrication of complex micro-optical modules, EOS Conferences at the World of Photonics Congress 2009, München.

AUTHORS

Peter Schreiber
Peter Dannberg
Frank Wippermann

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