

Eigenschaften und Grenzen von Homogenisatoren aus Mikrolinsenarrays

Irina Harder, Maik Lano, Norbert Lindlein, Johannes Schwider

Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

<mailto:iharder@optik.uni-erlangen.de>

Zur Homogenisierung und Strahlformung einer Intensitätsverteilung kann ein Homogenisator aus zwei Mikrolinsenarrays verwendet werden. Anhand der praktischen Realisierung zweier möglicher Setups werden geometrische und wellenoptische Störeffekte dieser Homogenisatoren untersucht.

1 Einführung

Für viele Systeme ist eine homogene Ausleuchtung einer Ebene wünschenswert. Oft stellt allerdings die verwendete Lichtquelle keine homogene Lichtverteilung zur Verfügung. So setzt sich z.B. die Leuchtfäche einer LED aus dem eigentlichen Emitterchip und einem dahinter befindlichen Reflektor zusammen (Bild 4 links unten).

Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Homogenisierung mittels Facettierung der Lichtquellenapertur. Dabei wird die Apertur der Lichtquelle in mehrere Subaperturen zerlegt, welche in der gewünschten Ebene zur Überlagerung kommen. Die Zerlegung in Subaperturen wird hier durch die Verwendung von Mikrolinsenarrays realisiert. Um zusätzlich der Lichtverteilung in der Zielebene eine angepasste Form zu geben, muss ein zweites Mikrolinsenarray verwendet werden.

Die verwendeten Arrays wurden mittels Grautonlithographie direkt in Photolack geschrieben [1]. So konnten Arrays mit quadratischen Linsen und einem Füllfaktor annähernd eins hergestellt werden. Die Photolackstruktur wurde nach dem Entwicklungsprozess mittels selektivem reaktivem Ionenätzen in das Quarzsubstrat übertragen. Die Höhe der resultierenden Linsen, und damit ihre Brennweite, wird durch das Verhältnis der Ätzraten von Lack und Quarz bestimmt. Es wurden Linsen mit Brennweiten zwischen 20mm und 25mm bei einem Pitch von 250µm bis 300µm hergestellt. Als Lichtquelle wurde eine LED mit einem Satz unterschiedlicher Blenden verwendet. Die Plastiklinse der LED wurde dazu entfernt.

2 Aufbau der Homogenisatoren

Es gibt zwei mögliche Anordnungen eines Homogenisators aus zwei Mikrolinsenarrays [4]. Bild 1 zeigt ein Setup welches zwei unterschiedliche Mikrolinsenarrays verwendet. Die Lichtquelle wird durch die Kondensorlinse und das erste Mikrolinsenarray verkleinert in die Ebene des zweiten Mikrolinsenarrays abgebildet. Dabei darf in jeder Subapertur des zweiten Arrays nur ein Lichtquellenbild zu liegen kommen. Die Aperturen des ers-

ten Arrays werden dann durch das zweite Array in die Zielebene abgebildet. Da die Kondensorlinse für eine konvergente Wellenfront sorgt, werden die Subaperturbilder in der Zielebene überlagert. Allerdings muß deswegen der Pitch des zweiten Arrays kleiner als der Pitch des ersten Arrays gewählt werden. Alle Parameter dieses Systems sind stark miteinander verknüpft, sodass das Design eines solchen Systems einen erheblichen Rechenaufwand erfordert und hohe Anforderungen an die Herstellung der Arrays stellt.

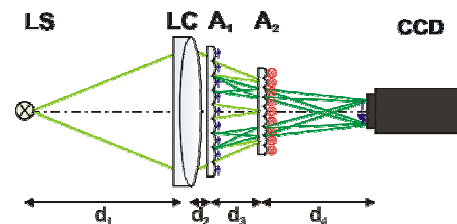


Abb. 1 Setup eines Homogenisators mit zwei unterschiedlichen Mikrolinsenarrays.

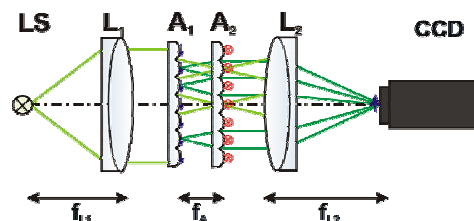


Abb. 2 Setup eines Homogenisators mit zwei identischen Mikrolinsenarrays.

Weitaus einfacher und weniger störungsanfällig in der Herstellung ist der Homogenisator aus zwei identischen Arrays (Bild 2). Auch hier wird die Lichtquelle verkleinert in jede Subapertur des zweiten Arrays abgebildet. Da hier allerdings das erste Array von einer ebenen Welle beleuchtet wird, muss das zweite Array in der Brennebene der Linsen des ersten Arrays stehen. Das zweite Array bildet dann mit Hilfe der zweiten Linse die einzelnen Subaperturen des ersten Arrays überlagert in die Zielebene ab. Brennweiten und Pitch der Arrays müssen somit identisch sein. Die beiden Arrays können durch Teilen eines großen Arrays gewonnen werden.

3 Randbedingungen der Systeme

Geometrisch optische Einflüsse

Um eine eindeutige Abbildung einer Subapertur des ersten Arrays in die Zielebene zu erhalten, darf jede Subapertur des zweiten Arrays nur ein Lichtquellenbild enthalten. Treffen Strahlen aus benachbarten Linsen des ersten Arrays in einer Subapertur des zweiten Arrays auf, so werden außer der gewünschten Apertur auch die Aperturen der benachbarten Linsen in die Zielebene abgebildet, sodass Seitenbänder in der Intensitätsverteilung entstehen.

Eine Dejustage der Arrays zueinander führt zu einem Versatz der Lichtquellenbilder relativ zu den Linsen des zweiten Arrays und somit zu Nebenbildern [3]. Sind die Lichtquellenbilder größer als der Pitch des zweiten Arrays, so überlappen die Lichtquellenbilder in der Ebene des zweiten Arrays und es kommt ebenfalls zu Nachbarbildern. In Bild 3 ist die Intensitätsverteilung in der Zielebene dargestellt. Dabei wurde die Größe der Lichtquelle und damit die Größe der Lichtquellenbilder in der Ebene des zweiten Arrays durch eine Blende variiert. Die entstehenden Nachbarbilder weisen ebenfalls eine homogene Intensitätsverteilung auf, da auch die Bilder der Nachbaraperturen kongruent überlagert werden. Die Nachbarbilder sind um so deutlicher zu sehen, je mehr Licht aus der entsprechenden Apertur die abbildende Mikrolinse im zweiten Array trifft.

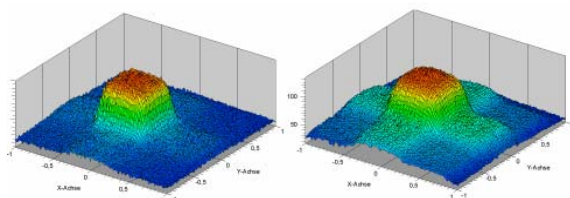


Abb. 3 Gemessene Intensitätsverteilung in der CCD-Ebene, wobei von rechts nach links der Durchmesser der Lichtquelle zunimmt.

Wellenoptische Einflüsse

Beugungseffekte spielen vor allem bei kleinen Mikrolinsenaperturen eine Rolle. In [4] wurde der Einfluß der Aperturgröße der Mikrolinsen in Bezug auf den zunehmenden Einfluß der Fresnelbeugung bei kleineren Mikrolinsenaperturen untersucht.

Wird anstelle einer ausgedehnten Lichtquelle, wie einer LED, eine Punktlichtquelle verwendet, so kommt es aufgrund des periodischen Mikrolinsenrasters der Arrays zu Interferenzeffekten in der Detektorebene. Die homogenisierte Verteilung wird von einem periodischen Raster überlagert. Die Abstände der Beugungsordnungen sind, im Fall des Homogenisators mit zwei identischen Arrays, durch den Pitch der Mikrolinsen, die Brennweite der zweiten Linse und die Wellenlänge bestimmt.

Es sind dabei nur die Beugungsordnungen sichtbar, welche innerhalb der homogenisierten Intensitätsverteilung liegen. Werden weitere inkohärente Lichtquellenpunkte betrachtet, so erzeugt jeder Punkt verschoben das gleiche Intensitätsbild. In der Zielebene kann somit ein überlagertes Muster beobachtet werden, welches die Anordnung der Lichtquellenpunkte hat (Bild 4 oben). Wird das Winkelspektrum der Lichtquelle größer als der Beugungswinkel der Arrays, so sind die Ordnungen nicht mehr einzeln auflösbar, es ist aber noch eine Struktur zu erkennen (Bild 4 unten). Durch leichtes Dejustieren der Lichtquelle kann auch diese homogenisiert werden.

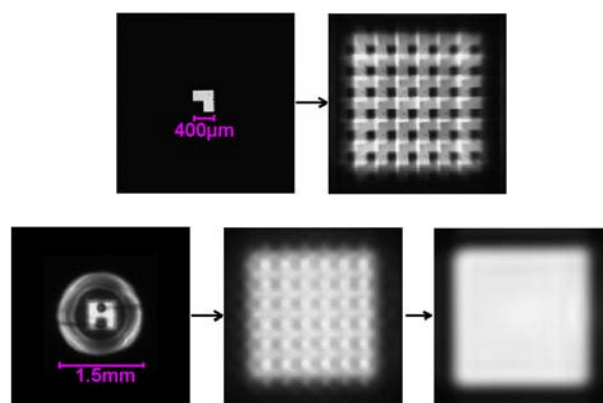


Abb. 4 Oben: Das Winkelspektrum α der LED mit Blende (links) ist kleiner als der Beugungswinkel des Arrays β : $\alpha \approx 0,6 \cdot \beta$. Die Beugungsordnungen sind in der homogenisierten Verteilung (rechts) sichtbar. Unten: LED ohne Blende als Lichtquelle (links) und homogenisierte Verteilung (mitte) $\alpha \approx 4 \cdot \beta$. Wird die Lichtquelle leicht dejustiert, so verschwindet die Überstruktur (rechts).

Eine theoretische Untersuchung dieses Effekts wird in [5] gegeben.

Literatur

- [1] I. Harder, N. Lindlein, J. Schwider, „Fabrication of microlens arrays with the help of greytone lithography and RIE“, *Ann. Rep. 2001 Phys. Inst./LFO Universität Erlangen*, Erlangen, p. 28, 2002
- [2] Naumann/Schroeder, *Bauelemente der Optik* (6. Ed.), Carl Hanser Verlag, Muenchen, Wien, 1992
- [3] S. Gloeckner and R. Goering, „Investigation of statistical variations between lenslets of microlens arrays“ *Appl. Opt.* 36, pp. 4436-4445, 1997
- [4] A. Buettner and U. D. Zeitner, „Wave optical analysis of light emitting diode beam shaping using microlens arrays“ *Opt. Eng.* 41, pp. 2393-401, 2002
- [5] N. Lindlein, „Wellen und strahlenoptische Simulation von Wabenkondensoren“, *DGAO Proceeding 2004*