

# Modulierte RGB-Laserquelle für das digitale Photofinishing

Peter Schreiber, Bernd Höfer, Peter Dannberg



Peter Schreiber

## Einführung

Digitale Minilabs für das Photofinishing erzeugen preiswerte, hochqualitative Fotoabzüge in kurzen Zykluszeiten. Eine der Kernkomponenten dieser Minilabs ist die computergesteuerte Belichtungseinheit, die entweder auf sequenziellem Laserscanning oder parallelen, digitalen Imagern, z. B. Mikrospiegelarrays, basiert. Scannende Systeme bieten exzellente Bildqualität und große Flexibilität hinsichtlich Bildformat und -größe. Ein Problem ist der große benötigte Bauraum bei Verwendung von Gasionenlasern als Lichtquelle. Um eine weitgehende Miniaturisierung zu erreichen, wurde eine kompakte RGB-Quelle unter Verwendung einer roten Laserdiode und frequenzverdoppelten, diodengepumpten Festkörperlaser (DPSSL) für den blauen und grünen Kanal sowie Miniatur-Festkörpermodulatoren aufgebaut.

## Systemkonzept

Das prinzipielle Systemdesign ist schematisch in Abb. 1. dargestellt. Zunächst erfolgt eine Anpassung der Bündel der drei Laser an die Aperturen der Modulatoren. Eine zweite Strahlformungseinheit ist für die Anpassung an den nachfolgenden Polygonscanner und die dichroitische Kombination der drei Bündel zuständig.

Die Laserquellen wurden von der LASOS GmbH entwickelt, die Miniaturmodulatoren stammen von der LINOS Photonics GmbH & Co. KG.

Die Systemspezifikationen erfordern eine Taillenabbildung aller Laser auf den Polygonspiegel mit sehr kleinen Toleranzen hinsichtlich Bildgröße und -lage. Da die Taillentoleranzen der Quellen diese Spezifikationen wesentlich übersteigen, muss die Abbildungsoptik eine Kompensation dieser Schwankungen erlauben. Das kann entweder durch gezielte Vignettierung oder durch Strahlaufweitung mit variablem Vergrößerungsverhältnis erreicht werden. Dieses Verfahren wurde auf Grund der höheren Systemtransmission bevorzugt. Üblicherweise erfordern derartige zoombare beam expander mindestens drei Linsen und vergleichsweise großen Bauraum. Um kleine Baugrößen zu erzielen, nutzen wir in diskreten Schritten zoombare, zweilinsige Teleskope mit Linsenarrays mit gechirpter Brennweite. Eine nähere Beschreibung dieses Lösungsansatzes erfolgt anhand des Laserdiodenmoduls (Abb. 2). Nach Kollimation mit einer Asphäre erfolgt die Einstellung des Strahldurchmessers und die Zirkularisierung durch ein anamorphotisches Teleskop, bestehend aus einer Fokussierlinse und gekreuzten Zylindermikrolinsen negativer Brennweite. Diese Linsen sind Bestandteile von Arrays mit gechirpter Brennweite.

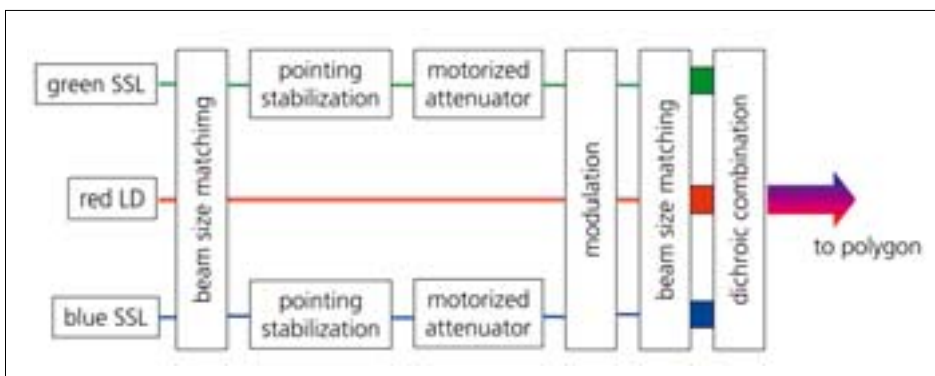


Abb. 1: Schematische Darstellung der RGB-Quelle.

Fig. 1: Schematic system layout of the RGB-laser source.

# Modulated RGB-laser source for digital photo finishing

Peter Schreiber, Bernd Höfer, Peter Dannberg

## Introduction

The digital minilab systems for photo finishing equipment which are currently entering the market, produce low-cost, high-quality photo prints at high speed. One crucial component of these minilabs is a computer-controlled exposure system which uses either sequential exposure by laser scanning or parallel digital imaging with devices such as micro-mirror arrays. Laser-scanning systems offer excellent picture quality and great flexibility in picture size, but require a large amount of space as they use gas lasers as the RGB source. To overcome this problem we have developed a compact RGB-laser source using frequency-doubled diode-pumped solid state lasers (DPSSL) for the blue and green channel and a laser diode for the red channel in conjunction with miniaturized solid state modulators and various microoptical elements.

## System layout

The basic system layout is shown schematically in fig. 1. The outputs of the three laser sources are set up to pass through the modulator apertures. A second beam-shaping optics unit is responsible for adapting the beams to the polygon scanner and for the dichroic combination of the laser sources.

The lasers were developed by LASOS GmbH while the miniaturized modulators originate from LINOS Photonics GmbH & Co. KG.

The system specifications require waist imaging of all three laser sources onto the scanning polygon mirror with very tight tolerances for image size and focusing. Because the sources' waist size tolerances exceed these specifications considerably, the imaging optics must compensate for these deviations. This can be achieved either by controlled truncation of the laser beams or by using beam-expanders with variable enlargement. We favored the beam-expander method in order to avoid truncation losses. Usually, a zoomable expander as described here requires at least three lenses and a comparatively large amount of space in the direction of the light propagation. In order to reduce the space required, we used lens arrays with chirped focal length to build two-element systems which are zoomable in discrete steps. Fig. 2 depicts the red laser diode module and describes this approach in more detail. After collimation by an aspheric lens, the adjustment of beam size and circularity is accomplished using an anamorphic telescope consisting of a focusing lens followed by crossed negative cylindrical micro-lenses for recollimation. These cylindrical lenses are elements of lens arrays with chirped focal length.



Bernd Höfer



Peter Dannberg

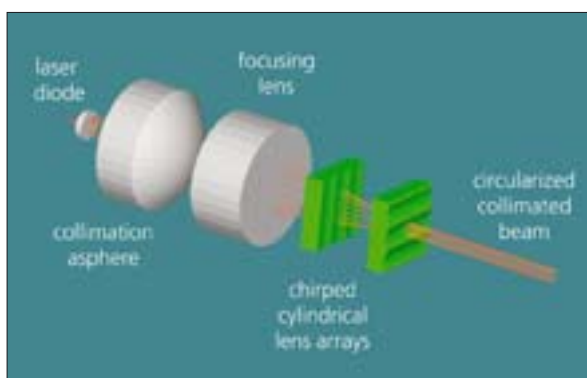


Abb. 2:  
Schematische Darstellung der Laserdiodenkollimation und -zirkularisierung.

Fig. 2:  
Schematic drawing of laser diode collimation and circularization.

Durch laterale Verschiebung der Arrays selektiert man die Linse mit der erforderlichen Brennweite zur Erreichung der geforderten Taillendurchmesser in beiden Achsen, dann erfolgt die axiale Justage zur Rekollimation. Mit dieser Technik gelingt eine präzise Kompensation der Taillentoleranzen und des Astigmatismus der Laserdiode. Ein analoger Ansatz wird zur Anpassung der DPSSL an die Modulatoren und zur Erreichung der geforderten Spotparameter auf dem Polygon eingesetzt.

Weitere wesentliche Teile des Systemdesigns sind Leistungskontrolle und Strahlage-Stabilisierung für die Festkörperlaser. Der geforderte Temperaturbereich der RGB-Quelle machte den Einsatz einer aktiven Strahlage-stabilisierung erforderlich. Dafür wird ein Teil des Laserlichts auf einen positionssensitiven Detektor (PSD) zur Monitorierung der lateralen Taillenposition ausgekoppelt. Eine mittels Piezoaktuator bewegte Linse der Strahlaufweitung vor dem Modulator erlaubt dann eine Kompensation der Pointingschwankungen.

Eine unabhängige Leistungsregelung der drei Farbkanäle ist zur Ausnutzung des vollen Dynamikbereichs der Modulatoren erforderlich. Monitordioden vor und nach den Modulatoren liefern Informationen zur Steuerung der Laserleistung und des Arbeitspunkts der Modulatoren. Die Leistungsregelung im roten Kanal erfolgt durch Stromsteuerung der Laserdiode, die Leistungen im grünen und blauen Kanal werden durch motorgetriebene Halbwellenplatten gesteuert.

## Herstellung

Die Linsenarrays werden durch Replikation von Reflow Mikrolinsen hergestellt /1/. Der Chirp wird durch geringfügige Veränderungen der Linsenbreite von lenslet zu lenslet erzielt. Abb. 3 zeigt die Originalstrukturen für Arrays von zirkularen und Zylinderlinsen zur nachfolgenden Abformung durch UV-Reaktionsguss auf ein Glassubstrat. Nach Antireflexionsbeschichtung weisen die Arrays hohe Transmission und sehr präzise und glatte Oberflächen, die eine weitgehende Erhaltung der Strahlqualität der Laserbündel erlauben, auf (Abb. 4). Entsprechend den gemessenen Divergenzen der Laserquellen werden Teilarrays, bestehend aus 8 lenslets, mit einer Wafersäge ausgeschnitten. Die Auswahl des richtigen lenslets

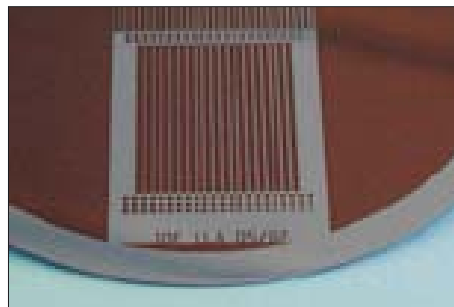


Abb. 3:  
Gechirptes zirkulares und Zylinderlinsenarray.

Fig. 3:  
Chirped cylindrical and circular reflow lens arrays.

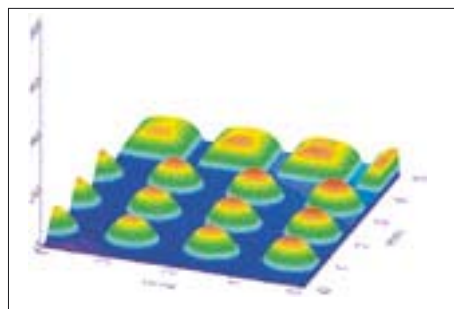


Abb. 4:  
Oberflächenprofil der Arrays.

Fig. 4:  
Surface profile of part of the chirped arrays.

während der Montage ermöglicht eine Feinabstimmung. Die mikrooptischen Komponenten zusammen mit den Kataloglinsen und den aktiven Komponenten sind auf einem Edelstahlchassis montiert, dessen Form die Integration in die Belichterkassette des Minilabs ermöglicht. Die Zusammenfassung von Subbaugruppen wie Strahlaufweitung mit integriertem Quellmonitor, Modulator mit motorisierter Halbwellenplatte oder Strahlagedetektoreinheit ermöglichen einen modularisierten Systemaufbau. Zur Montage kritischer mikrooptischer Bauelemente nutzen wir Präzisionssteller und UV-Justierkleben. Der Justagezustand hinsichtlich Spotgröße, -lage und -qualität erfolgt mit einem Strahlanalysesystem in der Filmebene. Abb. 6 zeigt eine frühe Ausbaustufe des Demonstratorsystems.

## Zusammenfassung

Der Einsatz der Mikrooptiktechnologie erlaubt die Herstellung hochwertiger, gechirpter Linsenarrays. Durch den Einsatz dieser Arrays konnten zoombare beam expander, bestehend aus nur zwei Elementen, aufgebaut und erfolgreich in einer komplexen RGB-Laserquelle getestet werden.

## Dank

Diese Arbeit wurde unter dem Kennzeichen 16 SV 1228 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

## Literatur:

- /1/ P. Dannberg, G. Mann, L. Wagner, A. Bräuer: „Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E-integration“, Proc. SPIE 4179 (2000), pp. 137–45.

Through lateral movement of the arrays we select the lenslets with the correct focal width to achieve the required waist sizes in both axes. Then the arrays are axially adjusted for collimated output. With this technique a precise amount of compensation of laser diode waist size tolerances and astigmatism is achieved. An analogous approach is utilized for adapting the beam size of the DPSSL to pass through the modulators and to match the size of the modulated beams to the required spot on the polygon.

Other important features of the system design are intensity control and pointing stabilization for the DPSSL: The working temperature range of the RGB source required active pointing control to guarantee the perfect overlap of the three colored spots on the film plane. Part of the laser light is thus directed with a beam sampler onto a position sensitive detector (PSD) to monitor the actual lateral waist position. Pointing error is compensated for by using a piezoactuator which moves one of the lenses in the beam expander telescope in front of the modulator. Furthermore, power control of all three color channels is required in order to use the full dynamic range of the modulators for



Abb. 5:  
Mechanische Konstruktion der kompletten RGB-Quelle.

Fig. 5:  
Mechanical construction of the complete RGB source.

film exposure. Monitor diodes before and after the modulators provide information about the current signal in order to control laser power and modulator bias for all three channels. The power of the red laser diode is regulated by current control, the green and blue channel is controlled by a rotating half-wave plate, driven by a miniature step motor.

## Manufacturing

The chirped lens arrays are manufactured by replication of reflow microlens arrays [1]. The chirp is achieved by varying the width slightly from lenslet to lenslet. Fig. 3 shows the master structures for chirped circular and cylindrical lens arrays used as a tool for subsequent replication by UV-molding of a polymer onto a glass substrate. After AR-coating, the reflow lenses provide high transmission as well as very accurate and smooth surface profiles, enabling the preservation of laser beam quality (fig. 4). In accordance with the measurements of the laser sources' divergence, an appropriate part of the array consisting of 8 lenslets is selected with a wafer dicing saw. By choosing the correct lenslet of these arrays, the fine tuning of the image spot sizes is achieved to satisfy system specifications. The micro-optical components, together with the stock lenses and active components, are mounted on a stainless steel motherboard, which is shaped to fit into the laser scanning unit of an existing minilab (fig. 5).

Mounting posts for subsystems such as beam expanders with integrated power monitor, modulators with motorized power control and pointing monitors allow for modularized assembly. For the adjustment of critical micro-optical elements, we used precision positioning stages with subsequent fixing by UV-curing glue. Adjustment is carried out

through the assessment of spot size, position and quality with a beam profiler situated in the film plane. Fig. 6 shows an early stage demonstration system.

## Conclusions

Micro-optics technology enables the manufacturing of high-quality lens arrays with chirped focal length. Using these arrays, compact zoomable beam expanders consisting of only two optical elements were manufactured and successfully applied for beam matching in a complex RGB-laser source.

## Acknowledgement

This work was funded under grant number 16 SV 1228 by the German Federal Ministry of Education and Research BMBF.

### References:

- [1] P. Dannberg, G. Mann, L. Wagner, A. Bräuer: „Polymer UV-molding for micro-optical systems and O/E-integration“, Proc. SPIE 4179 (2000), pp. 137–45.



Abb. 6:  
Frühe Ausbaustufe eines Demonstratorsystems.

Fig. 6:  
Early stage system demonstrator without motorized power control.