

Effiziente Faserkopplung mit Gradientenindex-Stablinsen

Fernando Merchán, Xiyuan Liu, Karl-Heinz Brenner

Lehrstuhl für Optoelektronik, ziti, Fakultät für Physik und Astronomie, Universität Heidelberg

mailto: fernando.merchan@ziti.uni-heidelberg.de

In der Verbindungstechnik werden effiziente Kopplungen von der Lichtquelle in die Lichtleitfaser und umgekehrt von der Lichtleitfaser in den Empfänger gebraucht. In diesem Paper wird die Optimierung einer solchen Kopplung mittels GRIN-Stablinsen vorgeschlagen. Die Abbildungseigenschaften einer für die Faserkopplung hergestellten GRIN-Linse werden simuliert und verifiziert.

1 Anwendung und Motivation

Für die Hochgeschwindigkeitsübertragung [1] wird das Licht aus einem VCSEL in eine Lichtleitfaser eingekoppelt. Da es sich um einen stark divergenten Strahl handelt, ist eine direkte Kopplung nicht optimal. Unter Verwendung der passenden Koppelstruktur [2] und der GRIN-Linse mit angepasstem Durchmesser kann die Koppel-effizienz maximiert und der Justieraufwand zwischen den optischen Bauteilen minimiert werden.

2 Paraxiale Abbildungsformel

Um die Abbildungseigenschaft einer GRIN-Linse zu untersuchen, wird zuerst eine paraxiale Abbildungsformel entwickelt. Die folgenden Formeln für eine Abbildung (Abb. 1) basieren auf der paraxialen ABCD-Matrixtheorie.

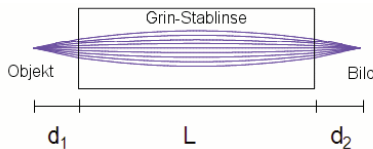


Abb. 1 Abbildung durch eine GRIN-Stablinse

Für ein parabolisches Gradient-Indexprofil

$$n(r) = n_0 + n_{r2} r^2, \quad (1)$$

kann eine Abbildung erzielt werden, wenn die Abstände d_1 , d_2 und die Länge der Stablinse L die folgende Gleichung erfüllen:

$$\operatorname{atan}\left(d_2 \sqrt{-2n_0 n_{r2}}\right) + \operatorname{atan}\left(d_1 \sqrt{-2n_0 n_{r2}}\right) + \frac{L}{n_0} \sqrt{-2n_0 n_{r2}} = \pi. \quad (2)$$

Hierfür beträgt der Abbildungsmaßstab:

$$m = \sqrt{\frac{1 - 2n_0 n_{r2} d_2^2}{1 - 2n_0 n_{r2} d_1^2}}. \quad (3)$$

Für die Dispersion der GRIN-Linse verwendet der Hersteller die Sellmeier-Formel:

$$n_{sm}^2(\lambda, r) = n_{ref}^2(r) + K_1(r) \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{ref}^2}{\lambda^2}\right) \quad (4)$$

$$\begin{cases} n_{ref}(r) = n_0 + n_{r2} \cdot r^2 + n_{r4} \cdot r^4 \\ K_1(r) = K_{11} + K_{13} \cdot n_{ref}^2(r) \end{cases}$$

Um die Abbildungsformeln weiter für verschiedene Arbeitswellenlänge zu verwenden, wird die Reihenentwicklung in r^n für $n_{sm}(\lambda, r)$ durchgeführt. Somit kann das Indexprofil mit der Dispersionseigenschaft zusammen dargestellt werden durch

$$n_{fit}(\lambda, r) = n_0(\lambda) + n_{r2}(\lambda) \cdot r^2 + O(r^4)$$

$$\begin{cases} n_0(\lambda) = \sqrt{n_0^2 + (K_{11} + K_{13} n_0^2) \frac{\lambda^2 - \lambda_{ref}^2}{\lambda^2}} \\ n_{r2}(\lambda) = \frac{n_0 n_{r2}}{n_0(\lambda)} \left(1 + K_{13} \frac{\lambda^2 - \lambda_{ref}^2}{\lambda^2}\right) \end{cases} \quad (5)$$

Der Vergleich von n_{fit} mit n_{sm} in Abb. 2 zeigt eine geringe Abweichung am Rand der Grin-Stablinse. Die Gleichungen 2 bzw. 3 sind dann auch verwendbar für beliebige Wellenlänge, wenn $n_0(\lambda)$ und $n_{r2}(\lambda)$ aus Gleichung 5 dort eingesetzt werden.

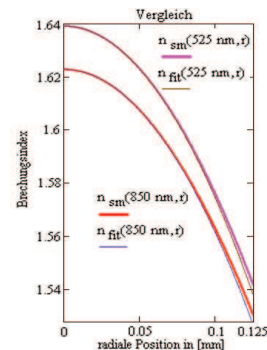


Abb. 2 Vergleich von n_{fit} mit n_{sm} .

3 Zemax-Simulation

Mit einer Zemax-Simulation wurde der optimierte Bildabstand d_2 für gegebene d_1 und L gesucht.

Die Zemax-Simulation weist eine negative sphärische Aberration auf. Daraus folgt, dass der optimierte Bildabstand d_2 kleiner als aus der paraxialen Berechnung (Gleichung 2) ist.

4 Experimentelle Verifikation

Zur Verifikation der Abbildungsformeln mit Dispersion wurden Experimente mit sowohl sichtbarem als auch infrarotem Licht durchgeführt (Abb. 3). Gesucht ist der beste Bildabstand nach der GRIN-Linse mit fester Stablänge für einen gegebenen Objektabstand.

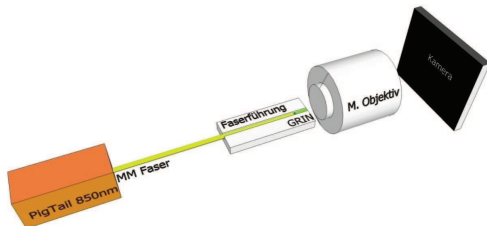


Abb. 3 Schematische Darstellung des Aufbaus zur Verifikation der Abbildungseigenschaften einer GRIN-Linse

Die Suche nach dem besten Bildabstand beruht auf zwei unterschiedlichen Prinzipien: scharfes Bild der Faserendfläche auf der Kamera (Abb. 4 rechts) und kleinste FWHM im Bild einer leuchtenden Singlemode-Faser (Abb. 5).

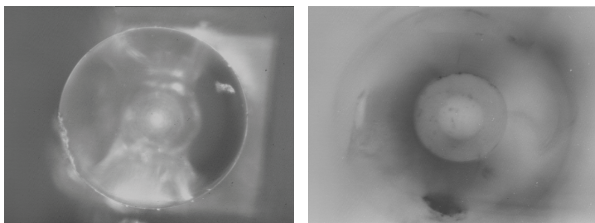


Abb. 4 Endfläche der GRIN-Linse (Links) und Abbildung der Faserendfläche (Rechts).

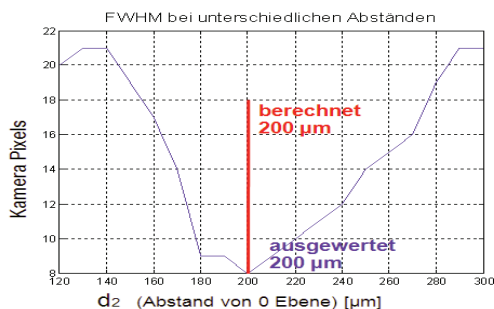


Abb. 5 Auswertung der FWHM und Vergleich mit der Berechnung für $d_1=95\mu\text{m}$

Die Messung wurde für unterschiedliche Arbeitsabstände durchgeführt. Die Ergebnisse aus bester Bildschärfe sind in der Abbildung 6 zu sehen. In der Abbildung 7 ist die Auswertung aus Suche nach der kleinsten FWHM.

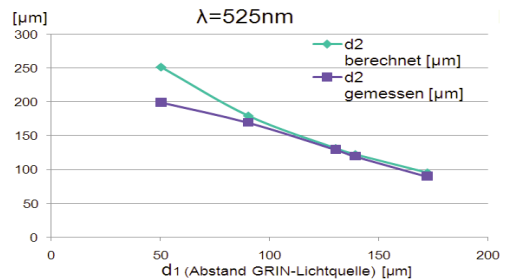


Abb. 6 Vergleich der theoretisch berechneten und gemessenen Arbeitsabstände

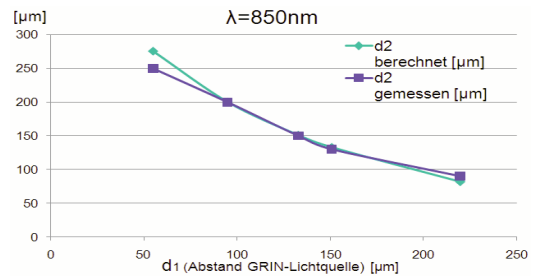


Abb. 7 Vergleich der Berechnung und Messung nach Auswertung der Intensitätsverteilungen

Ein Vergleich zwischen der gekoppelten Lichtleistung mit und ohne GRIN-Linse, zeigt eine erhebliche Verbesserung der Koppel-effizienz für Arbeitsabstände grösser 100 μm .

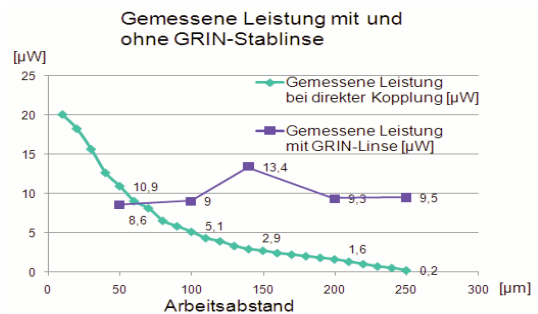


Abb. 8 Gekoppelte Leistung mit und ohne GRIN-Linse

5 Zusammenfassung

Die Koppel-effizienz zwischen Laser und Faser wird unter Verwendung einer GRIN-Linse erhöht. Die theoretische Berechnung stimmt mit den experimentellen Ergebnissen gut überein.

Literatur

- [1] F. Merchán, Karl Heinz Brenner, Peter Gregorius, Sven Hendrik Voß, "FPGA-Board and Active Optical Cable Design for Multi-Gigabit Communication", ESTC 2010 (Electronics System Integration Technology Conferences), accepted (2010)
- [2] F. Merchán, D. Wohlfeld, K.-H. Brenner, "High speed communication using micro optical integration", DGaO-Proceedings (Online-Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik e. V.), ISSN: 1614-8436, 110. Jahrestagung in Brescia/Italien, (2009)