

Leiterplattenintegrierte gedruckte-optische Lichtwellenleiter

Andreas Evertz*, Ludger Overmeyer*

* Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover, An der Universität 2, 30823 Garbsen

<mailto:andreas.evertz@ita.uni-hannover.de>

Zur Umsetzung von EOCB ist die rotative Drucktechnik prädestiniert aufgrund ihres parallelen und rein additiven Materialauftrags. Die PCB-Integration von gedruckten Wellenleitern auf PI Substrat erfordert unteren Mantel, Kern und oberen Mantel sequentiell drucktechnisch zu erzeugen. Die gemantelten Lichtwellenleiter werden exemplarisch in Leiterplatten eingebettet und ihre Funktion anhand optischer Transmissionsmessungen überprüft.

1 Einführung

Gedruckte Lichtwellenleiter weisen Potential auf kosteneffiziente optische Datenübertragungen in Leiterplatten umzusetzen. Sogenannte EOCB (Electro-Optical Circuit Boards) sind aktuell auf Basis von Dünnglas-basierten Wellenleitern oder lithographischen Verfahren erhältlich [1,2]. Hohe Produktivität für die rein additive Herstellung polymerer Lichtwellenleiter weisen rotative Druckverfahren wie der Flexodruck auf. In vorangegangener Forschung sind polymere Lichtwellenleiter auf Basis kommerzieller Drucklacke direkt auf PMMA gedruckt worden. Dabei konnte eine Dämpfung von bis zu 1 dB/cm dargestellt werden [3].

Auf Basis dieser PMMA-basierten Lichtwellenleiter wird eine optische Datenübertragungsstrecke dargestellt, die einen vereinzelt Lichtwellenleiter als diskretes Bestückungselement oberseitig auf eine Leiterplatte aufbringt. Datenraten bis zu 1,25 Gbit/s werden so erreicht [4]. Um den Wellenleiter als Zwischenlage innerhalb einer Leiterplatte einzubetten wird ein Heißlaminationsprozess benötigt, der 3h bei 180°C appliziert wird. PMMA-Substrat kann aufgrund der Glasübergangstemperatur von 105 °C diesen Belastungen nicht standhalten. Der Druck der Lichtwellenleiter muss deshalb auf das thermostabile neuartige PI-Substrat übertragen werden.

2 Methodik

Da PI-Substrat ($n = 1,7$) im Gegensatz zu PMMA ($n = 1,49$) deutlich höheren Brechungsindex aufweist, können die bisher eingesetzten Druckpolymere ($n = 1,51$) nicht eingesetzt werden. An den Grenzflächen zwischen den Polymeren findet so keine Totalreflexion statt. Weitläufige Untersuchungen diverser transparenter Druckpolymere zeigen, dass die eingesetzten Acrylate nicht mit PI als direktes Grenzmaterial kompatibel sind. Daher wird ein mehrschichtiger Aufbau erforderlich, der in Abbildung 1 dargestellt ist. Dieser soll in drei sequentiellen Flexodruckstufen umgesetzt werden, sodass eine Inline-Fertigung mit hoher Produktivität ermöglicht

wird. Anschließend erfolgt die Lamination in Leiterplattenbasismaterial, sowie die Charakterisierung der optischen Dämpfung der integrierten Wellenleiter.

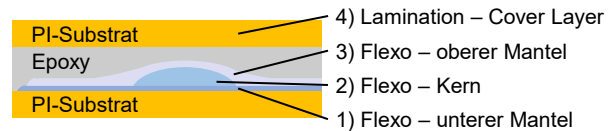


Abb. 1: Lagenaufbau der integrationsfähigen Lichtwellenleiter

Jede Lage fordert unterschiedliche geometrische und optische Charakteristiken. Der untere Mantel muss ohne Durchbrüche und möglichst niedriger Welligkeit hergestellt werden, um eine niedrige Dämpfung zu erzielen. Der Kern soll hohe Konturschärfe sowie homogenen Höhengaufbau auf dem unteren Mantel erreichen. Für den oberen Mantel ist es unumgänglich, dass er den gesamten Kern abdeckt, sodass eine gleichbleibende Grenzschicht zur Totalreflexion erzeugt wird.

3 Ergebnisse

Zunächst wird der untere Mantel gedruckt. Voruntersuchungen zeigen, dass bei geringem Druckwalzendruck die niedrigste Welligkeit, jedoch die häufigsten Durchbrüche in der Struktur zu erkennen sind. Abbildung 2 zeigt, dass sich beim Druck mehrerer Lagen mit hohem Zustelldruck die Welligkeit wenig verändert, jedoch die Benetzung und Höhe der unteren Mantelstruktur bei drei Auftragslagen besonders zuverlässig ist.

Beim Druck des Kerns ist das Kissprinting die Druckvariante, die zur höchsten Konturschärfe führt. Dabei baut der Druckstempel keinen Kontakt mit dem Substrat und der vorher gedruckten Struktur auf. Dies wird über den gesamten Druckverlauf beibehalten indem das Druckwerk angehoben wird. Abbildung 3 zeigt den Kern nach 15 Kissprinting-Druckdurchgängen.

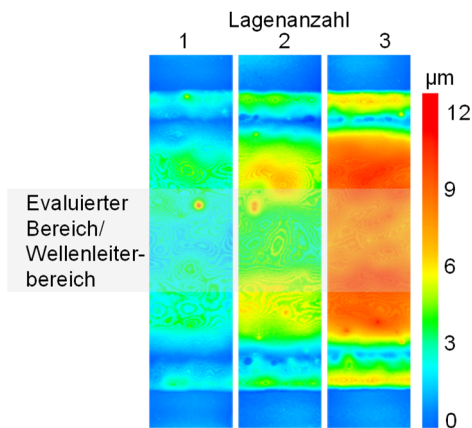


Abb. 1: Konfokalaufnahmen des gedruckten unteren Mantels mit unterschiedlicher Lagenanzahl

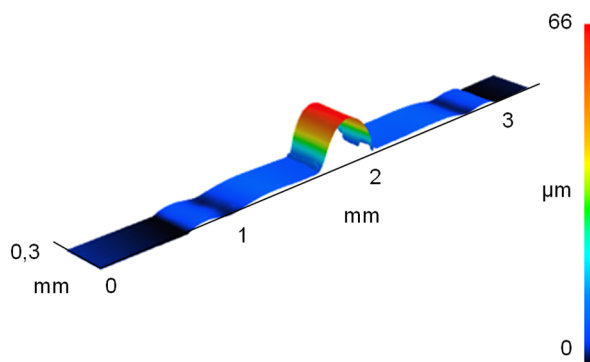


Abb. 2: Konfokalaufnahme des gedruckten Kerns auf unterem Mantel mit 15 Schichten

Für den oberen Mantel ist die komplette Abdeckung des Kerns essentiell. Dafür werden die Druckstufen variiert, nachdem festgestellt wird, dass erst mit hohem Zustelldruck Benetzung über die gesamte Breite möglich ist. Abbildung 4 zeigt, dass ab sechs Drucklagen keine Fehlbenetzungen am Rand des Kerns gegeben sind. Unterhalb von vier Lagen fließen die Druckpolymere von den Kanten des Kerns ab, sodass im nachfolgenden Laminationsprozess, die Wellenleiter geschädigt werden.

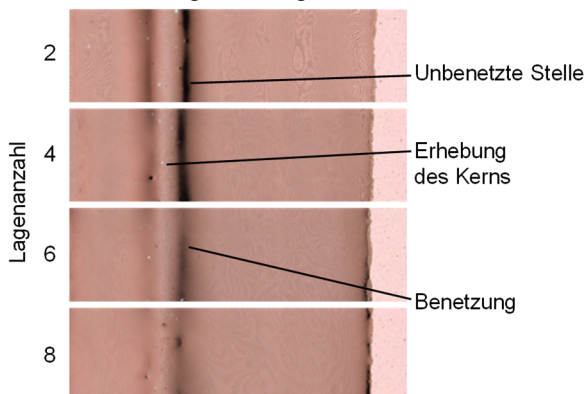


Abb. 3: Mikroskopische Aufnahmen des oberen Mantels mit verschiedenen Schichtanzahlen

Bei der Lamination ist der wesentlichste Faktor, die Vergilbung durch Degradation sowie mechanische Schädigung des Kerns zu vermeiden. Abbildung 5

zeigt in einem Schlibbild, dass der Kern ohne Schädigung in eine Multilayerleiterplatte integriert werden kann. Dazu werden je eine FR4-Lage auf und unter den Wellenleiter laminiert, sodass im Anschluss beide Seiten weiter mit Versteifungsbasismaterial versehen werden können.

Auf Basis dieser Proben werden Dämpfungsmessungen durchgeführt. Per Cutback-Methode werden die Wellenleiter schrittweise zurückgeschnitten und die Facetten durch MKD-Frässprozesse präpariert. Eine weglängenbezogene Dämpfung von 4,5 dB/cm wird ermittelt, die um 1,2 dB/cm höher als die Dämpfung unlaminiertes Wellenleiter liegt.

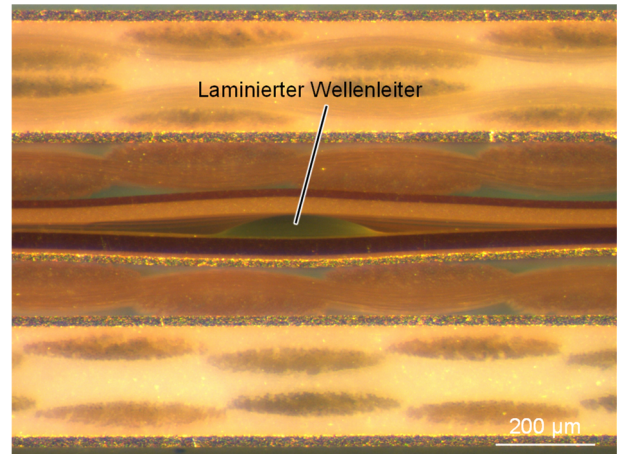


Abb. 4: Schlibbild des integrierten gedruckten Lichtwellenleiters

4 Ausblick

Auf Basis dieser Ergebnisse kann Potential für die flexographisch hergestellten Lichtwellenleiter in Leiterplatten erschlossen werden. Die Dämpfung stellt für zukünftige Forschung ein Optimierungspotential dar, das auf Anwendungen im Längenbereich bis 50 cm blicken lässt.

Literatur

- [1] Neitz, M.; Schneider-Ramelow, M.; Schröder, H.: *Demonstration of glass-based photonic interposer for mid-board-optical engines and electrical-optical circuit board (EOCB) integration strategy in Optical interconnects XVIII*, H. Schröder and R. T. Chen, Eds.: SPIE, p. 12, 2018, DOI: 10.1117/12.2297363.
- [2] Lamprecht, T.; Betschon, F.; et al.: *EOCB-Platform for Integrated Photonic Chips Direct-on-Board Assembly within Tb/s Applications in Electronic Components and Technology Conference 2018*, S. 854–858, 2018, DOI: 10.1109/ECTC.2018.00132.
- [3] Wolfer, T.: *Additive Fertigung integrierter multimodaler Polymer-Lichtwellenleiter mittels Flexodruck*, Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover; TEWISS - Technik und Wissen GmbH, Garbsen, 2020
- [4] Evertz, A.; Reitz, B.; et al.: *Fast ethernet operation of a printed optical transmission path using industrial integration technologies in Optical Interconnects XXII*, R. Chen, Ed.: SPIE / International Society for Optical Engineering, p. 25, 2022, DOI: 10.1117/12.2609554.