

* Dipl.-Ing. Thomas Fahlbusch, Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Direktes selektives Schreiben von optischen Leitstrukturen

Ein neuartiger Fertigungsprozess ermöglicht das direkte Erzeugen von optischen Leitstrukturen. Dieser realisiert mit einem selektiven und lokalen Auftragverfahren den direkten Anschluss optischer Leitstrukturen an aktive elektrooptische Bauteile.

Übersicht

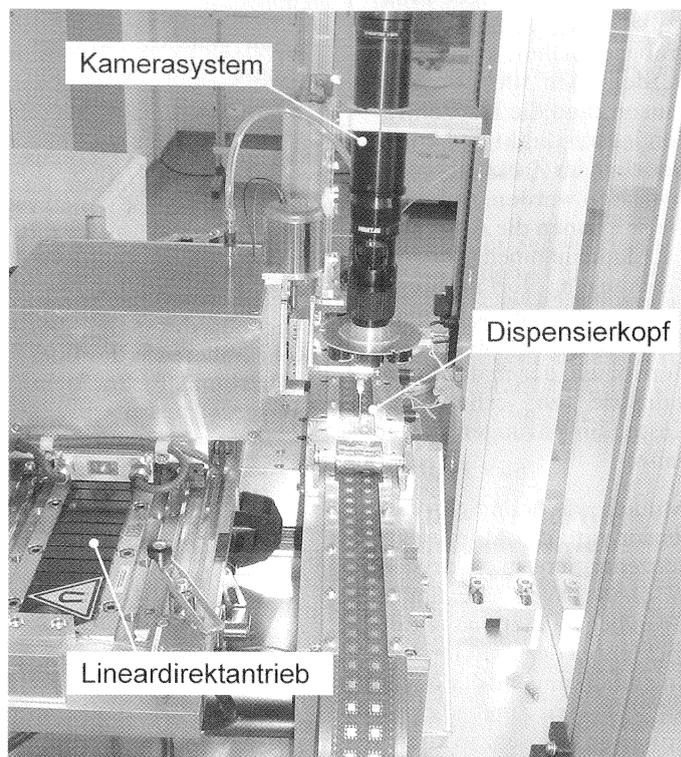
Die Nutzung von Licht zur Übertragung von Informationen und zum Messen von Zustandsgrößen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Optische Verbindungen im WAN (Wide Area Network) und LAN (Local Area Network) sind gekennzeichnet durch hohe Übertragungsraten und aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Gerade bei der Datenübertragung liegen die wesentlichen Vorteile nicht nur in der hohen Übertragungsgeschwindigkeit, sondern auch in der Störsicherheit bei kritischer Umgebung sowie in der Potentialtrennung. Durch die zunehmende Dichte von Quellen elektromagnetischer Strahlung muss der Schutz vor Störungen frühzeitig bei der Entwicklung technischer Systeme berücksichtigt werden. Zunehmend wird Lichtwellenleitertechnologie auch auf Systemebene verwendet [STR02]. Mit der hier vorgestellten Technik soll die Basis für ein Verfahren zur direkten und selektiven Erzeugung von lichtleitenden Strukturen auf metallischen, keramischen und polymeren Bauteiloberflächen auf Systemebene gezeigt werden.

Grundlagen der Lichtwellenleitertechnik

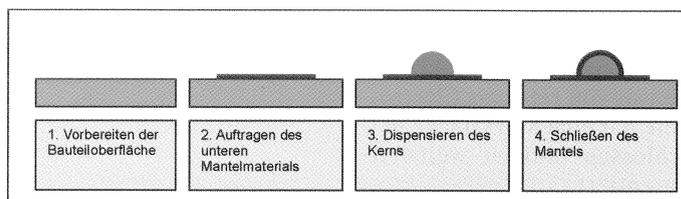
Die grundsätzliche Funktion von Lichtwellenleitern (LWL) beruht auf Totalreflexion. Diese tritt an der Grenzfläche ei-

nes optisch dichten zu einem optisch dünneren Material auf. Dazu muss die Grenzfläche unter einem Winkel oberhalb von \arcsin angestrahlt werden. Der Winkel α stellt den arcsinus des Quotienten der Brechungsindizes beider Materialien dar. Der so reflektierte Lichtstrahl wird dabei theoretisch verlustfrei innerhalb der Faser geführt. Dieser Effekt der Totalreflexion wird in der Lichtwellenleitertechnik zur Realisierung von sehr großen und störungsunanfälligen Datenübertragungstrecken genutzt. In der Umsetzung findet man als Übertragungssystem die Stufenindexprofilfaser realisiert. Alternative Faserkonzepte basieren auf einer stetigen Änderung des Brechungsindex entlang des Faserquerschnittes, diese finden hier zunächst keine weitere Berücksichtigung [DAU01].

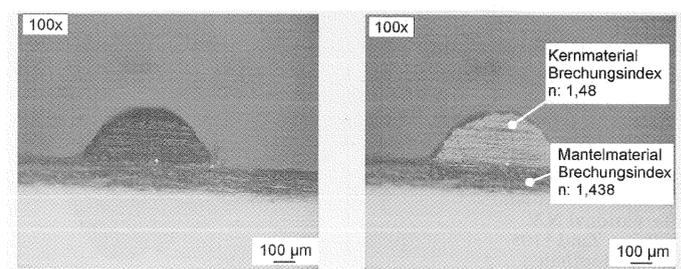
Zur Erzeugung einer lichtleitenden Struktur sind somit ein Mantel und ein Kern mit unterschiedlichen Brechungsindizes notwendig. Die Größe der relativen Brechzahldifferenz Δn hat einen direkten Einfluss auf den Akzeptanzwinkel. Dieser beschreibt den Winkel, unter dem Licht noch in eine Faser eingekoppelt werden kann. Eine Vergrößerung des Akzeptanzwinkels führt durch die daraus entstehende größere Modendispersion zu einer stärkeren Signalaufweitung und damit zu einer Verschlechterung der Signalübertragung. Neben diesen Einflüssen ist bei den bis dato zum Einsatz kommenden Sys-



Am ITA entwickelte Dosieranlage



Verfahrensschritte zum Dispensieren eines Oberflächen LWLs



Teststruktur eines Oberflächen LWLs

Signal in dem erzeugten LWL

Schnitt durch eine erzeugte Oberflächenstruktur ohne und mit eingekoppeltem Lasersignal

* Dipl.-Ing. Thomas Fahlbusch, Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik an der Universität Hannover



MICRO-EPSILON

Mehr Präzision. Berührungslose Weg- und Positionssensoren.

temen die Präparation der Stirnfläche der Faser sowie deren exakte Positionierung für eine erfolgreiche Faserkopplung von entscheidender Bedeutung. Vorhandene Fasersysteme sind für eine direkte Bauteilintegration bisher nicht vorgesehen [FIS02].

Dispensieren von optischen Leitern

Ziel des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist es, eine Lösung für das direkte Einbringen von optischen Leitern in Bauteile aus unterschiedlichen Materialien mit verschiedenen Geometrien zu entwickeln. Das Verfahren soll prinzipiell auch auf dreidimensionale Bauteile übertragbar sein, ähnliche Verfahren werden für das Erzeugen von räumlichen elektronischen Baugruppen entwickelt [FEL04]. Als Lösungsweg dient das Verfahren des Dispensierens von optischen Polymeren in Bauteilkavitäten oder auf innenliegende Bauteilflächen. Bei der Polymerauswahl kommen zunächst verfügbare Polymere in Betracht. Diese Materialien sind mit Dosiersystemen wie dem Druck-Zeit System oder volumetrischen Systemen kalt, d.h. bei einer Umgebungstemperatur von ca. 20 Grad Celsius, zu verarbeiten [ORT95].

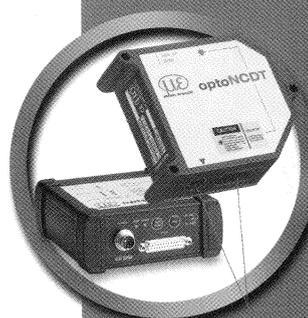
Zum präzisen Auftrag optischer Polymere wurde am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik ein kartesisches dreiachsiges Fertigungssystem aufgebaut. Über ein Kamerasystem wird dabei die Auftragposition hochgenau erfasst und in Kombination mit Lineardirektantrieben eine Positionsgenauigkeit von 10 µm lateral umgesetzt. Für die Z-Achse ist eine Genauigkeit von 3 µm erreichbar. Als Dosiersystem wird bisher ein Druck-Zeit System eingesetzt, da dieses die Abdeckung eines sehr breiten Spektrums an zu verarbeitenden Viskositäten erlaubt [LUC98].

Ein wesentlicher Vorteil bei der flüssigen Verarbeitung ist die direkte Kontaktierung der elektrooptischen ggf. auch ungehäuteten Komponenten: Dazu wird zum Beispiel die optische Leiterbahn direkt an eine kantenemittierende LED angeschlossen. Da das Polymer zunächst in flüssiger Form vorliegt, entfällt die aufwendige Präparation der Anschlussfläche. In Abhängigkeit der Eigenschaften des verwendeten Polymers ist eine Verarbeitung damit auch auf und in beliebigen Oberflächen möglich.

Dabei wird zunächst ein Teil des Mantelmaterials auf das Bauteil aufgebracht. Das Polymer wird anschließend abhängig vom verwendeten Härterssystem mittels UV-Strahlung oder thermisch ausgehärtet und die Kernstruktur aufgetragen. Nach dem Aushärten der Kernstruktur wird der Mantel des Lichtwellenleiters durch das Auftragen von Mantelmaterial geschlossen. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Verfahren näher beschrieben.

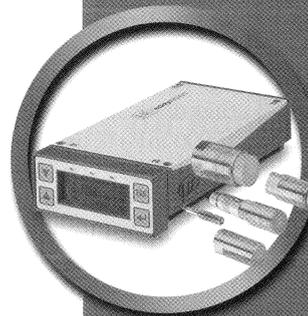
Mehrstufiges Dispensieren eines Lichtleiters auf einer Oberfläche

Zunächst wird die Bauteiloberfläche vorbereitet, dazu werden eventuelle Verschmutzungen und Fettablagerungen entfernt. Kleinere Kratzer und Unebenheiten können durch die Oberflächenspannung des Mantelmaterials kompensiert werden. Das Mantelmaterial wird zunächst über eine Kanüle mit einem Innendurchmesser kleiner gleich dem Kerndurchmesser des zu erzeugenden Leiters lokal direkt auf die Bauteiloberflächen aufgebracht. Die Positionsanforderungen an das Mantelmaterial sind dabei vergleichsweise gering; es ist jedoch sicherzustellen, dass die Oberfläche des Mantelmaterials keine Störungen aufweist und die Schichtdicke gleichmäßig ist.



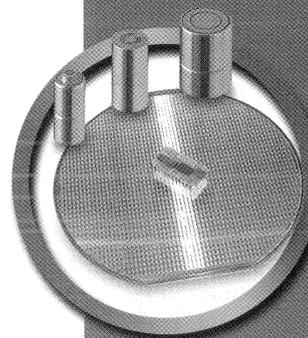
Höchste Präzision optoNCDT 2200 Lasertriangulation

- Messbereiche 2 - 750 mm
- Auflösung 0,1 µm
- Linearität ±1 µm
- Messrate 10 kHz
- Digitaler Ausgang
- Bewährte CCD/CMOS-Technologie



High Speed eddyNCDT 3300 Wirbelstrom-Verfahren

- Messbereiche 0,4 - 80 mm
- Auflösung 0,04 µm
- Linearität ±0,8 µm
- Grenzfrequenz 100 kHz
- Temperaturstabilität 0,015 % d.M./°C
- Subminiatur-Bauformen

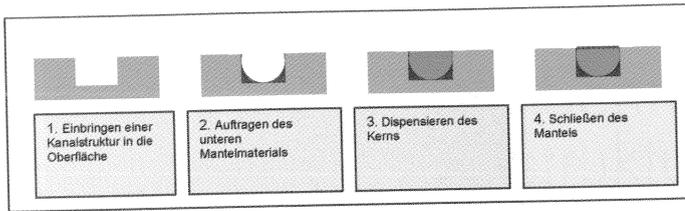


Extreme Auflösung capaNCDT Kapazitives Prinzip

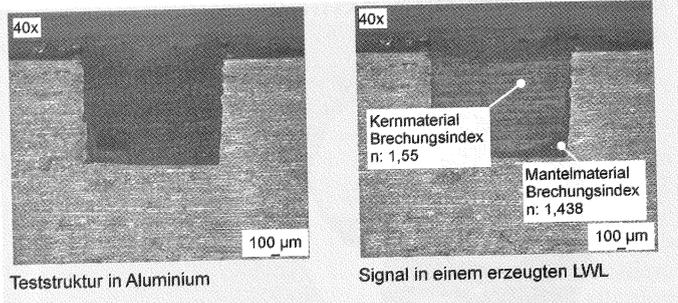
- Messbereiche 0,05 - 10 mm
- Auflösung 0,002 µm
- Linearität ±0,1 µm
- Grenzfrequenz 25 kHz
- Temperaturbereich -50 bis +200 °C
- Für elektrisch leitende Werkstoffe

www.micro-epsilon.de

MICRO-EPSILON Messtechnik GmbH & Co. KG
Königbacher Str. 15 · 94496 Ortenburg
Tel. 08542/168-0 · Fax 08542/168-90
info@micro-epsilon.de



Verfahrensschritte zum Dispensieren eines in die Oberfläche integrierten LWLs



Schnitt durch eine erzeugte Lichtleiterstruktur ohne und mit eingekoppeltem Lasersignal

Nach dem Aushärten des Polymer wird auf diesen unteren Mantel anschließend der optische Kern aufgebracht. Hierbei wird ein Polymer mit einer sehr hohen Viskosität verwendet; das Polymer hat dabei eine gelartige Konsistenz, um nach dem Auftragen die Form beizubehalten. An die Struktur des Kernmaterials werden dabei höchste Anforderungen hinsichtlich der Gleichmäßigkeit und der geometrischen Abmessungen gestellt. Diese Anforderungen werden einerseits durch eine konstante Dosiergeschwindigkeit sowie eine konstante Dosiermenge erfüllt. Nach der Aushärtung des Kerns wird dieser in einem weiteren Verfahrensschritt mit dem Mantelmaterial überzogen. Der Mantel wird auf diese Weise geschlossen und ermöglicht die Lichtwellenleitung.

Ergebnis

Mit dem beschriebenen Verfahren ist es bisher möglich, eine Kernstruktur von ca. 400 µm Breite und 250 µm Höhe zu erstellen. Dabei erweisen sich der Dosierprozess sowie die Viskosität des Kernmaterials als prozessbestimmende Parameter. Als Mantelmaterial

findet ein Polymer mit einer Viskosität von 20 mPa*s und einem Brechungsindex von 1,438 Verwendung. Das gelartige Polymer für den Kern verfügt über eine Viskosität von 10000 mPa*s und einem Brechungsindex von 1,48. Es kann laut Herstellerangaben auf senkrechte Flächen aufgetragen werden und fließt nicht. Damit ist ein prinzipieller Auftrag auf räumlichen Bauteiloberflächen möglich. Deutlich zu sehen ist, dass das Lichtsignal im Kernmaterial geführt wird.

Anwendung

Das beschriebene Verfahren funktioniert unabhängig von der Bauteilgeometrie, so lange diese die zulässigen Biegeradien für den erzeugten Lichtwellenleiter nicht unterschreitet. Ein kleinerer Biegeradius führt zu einem optischen Leck in der Faser, und das Signal tritt an dieser Stelle aus. Um die Zuverlässigkeit der Verbindung zu gewährleisten, muss der erstellte Lichtleiter vor mechanischen Belastungen geschützt werden.

Dazu wird der Lichtleiter auf der geschützten Innenseite des

Bauteils aufgebracht. Die mechanische Empfindlichkeit kann jedoch auch zur Bauteilüberwachung ausgenutzt werden. Eine zu starke Deformation des Bauteils führt zum Bruch des Lichtleiters. Dadurch wird eine bestehende optische Verbindung getrennt. Diese Signalunterbrechung aktiviert einen Auslösemechanismus für eine Notfunktion. Im Idealfall ist die mechanische Belastbarkeit des LWLs dabei so einzustellen, dass sie kurz unterhalb des Bauteilversagenszustandes liegt. Einsatzmöglichkeiten liegen hier im Automobilbereich sowie in der Sicherheitstechnik.

Weitere Anwendungsgebiete der direkt erzeugten Lichtleiter liegen in der Datenübertragungstechnologie auf Systemebene, wobei sich die einfache Kontaktierung der elektrooptischen Komponenten wie z.B. LEDs als großer Vorteil erweist.

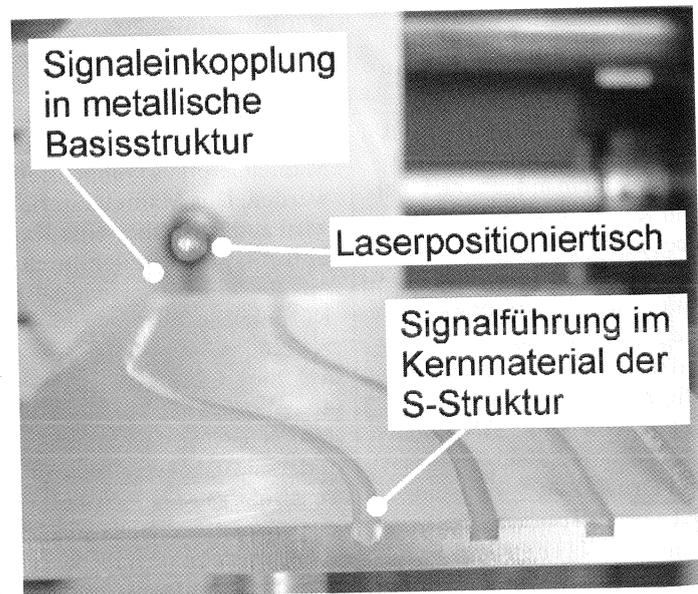
Mehrstufiges Dispensieren eines Lichtleiters in die Kavität einer Oberfläche

Zur Erzeugung eines in das Bauteil integrierten Lichtwellenleiters wird das Bauteil zunächst durch einen abtragenen oder umformtechnischen Prozess mit einer Graben-

struktur versehen. Diese Grabenstruktur wird anschließend mit einem Teil des optischen Mantels (Brechungsindex 1,438) benetzt. In die so entstandene Mantelstruktur wird der flüssige optische Kern (Brechungsindex 1,55) eingebracht und anschließend mit dem flüssigen optischen Mantel geschlossen. Zwischen den einzelnen Prozessschritten wird zunächst das jeweilige Polymer optisch mit UVA Strahlung von 320-400 nm ausgehärtet. Die so erzeugte Geometrie ist aufgrund der Grabenstruktur sehr definiert.

Ergebnis

Die besten Ergebnisse werden bei diesen Verfahren mit der Verwendung von sehr niedrig viskosen (20 - 80 mPa*s) Klebern realisiert. Diese kompensieren eventuelle Schwankungen des Dosierprozesses durch Kapillareffekte innerhalb der Grabenstruktur. Damit ergibt sich für den Mantel eine einheitliche Dicke mit einer definierten Geometrie. Somit wird die Form für den Kern erzeugt. Bei den anfänglich für das Kernmaterial verwendeten Polymeren kommt es aufgrund der höheren Viskosität zu Luftpfehlungen in der Kanalstruktur. Dies lässt sich jedoch durch eine angepasste



In eine S-Struktur eingekoppeltes Signal

Viskosität nahezu vollständig vermeiden. Das optimierte Polymer fließt – bedingt durch die Kapillareffekte – selbstständig in die Grabenstruktur.

Bei einer Signaleinkoppelung ist deutlich sichtbar, dass das Signal im Kern des Leiters geführt wird. Der Kern erscheint hier rot, und der ebenfalls klare Mantel erscheint schwarz. Um den Einfluss von Kurvenradien auf das übertragene Lichtsignal zu untersuchen, werden Probebauteile erstellt. Hierbei werden sowohl Y- als auch S-Strukturen untersucht; in beiden Fällen kann dabei eine hinreichend gute Lichtleitung festgestellt werden.

Der kleinste zunächst erzeugte Radius beträgt 30 µm. Weitere Untersuchungen betreffen die Ermittlung des zulässigen Grenzdiameters.

Anwendung

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der über eine Grabenstruktur definierten Geometrie des erzeugten Lichtwellenleiters. Die Größe dieser Strukturen ist direkt über die Grabenstruktur beeinflussbar und kann in beliebige Materialien eingebracht werden. Durch das Ausnutzen der Fließigenschaften der Polymere sind verzweigte Strukturen leicht realisierbar. Die Integration des Lichtwellenleiters in die Oberfläche bewirkt einen Schutz gegenüber mechanischer Scherbelastung und stellt eine direkte Kopplung des Lichtwellenleiters mit dem Trägermaterial sicher.

Dies kann in Zukunft der Erzeugung integrierter optischer Sensoren dienen, da das mechanische Verhalten des Lichtwellenleiters, wie zum Beispiel dessen Dehnung, direkt mit dem Bauteil verbunden ist. Als Anwendungsgebiete sind hier auch der Automobilbereich sowie Datenübertragungsmechanismen auf Systemebene zu nennen.

Ausblick

Mit dem vorgestellten Verfahren können über direkte Auftragsverfahren optische Leitstrukturen erzeugt werden.

Diese ermöglichen die Integration von zusätzlichen Eigenschaften zur Informationsübertragung und Sensorik in Bauteile.

Durch die flüssige Verarbeitung der optischen Materialien können die zu erzeugenden Lichtwellenleiter direkt an die Sende- und Empfangseinheiten angeschlossen werden. Eine aufwendige Präparation der Kontaktflächen entfällt. Das Verfahren ist dabei in eine vollautomatisierte Fertigung zu integrieren und gewährleistet eine hohe Flexibilität bei der Bearbeitung von verschiedenen Basismaterialien.

Fokus der weiteren Verfahrensentwicklung ist die Verbesserung der Dämpfungseigenschaften der erzeugten Fasern sowie die Optimierung der Datenübertragungseigenschaften durch eine Steigerung der Güte der erzeugten Geometrie und der verwendeten Polymere. Außerdem wird zur Zeit an der Entwicklung eines Siebdruckprozesses auf Basis der vorgestellten Technologie geforscht. Die Mantel- und Kernstrukturen werden dabei über eine angepasste Siebdrucktechnik erzeugt. In Kombination mit den bereits vorgestellten Verfahren können zukünftig komplexere Strukturen erzeugt werden.

[FEL04] Feldmann, K.: 3D-MID Technologie: Räumliche elektronische Baugruppen; Herstellungsverfahren, Gebrauchsanforderungen, Materialkennwerte. Hanser Verl., München, Deutschland, 2004.

[FIS02] Fischer, U. H. P.: Optoelectronic packaging: Optische Netze - Komponenten - Aufbautechniken - Faser-Chip-Kopplung. VDE-Verl., Berlin, Deutschland, 2002.

[LUC98] Luchs, R.: Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT. Meisenbach Verl., Bamberg, Deutschland, 1998.

[ORT95] Orthmann, K.: Kleben in der Elektronikanwendung, Aufbau, Applikation, Qualität, Zuverlässigkeit. expert Verl.; Renningen Malmshaus, Deutschland, 1995.

[STR02] Strobel O.: Lichtwellenleiter – Übertragungs- und Sensortechnik. VDE Verl., Berlin, Deutschland, 2002.

[DAU01] Daum, W.: POF - Optische Polymerfasern für die Datenkommunikation. Springer Verl., Berlin, Deutschland, 2001.

www.sensor-test.com



SENSOR+ TEST 2005

12. Internationale Messe für Sensorik, Mess- und Prüftechnik mit begleitenden Kongressen

Messezentrum Nürnberg

10. – 12. Mai 2005

Vom Mikrosensor
bis zur komplexen
Testanlage

Das gesamte Spektrum
der messtechnischen
Systemkompetenz



Veranstalter

AMA Service GmbH
Von-Münchhausen-Str. 49
31515 Wunstorf
Tel +49 (0) 50 33 96 39-0
Fax +49 (0) 50 33 10 56
info@sensorfairs.de
www.sensor-test.com