

Rechnergestütztes Design und geometriebasierte Simulation 3D strukturierter optischer Wellenleiter

Christian Fischer*, Michael Dumke**, Dr. Ralf Rieske***, Prof. Jörg Franke*, Prof. Ludger Overmeyer**,
Prof. Klaus-Jürgen Wolter***

* Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

** Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, Leibniz Universität Hannover

*** Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden

<mailto:christian.fischer@faps.uni-erlangen.de>

Die rechnergestützte Konstruktion räumlicher optomechatronischer Baugruppen wird von einer Software für elektronische 3D-Baugruppen abgeleitet. Dazu wird ein optisches Partialmodell konzipiert und in das Programm integriert. Die dafür notwendigen Daten stammen aus der Charakterisierung von Lichtwellenleitern und der Simulation typischer, prozessspezifischer Designs.

1 Einführung

Räumliche elektronische Baugruppen bieten viele Vorteile gegenüber der klassischen Aufteilung zwischen der mechanischen Funktion eines Bauteils und der dazugehörigen Elektronik auf einer flachen Leiterplatte. Die stoffliche Integration von Mechanik und Elektrik erlaubt eine hohe Gestaltungsfreiheit, die Miniaturisierung von Produkten sowie das Design neuer, innovativer Applikationen. [1]

Um die Vorzüge dieser MID- (Molded Interconnect Devices) Technologie mit den Vorteilen der Optoelektronik wie die Unempfindlichkeit gegenüber elektro-magnetischen Störfeldern und hohe Datenübertragungsraten zu verbinden, ist die Erweiterung der räumlichen elektronischen Baugruppen um Lichtwellenleiter und optische Wandlerbausteine notwendig. Dazu wird im Folgenden die softwaretechnische Realisierung des Konstruktionswerkzeuges unterstützt durch die Charakterisierung von Lichtwellenleitern und die Simulation typischer Designs vorgestellt.

2 Konstruktion räumlicher elektronischer und optoelektronischer Baugruppen

Die MID-Technologie erfordert einen neuen Ansatz im rechnergestützten Design, der den Besonderheiten der integrierten mechanischen und elektrischen/elektronischen Funktionen Rechnung trägt. Auch im CAD- (Computer-aided design) System müssen die Abläufe aus mechanischer Konstruktion und elektronischem Layout in einem Tool integriert werden. Dazu wurde am Lehrstuhl FAPS das Plug-In MIDCAD [1] für das CAD-System Pro/Engineer Wildfire entwickelt. An Hand des typischen Vorgehens in Abb. 1 ist nachvollziehbar, wie die domänenspezifischen Designfunktionen ineinander greifen.

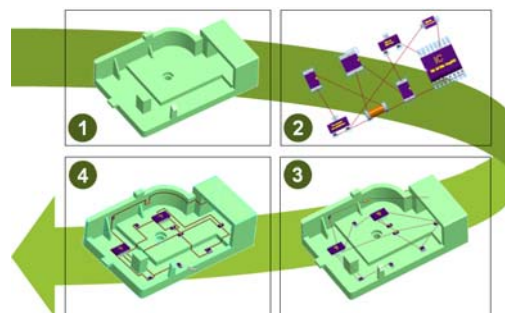


Abb. 1 Typische Konstruktion eines 3D-MID in MIDCAD

Zuerst wird der räumliche Schaltungsträger modelliert, der die mechanische Funktion des Bauteils darstellt. Es folgt der Import der Netzliste aus der Schaltungssynthese, in der die zu verwendenden elektronischen Bauelemente und deren elektrische Verbindungen aufgelistet sind. Die Bauelemente werden platziert und die Leiterbahnen auf der 3D-strukturierten Oberfläche geroutet.

Für optoelektronische Layouts (optische Wandlerbausteine und Lichtwellenleiter) wird die CAD-Datenstruktur von MIDCAD um ein optisches Partialmodell ergänzt. Damit können Informationen über die Qualität und die Leistungsverluste optischer Signalleitungen durch räumlich verlaufende Lichtwellenleiter sowie Angaben zu den Koppelungseigenschaften der Wandlerbausteine gespeichert werden. Des Weiteren sind prozessspezifische Parameter (Manufacturing Rules, MR) wie minimal realisierbare Wellenleiterbreiten und Design Rules (DR), z. B. minimale Biegeradien in Abhängigkeit der Brechungsindizes, in den Programmerrouten zu berücksichtigen.

3 Simulation optoelektronischer Schaltungen

Um DR und MR aufstellen zu können, wurde u. a. die Entwurfs- und Simulationsumgebung OptoBoard Designer des C-LAB Paderborn einge-

setzt, mit der die Signalsimulation leiterplattenbasierter Multimode-Wellenleiter durchgeführt werden kann. Typische Designs von Lichtwellenleitern und deren Koppelstellen wurden untersucht, um möglichst wenige und einfach anzuwendende Regeln aufzustellen, die in MIDCAD übernommen werden können. Dies erfolgt noch manuell, soll in Zukunft jedoch automatisch geschehen.

Für die Auswertung stehen Intensitätsverteilungen für Nah- und Fernfeld sowie Step-Response-Diagramme für Signallaufzeiten zur Verfügung. Für die Ein- und Auskopplung zu einer 100 mm langen, geraden Strecke wurden die Abhängigkeiten der Signal-Leistungsverluste und der Laufzeit von Winkel und Radien der Koppelbiegungen sowie von der Gestalt des Leitungsquerschnitts ermittelt (s. Abb. 2).

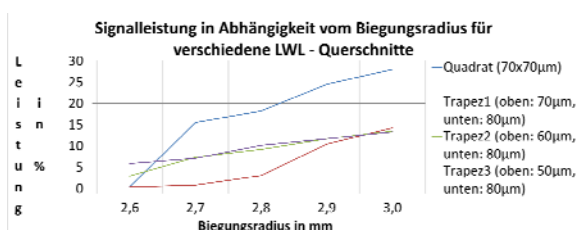


Abb. 2 Auswertung mehrerer Simulationen mit dem OptoBoard Designer

4 Simulation optischer Wellenleiter

Polymere Wellenleiter unterscheiden sich von optischen Fasern in drei Aspekten. Sie besitzen einen vorbestimmten Verlauf, ihre Länge liegt typisch zwischen einigen Millimetern und mehreren Zentimetern und ihr Querschnitt weicht von der üblichen kreisrunden Form ab (vgl. Schliffbild in Abb. 3 links). [2] Die simulative Betrachtung von Vielmodenwellenleitern nutzt im Allgemeinen Modelle der geometrischen Optik. Gute Näherungslösungen für die wegabhängige Zusatzdämpfung sowie von Reflexionsverlusten an der Kern-Mantel-Grenzfläche sind mittels der strahlenoptischen Simulation möglich. Abb. 3 (rechts) zeigt deren graphische Resultate an Hand der inkohärenten und radialen Intensität in der Austrittsebene. Es ist die Intensitätsverteilung der optischen Leistung in einen modellierten Wellenleiter für die Ausbreitung dreier Modegruppen (5°, 15°, 25°) zu sehen. [3]

Durch das aus dem Zeitungsdruck bekannte Hochdruckverfahren werden großflächige und auch dreidimensionale optische Systeme auf flexiblen Substraten erzeugt. Die drucktechnische Herstellung optischer Wellenleiter nutzt dazu Polymere als Kernmaterial. Dabei führen die prozessspezifischen Gegebenheiten zu einem Leiterquerschnitt, der einer Wannenform entspricht (vgl. Schliffbild in Abb. 3 links). Um die optische Signalleitung zu prüfen, wird die Lichtausbreitung mittels geometrischer Optik mit dem optischen Simulationstool ZEMAX analysiert. Eine der Erkenntnisse

ist, dass die Verteilung der optischen Leistung mit den Modegruppen variiert.

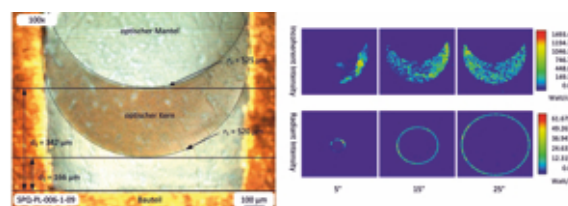


Abb. 3 Schliffbild und Simulation dispensierter polymerer Lichtwellenleiter

5 Optische Charakterisierung

Im Gegensatz zu ihren Glasfaserpendants mit Punktsymmetrie und Qualität nahe der intrinsischen Werkstoffdämpfung weisen hoch multimodale integrierte Lichtwellenleiter meist Sonderquerschnitte auf. Auch ihre Dämpfung ist in hohem Maße extrinsisch von Herstellverfahren abhängig. Vor diesem Hintergrund stellen sie nach wie vor eine Herausforderung für die Simulation dar. Insbesondere für die Implementierung in rechnergestützte Entwurfswerkzeuge wird keine vollständige Simulation sondern die Anwendung von konzentrierten Elementen oder Entwurfsregeln sinnvoll, die beispielsweise auch empirisch ermittelt wird. Auf diese Weise können reale Quellen und nicht einfach parametrisierbare technologischer Randbedingungen berücksichtigt werden. Mit Hilfe der optischen Charakterisierung wird auch die Verifikation und Modellanpassung durchgeführt.

Die Charakterisierung optischer Verbindungen basiert im Wesentlichen auf drei Säulen – Analyse der Wellenleiter, der Quellen/Senken und der Kopplung. Die Wellenleitercharakterisierung liefert maßgeblich die Dämpfung aus dem Einfüge- oder Rückschneidverfahren zur Technologiebewertung und Parameteroptimierung oder aber empirische Design Rules (z. B. min. Kurvenradius). An der Koppelstelle wird für die Kompatibilität zur Oberflächenmontage eine Passivjustage bevorzugt und entsprechende Justagetoleranzanalysen durchgeführt. Für die Simulation werden Quellmodelle benötigt, die aus experimentellen Messdaten (Fern- und Nahfeld) gewonnen werden.

Literatur

- [1] J. Franke, C. Goth, C. Fischer, M. Pfeffer, „Effiziente rechnergestützte Produktentwicklung für räumliche elektronische Baugruppen (3D-MID)“ in: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* **104** (2009) 11
- [2] O. Ziemann, J. Krauser, P.E. Zamzow, W. Daum: *POF Handbook - Optical Short Range Transmission Systems* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008)
- [3] M. Dumke, L. Overmeyer: *Simulation polymerer Wellenleiter* (4th Workshop Optical Technologies, Hannover 2010)