

Neue Baugruppenteknologie auf Basis von Dünnglaslaminaten

Scheel, W.; Schröder, H.

Zusammenfassung

Der Bedarf an Bandbreite zur störungsfreien Übertragung großer Datenmengen innerhalb von Rechner- und Telekommunikationssystemen steigt weiterhin an. Für die damit verbundene Forderung nach hochbitratigen Kurzstreckenverbindungen stellen optische Übertragungsstrecken eine sinnvolle Alternative zu hochfrequenten elektrischen Verbindungen dar. Beispielhaft werden Ergebnisse zur Herstellung von Leiterplatten mit innenliegenden optischen Wellenleitern auf Polymerbasis und in Dünnglasfolien vorgestellt. Als weiterer Schwerpunkt wird ein Konzept für den Übergang zu vollständig auf Basis von Dünnglas hergestellten Baugruppenträgern diskutiert.

Index Terms — EOCB, PCB, optical interconnect, thin glass foil

EINLEITUNG

Neue Aufbautechniken für elektronische, optoelektronische und optisch multifunktionale Packages und Substrate sind ein Schlüssel zu innovativen Produkten. In diesem Sinne wird die optische Funktionalisierung von Leiterplatten durch planar integrierte Polymer- und Glaswellenleiter entwickelt und wird im vorliegenden Beitrag mit Hinweis auf einige spezielle Verfahren vorgestellt. Ein funktionaler und wirtschaftlicher Vorteil kann sich ergeben, wenn bereits eingeführte Technologien mit neu verfügbaren Materialien und Komponenten in neuen Konzepten zusammengeführt werden. Dem weiter hinten vorgestellten Dünnglaskonzept liegt eine solche Idee zugrunde. Kern des Konzeptes ist die Realisierung von dreidimensionalen optischen und optisch-elektrischen Packages (BGA, CSP) für die Sensorik und optische Datenübertragung mit Hilfe von in der Displaytechnik genutztem Dünnglas auf der Level-1-Ebene, d.h. im Bereich der Chipverarbeitung oberhalb der Baugruppe. Eine solche Technologie könnte die Grundlage für Produkte deutlich verbesserter Performance und Zuverlässigkeit im Bereich der Opto-Packages sein (Opto System in Package). Allerdings sind selbst die Grundlagenuntersuchungen auf diesem Gebiet der Systemintegration noch im Anfangsstadium. Aus der Sicht der klassischen Baugruppenteknologie führt diese Integration von Technologien der Aufbau- und Verbindungstechnik zu einer Auflösung der Grenze zwischen Level-1- und Level-2-Ebene. In Bild 1 ist eine Roadmap angegeben, in der dieser Übergang

als 6. Generation der Baugruppenteknologie, als Multi-Funktionales-Board (MFB) gekennzeichnet ist. Das vorgeschlagene Konzept weist technologisch einen sehr aussichtsreichen Weg in diese Richtung.

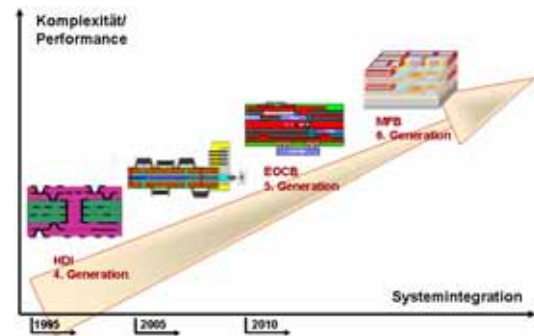


Bild 1: Entwicklung der Baugruppenteknologie über die High-Density-Interconnect (HDI) und Electrical-Optical-Circuit-board-Technologie hin zur 6. Generation, dem Multi-Funktionalen Board (MFB)

ELEKTRO-OPTISCHE LEITERPLATTEN

Die Möglichkeit optischer Signalübertragung für hohe Datenraten im Intrasystembereich unter Nutzung planarer und in die Leiterplatte integrierter Wellenleiter wird seit Jahren international voran getrieben. Insbesondere die Möglichkeit, durch parallel-optische Übertragung die Bandbreite der Systeme auch mit vorhandenen Bauelementen bereits stark zu erhöhen, treibt diese Entwicklung (siehe Bild 2).

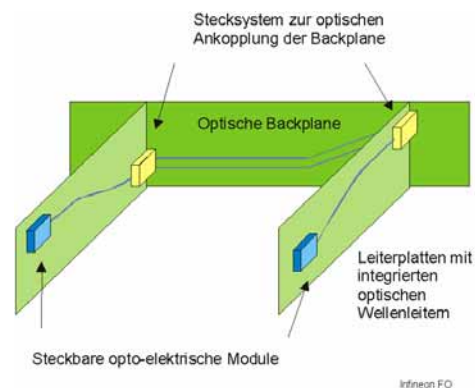


Bild 2: Systemkonfiguration Tochterkarte – Backplane – Tochterkarte mit integriert optischen Wellenleitern (Projekt NeGIT)

Die Anwendungen hierfür sind Server, Supercomputer und Telekom-Verteiler. In

Deutschland wird seit etwa 8 Jahren intensiv an der Integration planarer optischer Wellenleiter in Schaltungsträger gearbeitet. Ziel ist es dabei, die prognostizierte Grenze für die elektrische Signalübertragung von etwa 10 Gbit/s x m [1] durch den Übergang zu optischen Backplanes und hybrid elektro-optischen Schaltungsträgern (Electrical Optical Circuit Board) zu überwinden [2,3,4].

Markt

Für den Zeitpunkt der Einführung elektro-optischer Leiterplatten in den Markt sind Kosten-vorteile entscheidend, die sich aus dem Vergleich der Kosten für diese neuartige Technologie (Komponenten und Aufbau- und Verbindungstechnik) und den konservativen Möglichkeiten zur Steigerung der Übertragungsbandbreite auf dem Wege elektrischer Signalübertragung ergeben. Störsicherheit, Verlustleistung, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Platzbedarf sind dabei – neben der übertragbaren Bandbreite – entscheidende Faktoren. Der Übergang in den Markt wird entsprechend der iNEMI Technology Roadmap - Optoelectronic in den Jahren 2007...2009 erwartet [5].

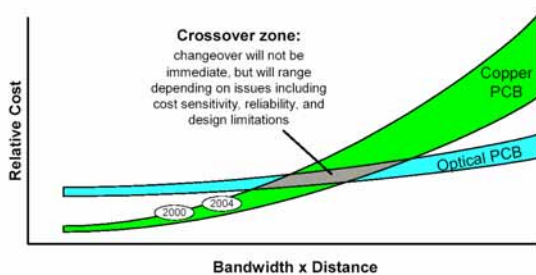


Bild 3: Der Übergang von der elektrischen zur optischen Datenübertragung auf Leiterplatten ist von den Kosten im Verhältnis zum geforderten Bandbreite-Länge-Produkt abhängig. Dieser Übergang wird 2007...2009 erwartet [5]

Aufbaukonzepte

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann zwischen mehreren Aufbautechnologien elektro-optischer Leiterplatten unterschieden werden [6]:

- Overlaytechnologie
- Inlaytechnologie

Die verschiedenen Lösungsansätze werden nachfolgend kurz charakterisiert.

Overlaytechnologie:

Bei der Overlaytechnologie werden die optischen Wellenleiter durch Heißprägen, Photolithographie oder UV-Direktschreiben in beziehungsweise auf einer Polymerfolie realisiert, die erst nach der Bestückung der elektronischen Baugruppe aufgebracht wird. Die Polymerwellenleiter sind dadurch nur der Betriebstemperatur der Baugruppe ausgesetzt. Als Materialien werden häufig Acrylate mit einer mittleren Dämpfung der Wellenleiter von 0.02...0,1 dB/cm bei Lichtwellenlänge 850 nm

eingesetzt. Die Art der Herstellung der Wellenleiter gestattet auch die Erzeugung passiver optischer Strukturen wie zum Beispiel Verzweigen. Allerdings bedingt die Overlay-Technologie einen zusätzlichen Prozessschritt nach der Bestückung, wodurch die Produktionskosten steigen. Des Weiteren sind die Wellenleiter der Umgebung ausgesetzt, wodurch es zu Zuverlässigkeitsproblemen kommen kann.

Inlay-Technologie:

Bei der Inlay-Technologie wird die die Wellenleiter enthaltende Lage aus Kunststoff bzw. Glas vorzugsweise in die Mitte der Leiterplatte einlaminieren. Das bedeutet allerdings, dass die Wellenleitende Schicht der Temperaturbelastung des Laminierens und der Montage (Löten, Klebstoffhärtung usw.) standhalten muss. Bild 4 veranschaulicht das Inlaykonzept.

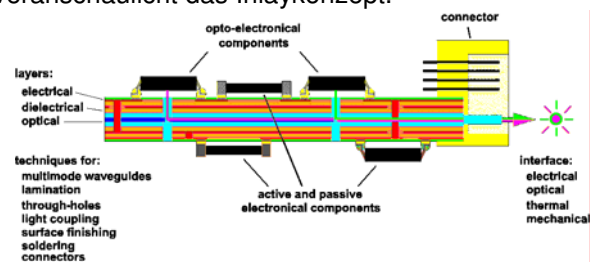


Bild 4: EOCB mit optischer Lage als Inlay.

Polymer-Wellenleiter

Die durch Photolithographie oder Heißprägen hergestellten und einlaminieren optischen Wellenleiterstrukturen können durch Stirnflächenkopplung mit den optoelektronischen Komponenten (Transmitter, Receiver) verbunden werden. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, dass Probleme durch hohe Koppeldämpfung, Übersprechen und das Montieren zusätzlicher Koppellemente reduziert werden können. Eine weitere Variante besteht in der Integration von Umlenkelementen, die eine Oberflächenmontage der elektro-optischen Module erlauben.

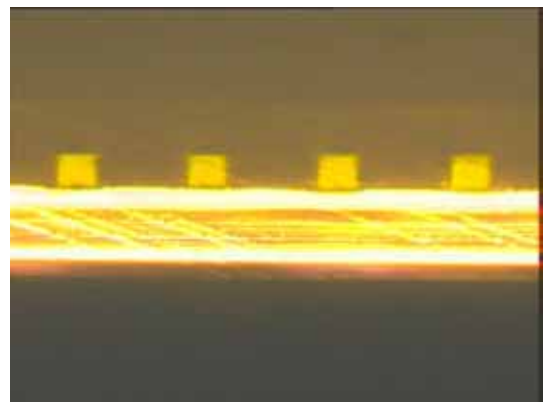


Bild 5: Optische Lage mit 4 Multimode-Wellenleitern in einem FR4-Multilayer-Aufbau (Mikroskopaufnahme im Durchlicht).

Glas-Wellenleiter

Eine weitere Variante des Inlaykonzeptes zur Herstellung eines hybriden elektrisch-optischen Baugruppenträgers beruht auf der Integration von Glaslagen in Form von planaren Folien.

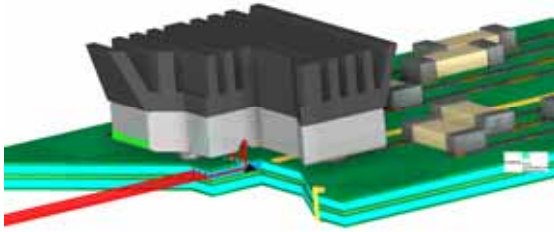


Bild 6: Dünnglas-Konzept für elektro-optischen Leitplatten mit planar integrierten Wellenleitern (Projekt Futureboard)

Materialbedingt ist beim Einsatz von Polymeren die optische Dämpfung um mehrere Größenordnungen höher als bei Glas, so dass vor allem für zu realisierende optische Verbindungen im Backplanebereich das Leistungsbudget häufig noch nicht ausreicht. Unabhängig von Weiterentwicklungen auf dem Gebiet polymeroptischer Verbindungstechnik verspricht die Verwendung von Dünnglas als Material für die Wellenleiter eine Erhöhung der Dimensionsstabilität der Baugruppenträger selbst, wodurch die Montage von Nacktchips direkt auf die Leiterplatte ermöglicht werden kann. Dies ist ein weiterer, wesentlicher Vorteil des vorgestellten Konzeptes, welches sich gegenwärtig in der Entwicklungsphase befindet. Diesem Versprechen steht ein hohes Risiko gegenüber, da bisher keine Erfahrungen mit dem Einsatz von Glasfolien und den notwendigen Strukturierungstechnologien für Multimode-Wellenleiter und ihrer Integration in Baugruppenträger vorliegen.

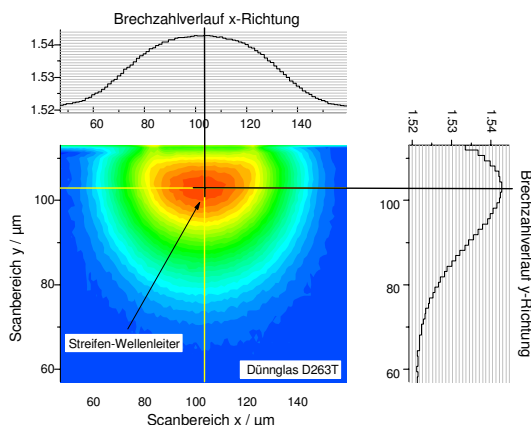


Bild 7: Zweidimensionales Profil über einen MM-Gradientenindex-Wellenleiter in Dünnglas, hergestellt durch Silber-Ionenaustausch

Die bisher erzielten Ergebnisse sind sehr vielversprechend. Bild 7 zeigt das RNF-gemessene Brechzahlprofil eines durch Silberionenaustausch hergestellten MM-Wellenleiters in Dünnglas.

„GLASSPACK“-KONZEPT

Ziel dieses, aus dem Konzept der Integration von optisch funktionalisiertem Dünnglas in Baugruppenträger entwickelten, Konzeptes ist die Entwicklung kompletter dreidimensionaler optischer und optisch-elektrischer Packages mit Baugruppenkompatibilität für die Sensorik und optische Datenübertragung auf Basis von in der Displaytechnik genutztem Dünnglas. Mit Hilfe von Technologien aus der Mikrosystemtechnik, der optischen sowie elektronischen Aufbau- und Verbindungstechnik sowie der integrierten Optik können verfügbare Dünnglasfolien vorgefertigt (strukturiert und funktionalisiert) werden und in einem polymerfreien Verbindungsprozess zu 3D-Modulen und Mikrosystemen aufgebaut werden. Bei dem vorgeschlagenen Konzept handelt es sich um einen grundlegend neuartigen Ansatz, der auf polymerhaltige Basismaterialien konsequent verzichtet und nicht auf eine Weiterentwicklung der Leiterplatte als solcher zielt – Ziel sind stattdessen multifunktionale elektro-optische oder optische Baugruppen aus gestapeltem Glas, die gegebenenfalls auf Leiterplatten montiert werden können, jedoch nicht müssen. In Bild 8 ist dies an einem Ausführungsbeispiel schematisch dargestellt. Charme und Herausforderung des sogenannten „glassPACK“-Konzeptes sind die Verbindung von etablierten Technologien und neu zur Verfügung stehenden Materialien mit neuartigen Aufbaukonzepten. Im Ergebnis sind neue Funktionalitäten und daraus resultierende Produkte in verschiedenen Anwendungsfeldern möglich, die sich durch höhere Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit auszeichnen.

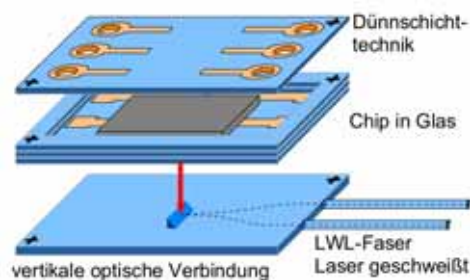


Bild 8: glassPACK-Konzept für Sensoren und High-Speed-Module

Die Realisierung dieses Konzeptes bringt erhebliche technologische und wirtschaftliche Vorteile und durch die Verwendung des ökologisch unbedenklichen Glases geringere Umweltbelastungen bei Entsorgung oder Recycling. Die Vorteile im Einzelnen sind:

- Durch die Verwendung von Dünnglas liegen optisch transparente Trägermaterialien vor, die sowohl „optische Fenster“ als auch integrierte optische Wellenleiter ermöglichen
- Die thermischen und thermomechanischen Eigenschaften derartiger Packages sind

materialbedingt deutlich besser als solche, die Polymere enthalten (Glasübergangstemperatur $\approx 560\text{ }^{\circ}\text{C}$, geringer CTE $\approx 7\text{ ppm}$, gute Steifigkeit)

- Die Hochfrequenzeigenschaften sind durch einen geringen dielektrischen Verlustfaktor $\tan \delta \approx 6 \cdot 10^{-3}$ und einer Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r \approx 7$ sehr gut
- Einzelne Glaslagen sind mikromechanisch vorstrukturierbar, so dass Rahmen und Funktionsstrukturen wie Biegebalken und Spiegelflächen erzeugbar sind (MOEMS Module, Opto System in Package)
- Das polymerfreie Fügen der Lagen führt zu optisch transparenten und sehr zuverlässigen Modulen mit hoher Medienresistenz
- Umweltschädliche Flammenschutzmittel wie in der Verkapselungstechnologie auf Polymerbasis kommen nicht vor

ZUSAMMENFASSUNG

Funktionalität, Komplexität und Gebrauchsfähigkeit elektronischer Geräte und Systeme werden hauptsächlich durch den technologischen Fortschritt bei der Integration elektronischer Schaltkreisstrukturen auf dem Chipniveau bestimmt. Daraus ist auch ableitbar, dass grundsätzlich neue bzw. modifizierte bisherige Lösungswege für die elektronische Baugruppenfertigung zu gehen sind.

Abgeleitet aus den Erfordernissen der Übertragung künftiger Datenraten wird für zukünftige Baugruppen für die Kommunikationstechnologie und die Sensorik neben dem EOCB-Baugruppenträger ein elektro-optischer Verdrahtungsträger auf der Basis von Dünnglas vorgeschlagen.

LITERATUR

- [1] Berger, Chr.; Beyerle, R.; Bona, G.-L.; Dangel, R.; Dellmann, L.; Dill, P.; Horst, F.; Kossel, A.; Menolfi, Chr.; Morf, T.; Offrein, B.; Schmatz, M.L.; Toifl, T.; Weiss, J., Optical links for printed circuit boards; 16th Annual Meeting of IEEE/LEOS 2003-11-24; 26.-30. October 2003, Tucson, Arizona, USA
- [2] Krabe, D.; Ebling, F.; Arndt-Staufenbiel, N.; Lang, G.; Scheel, W.; Proc. 50th ECTC, May 21-24, 2000, Las Vegas, CA, USA
- [3] Scheel, W., Baugruppentechnologie der Elektronik. Verlag Technik Berlin, Eugen G. Leutze Verlag Saulgau, 1999.
- [4] H. Schröder, J. Bauer, F. Ebling, W. Scheel, M. Franke, J. Kostelnik, H. Park, R. Mödinger, K. Pfeiffer, E. Gries, A. Demir, M. Reuber, „Elektro-Optische Leiterplatten: Wellenleitertechnologie und optische Schnittstellen“, GMM/DVS-Tagung Elektronische Baugruppen. Aufbau- und Fertigungstechnik, 4. / 5. Februar 2004, Fellbach, Deutschland
- [5] iNEMI Technology Roadmap Dec 2004, Component/Subsystem Technologies, Optoelectronics – Level 2, , S. 4

“glassPack” – Funktionalisierungs-, Strukturierungs- und Fügetechnologien für Dünnglasfolien

Arndt-Staufenbiel, N.; Brusberg, L.; Schröder, H.

Abstract — Baugruppen aus Glas sollen zukünftige Bandbreitenanforderungen auf Board- und Modulebene nachkommen sowie integrierte Sensorikaufgaben zuverlässig übernehmen. Dabei sind geeignete Technologien für die Funktionalisierung, Strukturierung und das Fügen von Glas notwendig. Bereits etablierte Verfahren aus der Mikrosystemtechnik sowie grundsätzliche neue Ansätze sind dabei zu untersuchen. Ein Technologie-Baukasten wird vorgestellt, welcher alle Grundlagen der Herstellung von Wellenleitern sowie Aufbau- und Verbindungstechniken für neuartige Baugruppen auf Basis von Dünngläsern beinhaltet.

Index Terms — D263T, Diffusionsbonden, glassPack, Ionen-Austausch, Laserfusion, Wasserglas

1. EINLEITUNG

In den letzten Jahren sind zunehmend Ansätze für eine Integration von optischen Funktionen in bewerkte Leiterplattensysteme auf FR4-Basis zu beobachten [1,2]. Diese elektrisch-optischen Leiterplatten (electrical optical circuit board - EOCB) sollen den zunehmenden Bandbreitenbedarf in Baugruppen zukünftig lösen. Dabei werden geprägte Wellenleiter in Polymerlagen oder optisch funktionalisierte Dünngläser in FR4-Substrate einlaminiert [3]. Dieser Ansatz setzt auf bewährte Laminationsverfahren und ist von der Leiterplattenindustrie mit bestehender Ausrüstung prinzipiell umsetzbar. Daher ist eine Markteinführung bald zu erwarten. Darüber hinaus könnten in Zukunft Baugruppen ganz auf Basis von Dünnglas mit komplex integrierten optischen und elektrischen Schaltungen möglich sein. Das “glassPack“-Konzept ist ein Weg dahin und kann sowohl hohe Datenraten auf Boardebene als auch die Integration von neuartigen sensorischen Anwendungen in das Modul ermöglichen. Dafür sind bewährte und neue Technologien zu kombinieren. In der vorliegenden Arbeit werden grundlegende Forschungsarbeiten zur Entwicklung solcher angepasster Technologien für dieses „neue“ Material beschrieben.

2. “GLASSPACK“-KONZEPT

2.1 Definition

Das “glassPack“-Konzept basiert auf der Strukturierung und elektrischen sowie optischen Funktionalisierung von Dünnglasfolien, welche durch Fügetechnologien zu einer hoch funktionellen Einheit aus verschiedenen Schichten mit integrierten Bauelementen laminiert werden. Damit kann eine elektrische, optische und/oder fluidische Systemintegration erfolgen. Eine Anbindung zur optischen Außenwelt wird über ein direktes Fügen von optischen Glasfasern an integrierte Wellenleiter im Dünnglas umgesetzt. In Bild 1 ist ein schematischer Aufbau eines solchen Packages veranschaulicht.

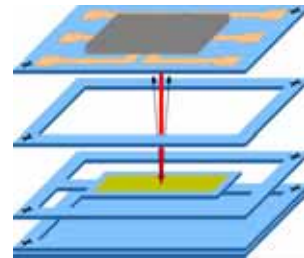


Bild 1: Darstellung einer möglichen Umsetzung des „glassPack“-Konzeptes, welches aus einer Lamination von strukturierten Dünngläsern besteht, die über Justierkreuze zueinander positioniert sind. Der oberste Layer besteht aus einer elektrisch funktionalisierten Dünnglasfolie bestückt mit einem Laser, welcher Licht vertikal emittiert.

2.2 Dünnglasfolien

Bekannt aus der Displaytechnologie werden Schott D263T [4] Dünnglasfolien verwendet. D263T ist ein Borosilikatglas, welches ab einer Stärke von 30 µm lieferbar ist. Die optischen Eigenschaften (Brechzahl, Dämpfung, Transmission) sind ähnlich denen von LWL-Glasfasern, wie sie in der Telekommunikation bei Wellenlängen um 1310 nm und 1550 nm verwendet werden. Weiterhin besitzt es annähernd denselben thermischen Ausdehnungskoeffizienten ($CTE \approx 7 \text{ ppm}$) wie Silizium. Bei thermischen Wechselbeanspruchungen haben Realisierungen von Chip-on-Glass kaum auftretende mechanische

Spannungen zur Folge. Die Glasübergangstemperatur von D263T liegt bei 557°C womit es im Vergleich zu Packages auf Polymerbasis ein breiteres Anwendungsfeld erschließt. Aufgrund seines dielektrischen Verlustfaktors von $\tan \delta \approx 6 \cdot 10^{-3}$ und einer Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r \approx 7$ ist es genauso wie Al_2O_3 -Keramiksubstrate ($\epsilon_r \approx 6$) [5] bestens für Hochfrequenzanwendungen geeignet. Die chemische Stabilität und Neutralität von D263T macht es für Sensorikaufgaben mit integrierten fluidischen Kanälen, wie es bei Lab-on-Chip-Anwendungen der Fall ist, interessant.

2.3 Technologie-Baukasten

Die Realisierung des "glassPack"-Konzeptes verlangt die grundlegenden Untersuchungen auf den Gebieten der Funktionalisierung, Strukturierung und Lamination von Dünngläsern, sowie das Fügen zu optischen Fasern. Ziel ist es, geeignete Technologien und Aufbau- und Verbindungstechniken zu beherrschen, welche anwendungsorientiert zu einer angepassten Realisierung führen. Zukünftige Anwendungen sollen im Bereich der Sensorik und optischen Datenübertragung liegen. Im Folgenden werden Technologien zur Realisierung des Baukastens grundlegend erläutert und aktuelle Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

3. ELEKTRISCHE FUNKTIONALISIERUNG

Elektrische Schaltkreise auf optisch funktionalisierten Dünngläsern geben die Möglichkeit optische und elektrische Anwendungen in einem Modul oder Board zu vereinen. Dabei müssen dünne Metallschichten durch Aufdampfen, Plasmaabscheidung oder Sputtern aufgebracht und anschließend strukturiert werden. Prinzipiell haften leicht oxidierende Metalle besser auf Glas als Edelmetalle [5]. Daher ist Aluminium als Haftvermittler bestens geeignet und kann über einer Diffusionsbarriere aus Nickel mit Gold oder Silber galvanisch verstärkt werden. Auf den Kontaktflächen können die SMDs bestückt und mittels Drahtbonden oder Lötten kontaktiert werden. Dieses Beispiel ist je nach Anwendung durch andere Metallisierungs- und Bestückungstechnologien der Halbleiter- oder Leiterplattenindustrie ersetzbar.

4. OPTISCHE FUNKTIONALISIERUNG

Um Dünngläser optisch zu funktionalisieren, wird im "glassPack"-Konzept der Ionenaustausch zwischen dem Dünnglas und einer Salzschnmelze zur Herstellung von optischen Wellenleitern favorisiert. Dabei werden kleinere Alkaliionen aus dem Glas gegen größere Alkaliionen aus der Salzschnmelze getauscht, wodurch eine

Brechzahlserhöhung im Glas erzeugt wird [6]. Prozessbeeinflussende Faktoren sind die Temperatur und Dauer des Prozesses sowie die Konzentration der Dotanten im Glas und in der Schmelze. Weiterhin kann ein Erhöhen der Ionen-Beweglichkeit durch ein angelegtes elektrisches Feld oder einen thermischen Gradienten erfolgen. Erfolgreiche Untersuchungen wurden mit dem Austausch von Silberionen aus einer Salzschnmelze von 350°C gegen Natriumionen aus dem Dünnglas erzielt. Strukturierte Diffusionsmasken aus Aluminium mit Öffnungen von 30 µm definieren beidseitig die resultierenden Wellenleiterdimensionen von ca. 53 µm x 110 µm, welche in Bild 2 dargestellt sind.



Bild 2: Beidseitig optisch funktionalisiertes Dünnglas mit Wellenleiterdimensionen von ca. 53 µm x 110 µm hergestellt durch Silberionen-Austausch mit einer Salzschnmelze.

Die Verteilung des Brechungsindex im Dünnglas wird mittels Strahlungsfeldverfahren (refractive near field - RNF) ermittelt. Die gemessene Numerische Apertur (NA) der Wellenleiter beträgt 0,266, wodurch eine Ankopplung an Standardgradientenindex-Lichtwellenleiter ermöglicht wird. Die bei einer Wellenlänge von 850 nm gemessene Wellenleiterdämpfung beträgt bei einer solchen Ankopplung 0,15 dB/cm. In Bild 3 ist die gemessene Brechzahlverteilung im Dünnglas für einen Ausschnitt (Querschnitt) mit vier Wellenleitern gezeigt. Ziel zukünftiger Arbeit wird es sein, die erzeugten Wellenleiter weg von der Oberfläche und tiefer ins Dünnglas hinein diffundieren zu lassen. Des Weiteren wird angestrebt, die Prozesstechnik so weit zu beherrschen, dass die anwendungsspezifisch geforderten Brechzahlprofile hergestellt werden können.

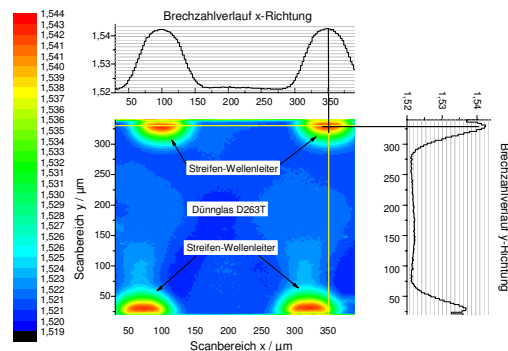


Bild 3: Brechzahlverlauf von zwei Wellenleitern auf der Oberseite bzw. der Unterseite der Dünnglasfolie hergestellt durch einen Ionen-Austausch in einer Salzschnmelze (Querschnitt). Die Brechzahl im Kern der Faser beträgt 1,544 und nimmt in Richtung Dünnglas hin ab.

5. STRUKTURIERUNG VON DÜNNGLÄSERN

Die Strukturierung umfasst die geometrische Veränderung von Dünngläsern beim Zuschneiden von Distanzrahmen für 3D-Aufbauten, das Herstellen von Vias sowie das Vereinzeln von Baugruppen. Die verwendeten Technologien basieren auf optischen sowie mechanischen Trenn- und Bohrverfahren.

Bekannt aus der Halbleitertechnik können Draht- oder Scheibensägen zum Vereinzeln von Baugruppen benutzt werden. Die Sägeblätter sind mit Diamantstaub belegt und durchschleifen das Dünnglas langsam. Eine weitere Technologie für das Vereinzeln von Baugruppen aber auch für das Strukturieren von Rahmen ist das Ritzen mit einem Diamantgriffel welches zu einer V-Struktur im Glas und einem verlaufenden Tiefenriß führt. Nach dem Anritzen wird das Dünnglas gekrümmt und die einwirkenden mechanischen Spannungen brechen das Glas an den selektierten Stellen [7]. Neben den rein mechanischen Verfahren gibt es die Möglichkeit Dünnglas auch optisch durch einen CO₂-Laser zu strukturieren. Dabei muss das Glas die Energie des Lasers aufnehmen und in Wärme umsetzen. Durchgeführte Versuche zeigten, dass mittels eines CO₂-Lasers die Strukturierung von Gräben möglich ist. Bislang konnte das Glas aber nicht vollkommen durchtrennt werden, da thermisch induzierte mechanische Spannungen bei der Bearbeitung noch nicht beseitigt werden konnten. In Bild 4 ist ein strukturierter Graben zu sehen.

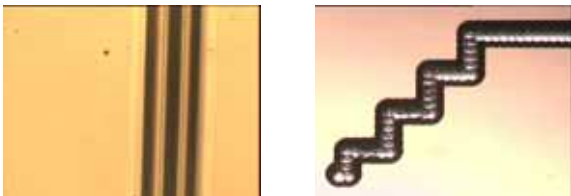


Bild 4: Lichtmikroskopische Aufnahmen eines laserstrukturierten Grabens (links) und eine Struktur, die mittels CNC-Fräse in die Glasoberfläche eingearbeitet wurde (rechts). In beiden Fällen wurde D263T-Dünnglas als Substrat verwendet.

Zur Erzeugung von Kavitäten im Dünnglas kann das Fräsen mittels CNC-Fräse verwendet werden. Dabei wird mittels Hartmetallbohrer die Oberfläche des Glases bearbeitet, so dass wie in Bild 4 dargestellt, Strukturen im Glas herstellbar sind.

Entscheidend für die elektrische und thermische Durchkontaktierung im Multi-Layer-Aufbau ist die Herstellung von Vias. Neben dem mechanischen Bohren werden im Technologie-Baukasten Vias mittels Laser erzeugt. Dabei wird die Laserenergie auf einen Punkt fokussiert und das Glas erfolgreich durchgeschmolzen.

6. POLYMERFREIE LAMINATION

Die Lamination von Dünngläsern ermöglicht die 3D-Realisierung von optisch-elektrischen Packages mittels Lamination von Dünngläsern. Im

Technologie-Baukasten wird dabei auf direkte Lamination von Dünngläsern und Lamination mit einer strukturierbaren Zwischenschicht unterschieden.

Zur direkten Lamination von Dünngläsern werden zwei Technologien entwickelt. Zum einen das Fügen mittels Wasserglas als verbindendes Medium, da es über hervorragende Eigenschaften für einen stoffschlüssigen Verbund zwischen Gläsern verfügt. Voraussetzung ist ein hydrophiler Zustand der Glasoberflächen, da diese mit ausreichend OH-Gruppen bedeckt sein muss, um die Alkalisilikate im Wasserglas ausreichend mit der Oberfläche reagieren zu lassen. Nachdem sich ausreichend Wasserglas zwischen beiden Dünngläsern befindet, die Gläser zueinander justiert und verpresst sind, wird das Wasserglas mit Temperaturen oberhalb von 120°C thermisch behandelt. Dabei bildet sich ein amorphes SiO₂-Netzwerk, wie in Bild 5 dargestellt, Verbindungen zwischen beiden D263T-Dünngläsern. Das jetzt überflüssige, mit dem Wasserglas kommende Wasser, in Bild 5 blau dargestellt, gelangt über die Stirnflächen nach außen bzw. wird chemisch gebunden oder diffundiert ins Innere des Glases [8]. Versuche bei 150°C mit Proben der Größe 3 cm x 3 cm zeigen sehr gute Bindungsqualität, kaum Blasen und ein transparentes Interface. Bei Versuchen mit größeren Proben treten jedoch Blasen zwischen den Dünngläsern auf, da nicht das gesamte Wasser aus dem Interface über die Stirnflächen weg diffundieren kann und die Wasseraufnahme des Glases selbst beschränkt ist. In weiteren Untersuchungen soll das Wasserglas als Dünnschicht aufgetragen werden um den Wasseranteil im Interface zu verringern.

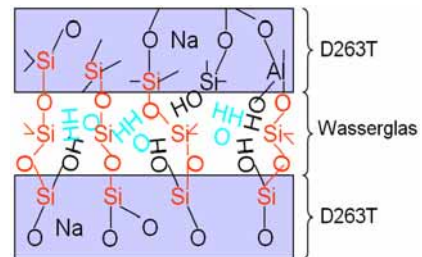


Bild 5: Schematische Darstellung der atomaren Struktur während einer thermischen Behandlung von Wasserglas zwischen zwei Dünngläsern vom Typ D263T. Rot sind die Siloxan-Gruppen dargestellt, welche für den Halt zwischen den Gläsern sorgen. Blau sind die Wassermoleküle hervorgehoben, welche nach Prozessende vollständig aus der Zwischenschicht diffundiert sind.

Eine weitere Technologie für einen direkten und transparenten Verbund zwischen zwei Dünngläsern ist das Diffusionsbonds. Voraussetzung sind hydrophile Glasoberflächen mit einer sehr geringen Oberflächenrauigkeit von kleiner 20 nm. Diese Anforderung kann durch eine Politur erzielt werden. Nach Justage werden die planaren Gläser für