



Henrik Banse

Einführung

Beim Aufbau hybrider mikrooptischer Systeme wird bisher hauptsächlich das Justierkleben als Fügeverfahren eingesetzt. Auf Grund der Eigenschaften der als Klebstoffe verwendeten organischen Polymere werden mikrooptische Systeme in ihrer Anwendung beschränkt. Eine Ergänzung dieser Füge-technik im Hinblick auf Anforderungen bezüglich Feuchtstabilität, Laserstabilität, UV-Beständigkeit, Temperaturwechselbelastung und Langzeitstabilität, insbesondere in Bereichen wie Telekommunikation und Lithographie, ist erforderlich.

Vor diesem Hintergrund stellt das Laserstrahllöten von Optiken ein alternatives Fügeverfahren dar. Eigenschaften wie:

- lokal eng begrenzter und zeitlich definierter Energieeintrag
- temperaturgeregelte Prozessführung
- Möglichkeit der direkten und indirekten Erwärmung der Bauteile
- berührungslose Füge-technik

bilden sehr gute Voraussetzungen, um die genannten Forderungen an eine Verbindungstechnologie für empfindliche optische Bauelemente zu erfüllen. Bei der Montage optischer Komponenten ist in die Lötlasereinheit zusätzlich eine dem Demonstrator angepasste Justageeinrichtung zu integrieren, um die hohen Forderungen an die Lagegenauigkeit der Bauteile zueinander zu erfüllen. Auch sind entsprechende Prüftechnologien zur Charakterisierung der Baugruppe (z. B. Lagetoleranz, Verkipfung) aufzubauen.

Entwicklung des Schichtsystems

Grundvoraussetzung für das Laserstrahllöten optischer Komponenten ist die lokal begrenzte reproduzierbare Applikation lötfähiger Metallisierungen auf den zu fügenden Bauteilen. Die Lotaufbringung auf unterschiedliche optische Trägermaterialien wie Glas, Glaskeramik oder Kristalle erfordert die Herstellung extrem haftfester Metallisierungen. Diese dienen als Untermetallisierung, auf welche das eigentliche Lot aufgebracht wird. Die Lotapplikation kann in Form von dünnen Lot-schichten, von Lotbumps oder Lotpreforms erfolgen.

Stand der Technik ist das Aufbringen der Schichten mittels Vakuumbeschichtung bzw. elektrochemischen Verfahren (Galvanisieren) /1/. Der Einsatz von gesputterten Schichtsystemen ist besonders vorteilhaft, da in Vakuumfolge die Untermetallisierung und das Lot in einer gleichmäßigen reproduzierbaren Schichtdicke und Reinheit (Verunreinigungen, Oxidationen) aufgebracht werden können /2/.

Laser beam soldering of micro-optical components

Henrik Banse, Erik Beckert, Ramona Eberhardt, Wieland Stöckl

Introduction

Until now, adhesive bonding has mainly been used to assemble and adjust hybrid micro-optical systems. However, the properties of the organic polymers used for the adhesives limit the application of these systems. In fields such as telecommunications and lithography, improvements on current joining techniques are necessary to enhance certain properties such as humidity resistance, laser stability, UV stability, thermal cycle reliability and lifetime reliability. The laser beam soldering of optical components is thus a reasonable joining technology alternative.

The following properties correspond with the conditions required in the joining of sensitive optical components:

- energy input narrowly restricted in time and area
- energy input which can be controlled by the process temperature
- direct and indirect heating of the components
- non-contact joining of components

In addition to the laser beam soldering tool, positioning units are necessary in the assembly of optical components. These ensure the high-accuracy adjustment of component positions before joining begins. Furthermore, suitable measurement methods need to be developed for the soldering assemblies (e.g. position tolerance, angular misalignment).

Development of the coating system

The repeatable application of solderable metallization layers onto components within a confined area is a basic prerequisite in the laser beam soldering of optical components. The application of solder onto different optical carrier materials such as glass, glass ceramics and crystal requires exceptionally adhesive metallization layers. These are used as a plating base onto which the solder material itself is applied in the form of thin layers of solder, solder bumps or solder preforms.

Vacuum coating and electrochemical processes (galvanization) are now state of the art in the application of solderable layers /1/. The use of sputtered layers is especially favorable, making it possible to deposit both the underlying metallization and the solder layer with regular a thickness and a high level of purity (low contamination and oxidation), all in one vacuum process /2/.



Erik Beckert



Ramona Eberhardt



Wieland Stöckl

Als Beschichtungsverfahren wird das DC-Magnetronspütern eingesetzt. Das aus der Literatur bekannte Unterschichtsystem /3/, bestehend aus Ti/Pt /Au, dient sowohl als Haftvermittler als auch als Diffusionsbarriere für die Funktionsschicht (Lot).

Versuche zur Optimierung des Schichtsystems zeigten, dass mechanisch stabile Lötverbindungen auch ohne die Au-Benetzungsschicht hergestellt werden können. Diese Vereinfachung des Unterschichtsystems ermöglichte eine Kostenreduzierung des Beschichtungsprozesses. Gleichzeitig wird gesichert, dass durch den Fügeprozess die Zusammensetzung des Lotes und damit eine homogene Gefügestruktur nicht beeinflusst werden.

Als Schichtmaterial für die Funktionsschicht wird eutektisches AuSn (80/20 Gew.-%-Target) verwendet. Das Gesamtschichtsystem weist eine Dicke von ca. 3,5 µm auf. Das eutektische 80Au20Sn-Lot als hochschmelzendes Weichlot hat sehr gute Festigkeitseigenschaften, hohe Zuverlässigkeitseigenschaften und ermöglicht eine flussmittelfreie Prozessführung /4/. Die gesputterte Untermetallisierung mit Au-Benetzungsschicht kann auch für Lötprozesse mit extern zugeführten AuSn-Loten sowie mit aus der Halbleiterindustrie bekannten niedrigschmelzenderen Weichloten wie PbSn oder SnAg verwendet werden. Notwendige Bedingung ist, dass das Lot die Au-Schicht ausreichend benetzt und sich infolge der Interdiffusion in der Legierungszone eine möglichst dünne, feinkörnige intermetallische Phase ausbildet.

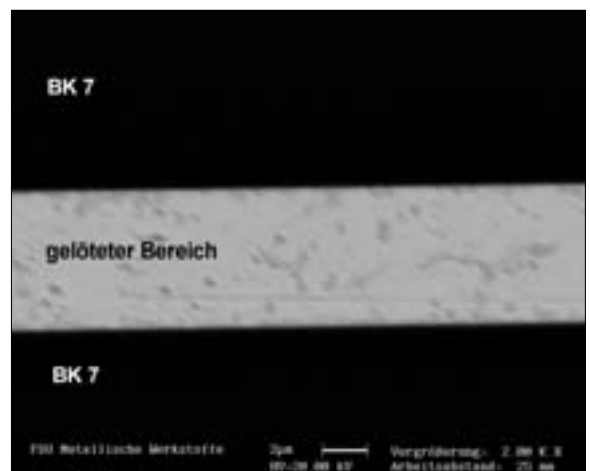
Entwicklung der Laserstrahllötechnologie

Die experimentellen Untersuchungen zum Laserstrahllöten wurden mit einem in einen Portalaufbau integrierten Hochleistungsdiodenlaser (808 nm) durchgeführt. Der Hochleistungsdiodenlaser ist insbesondere über das in den Bearbeitungskopf integrierte Einfarbenpyrometer auf spezifische Lötprozesse abstimmbare. Für spezielle optische Werkstoffpaarungen wurden die Verfahrensparameter des Lötprozesses, wie Laserleistung, Energiedichte, Relativbewegung Laserstrahl/Probe, Arbeitsatmosphäre und Andruckkraft, demonstratorbezogen variiert und optimiert. Die Lotapplikation erfolgte in Form von Lotschichten sowie durch Lotbumps.

Die mittels Rasterelektronenmikroskopie charakterisierten Schlitze der Lötverbindungen aufgesputterter Lotschichten zeigen in den gelöteten Bereichen eine sehr gleichmäßige Gefügestruktur. Das belegt ein für die Verbindungsbildung optimaler Temperatur-Zeitverlauf in der Fügezone. Dargestellt ist ein Schlitfbild einer gelöteten BK7/BK7-Glasprobe (Abb. 1). In den hellen Bereichen der Fügezone ist die Au-reiche Phase, in den dunkleren Bereichen die Sn-reichere Phase erkennbar. Das Aufbringen einer zusätzlichen Andruckkraft während des Lötprozesses verbesserte die Gefügebildung signifikant. Die parallele Ausrichtung der Bauteilfügeflächen musste über eine passive Fügehilfsvorrichtung realisiert werden, da Verkippungen zu nicht reproduzierbaren Lötgergebnissen verbunden mit verminderten Festigkeiten führten.

Abb. 1:
Homogene Gefügebildung in der Fügezone.

Fig. 1:
Metallographic cross section of the homogeneous structure of AuSn compounds in the soldered area.



DC-magnetron-sputtering is another sputtering technique. The widely known layer system published in /3/, consisting of Ti/ Pt/ Au layers, serves as an adhesion promoter (Ti-layer) to the substrate, as a diffusion barrier (Pt-layer) which prevents gold interdiffusion and a plating base (Au-layer).

Attempts to optimize the layer system have shown that stable solder joints can be created without an Au-plating base, with sputtered AuSn solder applied directly to the Pt-diffusion barrier. This simplification allows for a cost reduction in the sputtering process. This also ensures that the soldering process does not influence the composition of the solder alloy, which can be caused by the rapid interdiffusion of Au, and thus does not influence the homogeneous structure of AuSn compounds in the solder area.

Eutectic AuSn (80/20 wt. % -Target) is used for the soldering layer. The entire layer system is approximately $3.5\ \mu\text{m}$ thick. A high melting solder, eutectic 80Au20Sn, provides superior strength and reliability while allowing for fluxless processing /4/. The sputtered layer system with an Au-plating base can also be used in soldering processes with externally applied AuSn-solder or other low melting solders common in the semiconductor industry, e. g. PbSn and SnAg. This requires adequate solder wetting and, as a result of interdiffusion in the melting process, the formation of a thin, fine-grained intermetallic compound.

Development of laser beam soldering technology

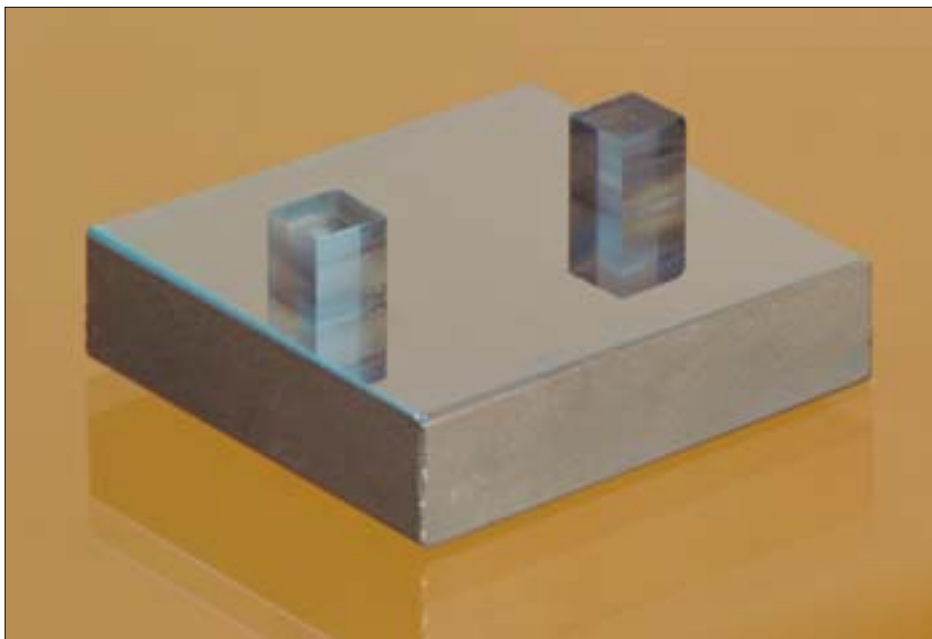
Experiments were carried out using a high power diode laser (808 nm) integrated into a portal-like positioning system, with the goal of developing laser beam soldering technology for optical components.

The energy output of the diode laser can be set for automatic control by the temperature of the joining area, as measured by a one-color pyrometer integrated into the soldering tool. For specific optical material combinations, the parameters of laser energy output, energy density, movement between laser beam and joining area, working atmosphere and joining force were varied and optimized. The solder application took the form of solder layers and solder bumps.

Metallographic cross sections of soldered glass components, viewed through scanning electron microscopy, show a very homogeneous structure of AuSn compounds in the soldered area (fig. 1). This demonstrates an optimal time/temperature ratio throughout the soldering process. Fig. 1 shows the metallographic cross sections of soldered BK7/BK7 optical components. The bright regions of the soldered area are Au-rich compounds such as Au_5Sn , the dark regions contain compounds richer in Sn (e. g. AuSn). The application of pressure during the soldering process improved the structure of the soldered AuSn compound significantly. The parallel adjustment of the joining areas of the optical components had to be realized with a passive adjustment tool. Tilting the joining areas led to non-reproducible solder joints with less strength.

Abb. 2:
Laserstrahlgelötete optische Sub-Baugruppe.

Fig. 2:
Laser beam soldered optical subsystem.



Anwendungen

Mittels der Füge­technologie Laserstrahl­löten wurden mechanisch stabile Verbindungen sowohl gleichartiger als auch unterschiedlicher Materialien aus Glas bzw. Glaskeramik für mikrooptische Subbaugruppen realisiert (Abb. 2–4). Die Lötverbindungen wurden durch ein AuSn-Lot in Form einer gesputterten Lotschicht oder durch extern zugeführte, strukturiert angeordnete PbSn Lotbumps auf einer gesputterten Untermetallisierung erzielt.

Es konnten hohe mechanische Festigkeiten (Abscherfestigkeit > 100 MPa) und Vakuumdichtheit (Leckrate 10^{-7} – 10^{-9} mbar l/s) von Lötverbindungen durch Lotschicht nachgewiesen werden. Die Wärmebeeinflussung der optischen Komponenten, hervorgerufen durch den Lötprozess, führt zu keinen messbaren Verspannungen im

Fall applizierter Lotbumps bzw. zu Formabweichungen der Ebene $< \lambda/20$ im Fall aufgesputterter Lotschichten. Bei der Festlegung der Lötparameter und der Lotform waren Bauteiltoleranzen und Justieranforderungen sowie die speziellen Eigenschaften der zu fügenden Materialpaarungen zu berücksichtigen.

Literatur:

- /1/ Kuhmann, J. et. al.: „Fluxless Flip-Chip for the Photonic Assembly: Comparison between Evaporated SnPb (60/40) and AuSn (80/20) Solder“, MICRO SYSTEM Technologies 96, VDI-Verlag GmbH, p. 91–99.
- /2/ Erfindungsmeldung: Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung hafter Lötverbindungen, 02F40599-IOF.
- /3/ Pittroff, W.: „Au/Sn-Bumping von Laserchips, Flip-Chip-Technik und Selbstjustagegenauigkeit, Workshop für Photonische Integration und Aufbauten“, Berlin 05/1999.
- /4/ Scheel, W.: „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik in der elektronischen Baugruppenfertigung“, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, Germany, 2002.

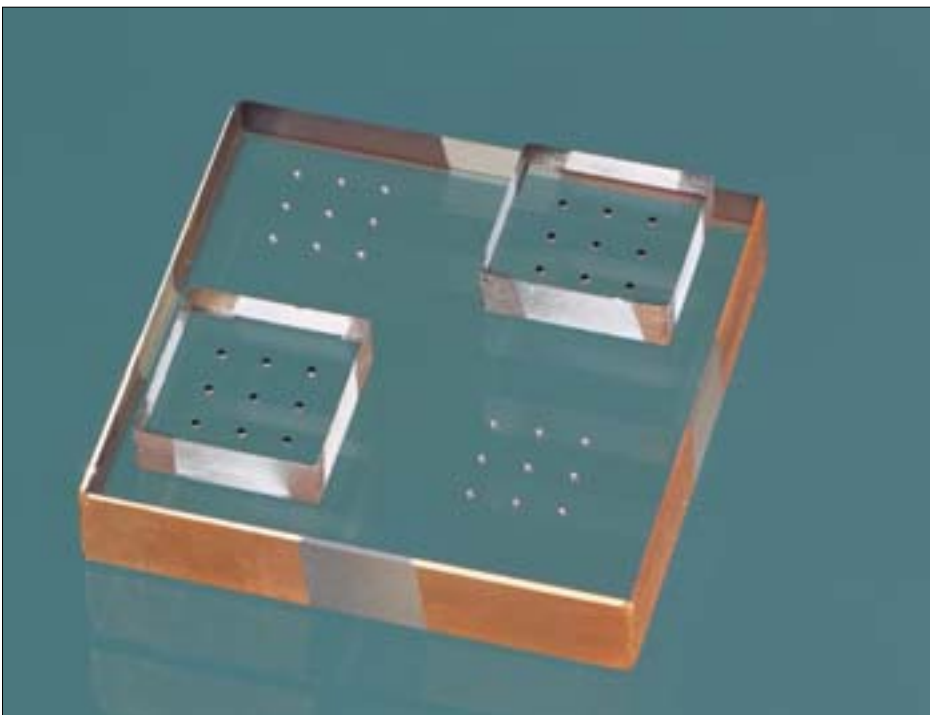


Abb. 3:
Punktu­elles Laserstrahl­löten von quader­förmigen Glas/Zerodur®-Bauteilen, PbSn Lot.

Fig. 3:
Selective soldering of glass/Zerodur® components, PbSn solder.

Applications

Using the joining technique laser beam soldering, stable joints were formed between similar and different glass and glass-ceramic materials used for optical subcomponents (fig. 2–4).

The solder joints were achieved with sputtered AuSn layers or externally applied PbSn solder bumps on a sputtered underlying metallization. A very high mechanical strength (shear strength > 100 MPa) and a soldered joint leakage rate of 10^{-7} – 10^{-9} mbar l/s were demonstrated. No thermally induced stress in the optical components

was detected in applied solder bumps. The soldering process led to a surface deviation for sputtered solder layers of $< \lambda/20$. Tolerances of optical components and adjustment demands must be taken into account in order to determine the parameters of the soldering process and the form of applied solder as well as the properties of the materials to be joined.

References:

- /1/ Kuhmann, J. et. al.: „Fluxless Flip-Chip for the Photonic Assembly: Comparison between Evaporated SnPb (60/40) and AuSn (80/20) Solder“, MICRO SYSTEM Technologies 96, VDI-Verlag GmbH, p. 91–99.
- /2/ Erfindungsmeldung: Ti-Pt-Au/Sn-Schichtsystem zur Realisierung hafter Lötverbindungen, 02F40599-IOF.
- /3/ Pittroff, W.: „Au/Sn-Bumping von Laserchips, Flip-Chip-Technik und Selbstjustagegenauigkeit, Workshop für Photonische Integration und Aufbauten“, Berlin 05/1999.
- /4/ Scheel, W.: „Optische Aufbau- und Verbindungstechnik in der elektronischen Baugruppenfertigung“, Verlag Dr. Markus A. Detert, Templin, Germany, 2002.

Abb. 4:
Flip Chip Laserstrahlgelötetes Optikbauteil.

Fig. 4:
Flip-chip laser beam soldered optical component.

