

Hybride Integration optischer Systeme auf miniaturisierten keramischen Substraten

Erik Beckert, Christoph Damm, Ramona Eberhardt, Peter Schreiber



Erik Beckert

Einführung

Neben ihren oft kleinen Abmessungen und hohen Genauigkeitsanforderungen zeichnen sich moderne optische Baugruppen zunehmend auch durch die zusätzlich notwendige Integration elektronischer und mechanischer Funktionalität aus. Aufgrund der oftmals nur geringen Stückzahlen ist dabei eine hybride Integration der einzelnen Komponenten oft die kostengünstigste Aufbauvariante. Um Nachteile wie eingeschränkte Miniaturisierbarkeit und kritische Langzeitstabilität klassischer Optikaufbauten zu umgehen, wurde ein Konzept entwickelt, bei dem optische und nichtoptische Komponenten, zum Beispiel elektronische Schaltkreise und MEMS-Aktuatoren, gemeinsam auf einem mit Fassungsstrukturen versehenen keramischen Multilayer-Substrat integriert werden.

Keramiksubstrate für hybrid-optische Systeme

Optische Komponenten werden zur Bestimmung ihrer geometrischen Lage in mechanischen Fassungen mittels Kleben, Lötens oder Klemmen fixiert.

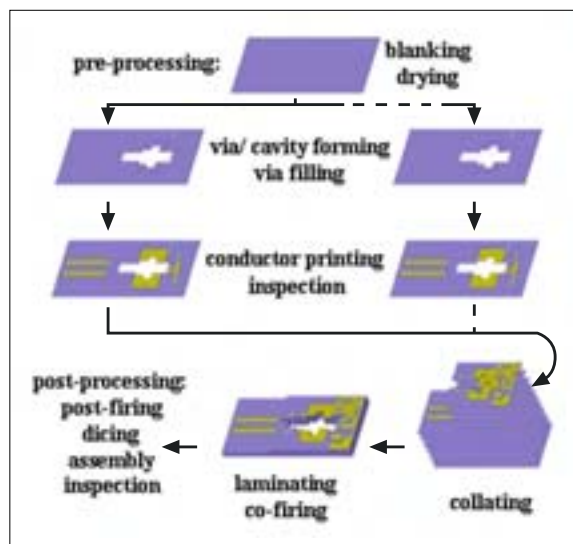
Neben den gewöhnlich verwendeten und meist mit Justiermöglichkeiten versehenen mittelbaren Fassungen werden zunehmend auch unmittelbare Fassungsstrukturen verwendet, die direkt in die Optikplattform integriert werden. Abhängig von der Genauigkeit dieser mechanischen Anschläge können die Komponenten passiv justiert werden, während eine aktive Justage über Fügehilfswerkstoffe wie Klebstoff oder Lot realisiert wird. Bekannt zur Herstellung solcher Fassungsstrukturen sind unter anderem Verfahren wie Silizium-Ätzen, LIGA und Mikrospritzguss.

Eine alternative Möglichkeit besteht darin, keramische Multilayer-Substrate zu nutzen /1/, wie sie zum Beispiel als Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) aus der Elektronikindustrie bekannt sind /2/, /3/. Bei diesen Glas-keramiken wurde die Strukturierung bisher vorwiegend eingesetzt, um Stromdurchführungen (Vias) zwischen einzelnen Lagen des Substrats zu realisieren. Dazu werden die einzelnen Keramikfolien im Grünzustand mechanisch bearbeitet, aufeinander laminiert und zu einem Substrat gesintert (Abb. 1).

Indem die Strukturierung der Grünfolien an die Anforderungen der Optikmontage angepasst wird, können innerhalb der Keramiksubstrate auch komplexe dreidimensionale Strukturen wie Stufen, horizontale und vertikale Referenzebenen sowie Auflagekanten erzeugt werden, die zur Aufnahme und Fassung optischer Komponenten dienen (Abb. 2). Die Genauigkeit dieser Strukturen wird durch die Prozesskette des Strukturierens, Laminiertens und Sinterns bestimmt und liegt in der Summe im Bereich von 10 bis 50 μm .

Abb. 1: Herstellung keramischer Multilayer-Substrate.

Fig. 1: Manufacturing process for ceramic multilayer substrates.



Hybrid Integration of optical Systems on miniaturized ceramic Substrates

Erik Beckert, Christoph Damm, Ramona Eberhardt, Peter Schreiber

Introduction

Modern optical systems not only have to be small and precise but must increasingly incorporate electronic and mechanical components. Due to the typically small to medium number of these systems required, hybrid integration is often the most efficient packaging solution. However classical optical assemblies are limited as regards miniaturization and long-term stability. To circumvent these disadvantages, a concept based on the integration of optical and non-optical components examples of which are electronic circuits and MEMS-actuators was developed using ceramic multilayer substrates with embedded mounting structures.

Ceramic Substrates for hybrid optical Systems

Optical components have to be geometrically constrained and are therefore assembled within mounts and fixed by adhesive bonding, soldering or clamping. In addition to the indirect and adjustable mounts that are normally used, direct mounting structures, embedded within the optical platform, have been developed in recent years. The accuracy of these mechanical stops dictates the degree to which the optical components can be passively aligned. An active alignment is possible with the help of the joining media, such as adhesive or solder. Known technologies for the manufacturing of such direct mounts are for instance silicon etching, LIGA and micro-injection-molding.

An alternative approach is to utilize ceramic multilayer substrates /1/ such as Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) as known from the electronics industry /2/, /3/. These are glass ceramics usually structured with vias to permit the flow of current between layers. To achieve this, the ceramic sheets are mechanically structured while in the green state before being laminated together and finally sintered to form a single substrate (fig. 1). The structuring of the green sheets can be adapted to fit the requirements of an optics assembly thus allowing for the creation of complex three-dimensional step-like structures, horizontal and vertical reference planes and supporting edges on which optical components can be mounted (fig. 2). The accuracy of these structures is determined by the structuring, laminating and sintering process and ranges from 10 to 50 μm .



Christoph Damm



Ramona Eberhardt



Peter Schreiber

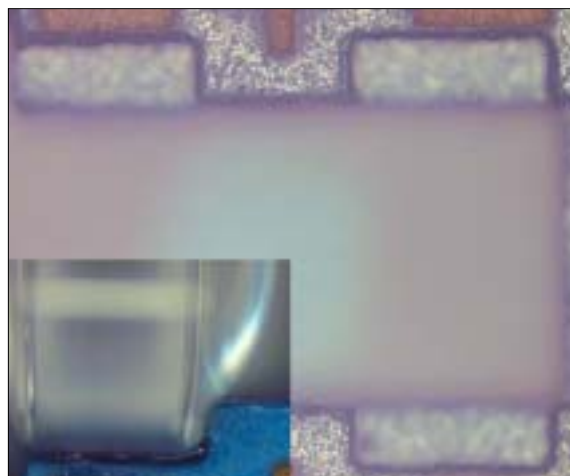


Abb. 2: Dreidimensionale Struktur im Keramiksubstrat zur Fassung einer Linse.

Fig. 2: Three-dimensional mounting structure for a lens within a ceramic substrate.

Durch das Bedrucken der Keramikfolien mit Dickschicht-Metallisierungen wie Palladium-Silber (PdAg) können darüber hinaus neben der hybriden Integration von Schaltkreisen zur Ansteuerung elektrooptischer Komponenten auch Fügeflächen zum Fixieren der optischen Komponenten durch Laserstrahllöten (Abb. 4) bereitgestellt werden.

Das dargestellte Aufbaukonzept nutzt Herstellungstechnologien, die insbesondere für kleine und mittlere Stückzahlen etabliert sind und eignet sich besonders gut für optische Baugruppen, bei denen die Integration von Optik und Elektronik in einem Aufbau angestrebt wird. Durch die Vermeidung mittelbarer Fassungen ist eine weitgehende Miniaturisierung möglich, während die Keramik als Grundmaterial und Löten als Fügeverfahren zu einer guten Langzeitstabilität solcher Baugruppen führen. Aufgrund des an Silizium und Glas gut angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (LTCC) können mikromechanische Aktoren (z. B. MEMS- Spiegel) und elektrooptische Subsysteme (z. B. Modulatoren) integriert werden. Die thermomechanischen Eigenschaften der Keramik sind im Hinblick auf die Temperaturkontrolle verlustleistungsbehäfteter Komponenten, wie z. B. Laserdioden, in weiten Grenzen einstellbar /4/.

Nachteilig beim vorgestellten Konzept wirkt sich die im Vergleich zu anderen Mikrostrukturierungsverfahren geringere Genauigkeit aus. Zukünftige Entwicklungen wie Nullschumpf-Keramiken und Technologien, wie das Prägen von Keramikfolien werden dem Rechnung tragen.

Anwendungsbeispiel – Strahlkollimation für Laserdioden

Abb. 3 zeigt links den schematischen Aufbau einer Baugruppe mit Laserdiode, Kollimationsoptik und Ansteuer-elektronik. Das divergente Bündel der Diode wird durch das optische System zu einem Strahl mit dem nominellen Durchmesser 0,4 mm und einer Elliptizität von 1 : 1,05 kollimiert, wobei zwei 45°-schräggestellte Zylinderlinsenarrays für Fast- und Slow-Axis-Kollimation der Diode eingesetzt werden. Im rechten Teil der Abbildung ist das Keramiksubstrat zu sehen, in das bereits die erste Kollimationslinse in ihre Fassungsstruktur eingesetzt ist. Ebenfalls zu sehen sind die bereits gefügten aktiven und passiven Elektronikbausteine zur späteren Ansteuerung der Laserdiode und die dafür notwendigen Kontaktflächen in zwei verschiedenen Ebenen des Substrats.

Kontrollmarken zum Referenzieren des Substrats während der Montage und Keramikabschnitte mit erhöhtem Metallanteil und somit verbesserter thermischer Leitfähigkeit zum Ableiten der Laserdioden-Verlustleistung vervollständigen das hybride System.

Zusammenfassung

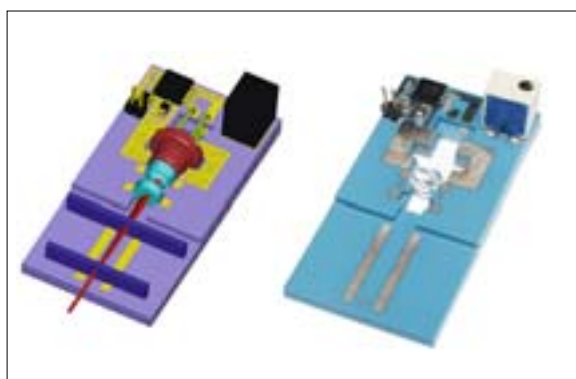
Ein Aufbaukonzept für miniaturisierte hybrid-optische Systeme wurde entwickelt, das auf keramischen Multi-layer-Substraten mit integrierten mechanischen Strukturen zum Fassen optischer Komponenten aufbaut. Es eignet sich insbesondere für Baugruppen, die optische, elektronische und mikromechanische Funktionalität auf einem Substrat vereinen. Zukünftige Arbeiten werden sich auf die Optimierung der mit dieser Technologie herstellbaren mechanischen Strukturen und die Nutzung alternativer Materialien (z. B. Aluminiumnitrid) mit verbesserter thermischer Leitfähigkeit für Anwendungen mit höherer Verlustleistung konzentrieren.

Literatur:

- /1/ Beckert, E. et al.: „Integration of Optics, Electronics and Mechatronics on miniaturized Platforms“, Proceedings MICRO.tec 2003, München, pp. 179–184.
- /2/ Bartnitzek, T.; Müller, E.: „Entwicklung von LTCC-Schaltungsträgern und Gehäusen“, 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 2002, Ilmenau, pp. 675–67.
- /3/ Gongora-Rubio, M. R. et al.: „Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for meso-system technology (MsSt)“, Sensors and Actuators A, Vol. 89 (2001), pp. 222–241.
- /4/ Thelemann, Th. et al.: „Using LTCC for microsystems“, Microelectronics International, Vol. 19, No. 3, 2002, pp. 19–23.

Abb. 3:
CAD-Modell und
teilweise montierte
Kollimationsoptik.

Fig. 3:
CAD-Model and partially
assembled collimating
optic.



By printing thick film metallizations, for example Palladium Silver (PdAg), onto the ceramic sheets, contact areas for laser beam soldering of optical components are provided (fig. 4) and the integration of circuits for the control of the electro-optical components is facilitated.

The packaging concept described utilizes manufacturing technologies that have been specifically established for small and medium quantities and is therefore suitable for optical assemblies which integrate optics and electronics on one substrate. By avoiding indirect mounts these assemblies can be scaled down and the ceramic substrate material, together with solder joining technology, leads to good long-term stability. In addition its thermal coefficient of expansion of $6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ is compatible with those of silicon and glass thus easily allowing the integration of micro-mechanical actuators (e. g. MEMS-mirrors) and electro-optical sub-systems (e. g. modulators). The thermo-mechanical properties of

the ceramics are tunable over a wide range with respect to the necessary temperature control for power-dissipating components such as laser diodes /4/.

One disadvantage of the concept shown is the limited structural accuracy compared to other micro-structuring technologies. In the future, technologies like zero-shrinking ceramics and high precision embossing of ceramic sheets will address these issues.

Application Example – Beam Collimating Optic for Laser Diodes

Fig. 3 shows the schematics of an optical assembly on the left hand side. The divergent beam of a laser diode is collimated to form a beam with a diameter of 0.4 mm and an ellipticity of 1 : 1.05. Two arrays of cylindrical lenses, rotated through 45° with respect to the horizontal plane, collimate the fast and the slow axis of the diode. On the right

hand side of the figure the ceramic substrate with the first collimating lens already mounted is shown. Also visible are the active and passive electronic components of the laser diode driver circuit and the contact pads on two different height levels to connect the diode. Alignment marks for referencing the substrate during the assembly and metal-filled vias for the dissipation of diode power complete the hybrid system.

Conclusion

A packaging concept for miniaturized hybrid optical systems was developed. It is based on ceramic multilayer substrates with integrated mechanical structures for mounting optical components. The concept is especially suitable for systems that integrate optical, electronic and micro-mechanical functionality on one substrate. Future work will optimize the mounting structures and their manufacturing process. Additionally alternative ceramics with higher thermal conductivity, like Aluminum Nitride, will be investigated for high power applications.

References:

- /1/ Beckert, E. et al.: „Integration of Optics, Electronics and Mechatronics on miniaturized Platforms“, Proceedings MICRO.tec 2003, München, pp. 179–184.
- /2/ Bartnitzek, T.; Müller, E.: „Entwicklung von LTCC-Schaltungsträgern und Gehäusen“, 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 2002, Ilmenau, pp. 675–67.
- /3/ Gongora-Rubio, M. R. et al.: „Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for meso-system technology (MsSt)“, Sensors and Actuators A, Vol. 89 (2001), pp. 222–241.
- /4/ Thelemann, Th. et al.: „Using LTCC for microsystems“, Microelectronics International, Vol. 19, No. 3, 2002, pp. 19–23.

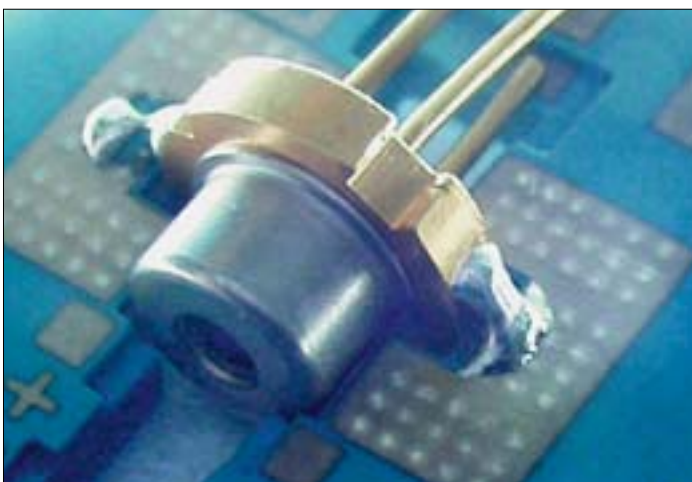


Abb. 4:
Durch Laserstrahllöten gefügte Laserdiode.

Fig. 4:
Laser beam soldered laser diode.