

# Keramische Chip-Träger

## Keramische Chip-Träger

**Dr. D. Brunner, Dr. B. Mussler**

ANCeram GmbH & Co. KG  
Esbachgraben 21  
D-95463 Bindlach

### 1. Anwendungen, Überblick

- 1.1 Einleitung
- 1.2 Allgemeine Übersicht
- 1.3 Anwendungen

### 2. Materialsysteme

### 3. Anschlußtechnologien

### 4. Marktübersicht

### 5. Anforderungsprofile

- 5.1 Anforderungen HTCC 10
- 5.2 Anforderungen LTCC 10
- 5.3 Anforderungen Leistungselektronikbaugruppen

### 6. Werkstoffauswahl, Werkstoffdaten

### 7. Herstellung keramischer Chip-Träger

### 8. Ausblick und Technologietrends

### 1. Anwendungen, Überblick

#### 1.1 Einleitung

Seit Anfang der 70er Jahre revolutioniert die Mikroelektronik permanent unser Umfeld. Die Steuerung nahezu aller technischen Geräte und Anlagen durch Mikroprozessoren ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Hierbei erstreckt sich die Bandbreite von hochkomplexen Fertigungsmaschinen und Computern über die Automobilanwendungen bis hin zu Haushaltsgeräten und Spielzeugartikeln.

Die ständig steigende Integrationsdichte in der Halbleiterindustrie erfordert in zunehmenden Maße immer leistungsfähigere und kostengünstigere Gehäusetechnologien (Packaging). Das Anwachsen der Kontaktdichte, die höhere Verlustleistung der Chips und die schnelleren Signallaufzeiten sind eine



## Keramische Chip-Träger

enorme Herausforderung für eine fortschrittliche, hochentwickelte Packaging-Technologie. Schnelle Signalimpulse müssen durch das Verbindungsnetzwerk gesandt werden, ohne die Leistungsfähigkeit des Halbleiters nennenswert zu beeinflussen.

Eine Reduzierung der Bauteilgrößen und die Integration passiver Bauelemente sind die derzeitigen Trends in der Mikroelektronik-Industrie.

### 1.2 Allgemeine Übersicht

Eine Einteilung der marktüblichen Chip-Träger kann anhand der Anwendungen, der Materialsysteme oder der Anschlußtechnologie vorgenommen werden. Grundsätzlich kann zwischen Substraten (unmetallisierte, einlagige Träger) und Gehäusen (mehrlagige Lamine mit internen Leiterzugebenen) unterschieden werden. Diese Definition ist jedoch keineswegs eindeutig, so daß Substrat, Gehäuse und Package für ein und dasselbe stehen können.

### 1.3 Anwendungen

Als wichtigste Anwendungen sind zu nennen:

- SCP (Single Chip Package)
- MCM (Multi Chip Module)
- SMT (Surface Mount Technology / Hybrid / Dickschichttechnik)

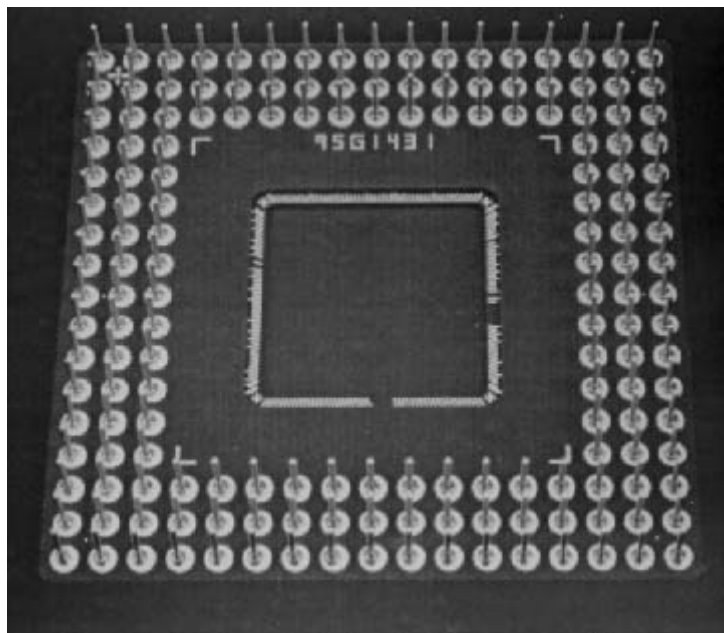
In der Gruppe der SCP sind neben den kostengünstigen Trägern aus Kunststoffen und Leiterplatten auf Epoxidbasis die technologisch überlegeneren Keramikträger von Bedeutung. Beispielhaft sei hier der Chipträger für PC-Prozessoren genannt (siehe Bild 1).

Bei den MCM werden generell 3 verschieden Arten unterschieden:

- MCM-L (*Laminate*) Mehrlagenmodule mit Laminatstruktur (üblicherweise auf Epoxidbasis), < 100 Anschlüsse pro inch<sup>2</sup> (Anwendungen < 100 MHz)
- MCM-C (*Ceramic*) Mehrschichtkeramikmodule, teilweise in Verbindung mit Dickfilmtechnologie, >100 Anschlüsse pro inch<sup>2</sup> (Anwendungen < 3 GHz)
- MCM-D (*Deposited Thin Film*) Module, bei denen Mehrlagenstrukturen (Metall und Dielektrikum) mit Dünnschichttechnologie aufgebaut werden, > 2000 Anschlüsse pro inch<sup>2</sup> (Hochleistungsanwendungen > 1 GHz)



## Keramische Chip-Träger



**Bild 1:** Single Chip Träger für PC-Prozessoren  
(mit freundlicher Genehmigung der IBM Deutschland GmbH, Fachbereich Elektrokeramik)

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit dieser Technologie seien hier die momentan eingesetzten Multichipmodule der Prozessoren in Großrechnern erwähnt. Diese MCM's sind mit bis zu 121 Chips bestückt, aus über 60 Keramiklagen und mehreren Dünnschichtlagen aufgebaut und haben mehr als 500 m interner Leiterzuglänge und über 2500 Anschlußpins. Vergleicht man die konventionelle Leiterplattentechnologie mit einer MCM-D Lösung, ergibt sich eine Flächenreduktion pro Baueinheit von über 80 %.

In der Gruppe der klassischen Hybride (SMT) und bei Anwendungen in der Starkstrom- und Leistungselektronik werden folgende Keramiksubstratmaterialien eingesetzt:

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  kostengünstig, langjährige Erfahrung, Standardsubstrat
- BeO sehr teuer, beste Wärmeleitfähigkeit, toxisch - nur für Sonderanwendungen
- AlN relativ teuer, hohe Wärmeleitfähigkeit, nicht toxisch
- Titanate teuer, niedrige Dielektrizitätskonstante, thermoschockempfindlich

Hierbei hat das Substrat folgende Funktionen:

- 1) Mechanische Stabilität
- 2) Wärmeabfuhr
- 3) Elektrische Isolation

Beim Standardhybrid wird die individuelle Schaltung in mehreren Sequenzen von Drucken, Trocknen und Einbrennen verschiedener Pastentypen auf dem unmetallisierten Keramiksubstrat verwirklicht. Für ein Produkt mit 4 Dickfilmlagen sind bis zu 30 einzelne Arbeitsschritte notwendig. Die Fertigung wird mit der Bestückung der Hybride mit den diskreten Bauelementen wie Chips, Kondensatoren, Widerstände, Induktivitäten, etc. abgeschlossen.

## Keramische Chip-Träger

### 2. Materialsysteme

Abgesehen von den organischen Trägermaterialien (Kunststoffe und Leiterplatten auf Epoxidbasis) unterscheidet man in der Hauptsache zwei keramische Grundsysteme. Die Einteilung erfolgt nach der Sinter Temperatur, und es wird zwischen HTCC (High Temperature Cofired Ceramic) und LTCC (Low Temperature Cofired Ceramic) unterschieden.

Bei den HTCC-Systemen kommen vor allem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{AlN}$  als Keramikbasismaterialien zur Anwendung. Die Cofiring-Pasten basieren auf den Metallen Mo und W.

Bei den LTCC-Systemen wird entweder eine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ / Glas-Pulvermischung oder ein Glaskeramikpulver als Ausgangsmaterial verwendet. Die Metallisierungspasten bestehen überwiegend aus Ag oder Ag Pd.

Derzeitig gibt es eine Vielzahl von Anwendungen für HTCC, die sich von einfachen Substraten als Basis für Dickschichtenanwendungen bis hin zu komplexen Mehrschichtkeramik-Modulen erstrecken. Diese Technologie wurde Mitte der 70er Jahre entwickelt und hat sich als Standard etabliert. Schätzungsweise basieren momentan mehr als 90 % aller keramischen Chip-Träger auf HTCC.

Seit Anfang der 90er Jahre hat sich neben der Hochtemperaturkeramik zunehmend die sogenannte LTCC-Technologie (Low Temperature Cofired Ceramic) entwickelt, deren Anwendungsmöglichkeiten sich in naher Zukunft enorm ausweiten werden. Insbesondere auf dem Gebiet der Automobiltechnik mit einer ständig steigenden Anzahl von elektronischen Bauelementen wird eine starke Expansion erwartet. Speziell in der aggressiven Umgebung eines Motorraums mit ölhaltigen, feuchten, teilweise salzhaltigen Atmosphären, die mit extremen Vibrationen sowie mit hohen mechanischen und thermischen Belastungen einhergehen, ist die Keramik anderen Technologien weit überlegen. Dies gilt ebenso bei anderen Anwendungen, die extreme Zuverlässigkeit und Widerstandsfähigkeit erfordern. Die Entwicklung auf dem LTCC-Sektor trägt dem Fortschritt in der Automobilelektronikindustrie Rechnung, der sich z.B. im Motormanagement, Antiblockiersystemen, Getriebesteuerungen, Einspritzanlagen, Airbagauslösesystemen, Sensoren, etc. zeigt.

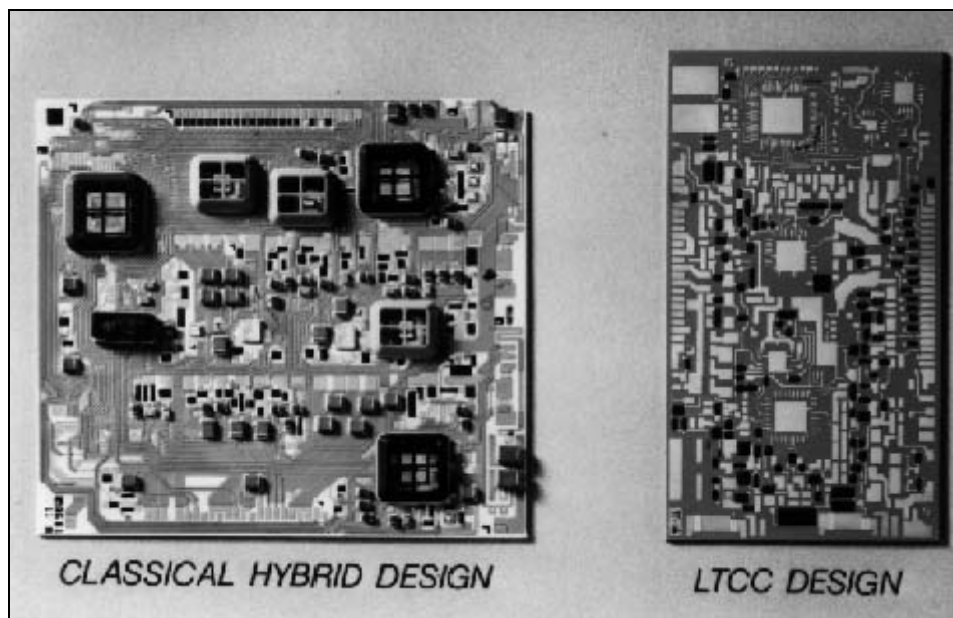
Die weltweite Konkurrenzsituation erfordert zunehmend kostengünstige Lösungen anzubieten. Dies gilt speziell im Packaging in der Automobiltechnik mit all seinen Anforderungen bezüglich Sicherheit und Zuverlässigkeit. Im Vergleich zum organischen Trägermaterial ist beim Keramikpackaging der positive Umweltaspekt in Betracht zu ziehen.

Hybrid Multichip-Module (MCM) sind bekanntermaßen widerstandsfähige und zuverlässige Bauelemente für elektronische Anwendungen. Speziell in aggressiven Umgebungen haben diese einen klaren Vorteil gegenüber den herkömmlichen Leiterplatten auf Epoxidbasis. Für solche Anwendungen wird deshalb der Marktanteil stetig anwachsen. Die Entwicklung in der Automobilelektronik, wo derzeit die Hybridtechnologie dominiert, bewegt sich sehr schnell in Richtung zunehmender Komplexität und Integration. Die Strategie führender Automobilhersteller tendiert dahin, die elektronischen Steuerungen so nah wie möglich an die Funktionseinheiten selbst zu bringen. Dadurch kann die Anzahl der Kabelbäume stark reduziert und so die Kosten signifikant verringert werden. Dies bedeutet jedoch, daß viele Steuereinheiten unter der Motorhaube sitzen und somit den widrigen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. In dieser Umgebung bietet sich ein Hybrid-Packaging auf LTCC-Basis als Technologie der ersten Wahl geradezu an.

Beim Standard-Hybridprozeß wird die Verdrahtung in einer sequentiellen Serie von Drucken, Trocknen und Einbrennen verschiedener Pastentypen auf einem unmetallisierten Keramiksubstrat

## Keramische Chip-Träger

verwirklicht. Die geschieht in bis zu 30 Arbeitsschritten für ein Produkt mit 4 Dickfilmlagen. Aufgrund dieser komplizierten Fertigungsfolge wird diese Technologie für die oben genannten Anwendungen an ihre Grenze stoßen.



**Bild 2:** Flächenvergleich eines klassischen Hybridbaus gegenüber einem LTCC-Design (mit freundlicher Genehmigung der IBM Deutschland GmbH, Fachbereich Elektrokeramik)

Der LTCC-Multilayer-Träger bietet hingegen den Vorteil, daß ein Großteil der Verdrahtung in das Keramiksubstrat integriert und gleichzeitig der Hybrid-Dickfilm-Prozeß angewandt werden kann. Dies stellt eine optimale Kombination der Vorteile beider Technologien dar. In Bild 2 sind gleichwertige Bauteile in klassischem Hybriddesign und in LTCC-Bauweise gegenübergestellt. Die Flächenreduktion beträgt ca. 45 %. Zudem besteht darüber hinaus die Möglichkeit passive Elemente, wie Widerstände und Kondensatoren, in die Keramik zu integrieren. Damit ist vor allem für zukünftige Anwendungen eine besonders attraktive Perspektive aufgezeigt.

Für Anwendungen der Hochleistungselektronik sind die oben genannten Material-systeme nur bedingt oder gar nicht brauchbar. Ein für Hochleistungsmodule wesentlicher Gesichtspunkt ist die Beherrschung von hohen Betriebsspannungen und -strömen und der damit verbundenen Wärmefreisetzung durch Verlustleistungen in kompakten Aufbauten. Die Integration von wirtschaftlichen Kühltechniken stellt ein vorrangiges Ziel dar.

Eine essentielle Bedeutung kommt bei diesen Mehrlagen- oder Substratanwendungen der Materialauswahl und dem Verbund zwischen Keramik und Metall zu.

Die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften von Keramik und Metall, insbesondere die stark unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten sowie das unterschiedliche Benetzungsverhalten gegenüber Lotschmelzen, machen die Lösung der Aufgabe jedoch schwierig.

Derzeit wird als Verbindungstechnik meistens das Lötten von metallisierter Keramik angewendet. Die Metallisierung der Keramik erfolgt im Falle des Aluminiumoxids durch Aufbringen einer Mn/Mo- oder W-Paste und anschließendes Einbrennen. Zur Verbesserung der Lötbarkeit wird diese Schicht noch vernickelt, zur Oxidationsbeständigkeit und zur eventuellen Bondbarkeit zum Teil vergoldet. Die Lötung kann dann mit konventionellen Hart- und Weichloten durchgeführt werden.

## Keramische Chip-Träger

Dieses Verfahren ist jedoch aufwendig und kann durch das Verwenden von Aktivloten erheblich vereinfacht werden. Hierbei erfolgt eine direkte Benetzung sowohl von Oxid- als auch Nichtoxidkeramik ohne besondere Vorbehandlung. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften von Keramik und Metall ergeben sich eine Reihe von Anforderungen an Aktivlote. Diese sind:

- gutes Benetzen von Metall und Keramik
- hohe Festigkeit in der Lötverbindung
- gutes Formänderungsvermögen und damit Ausgleich von unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Metall und Keramik (geringer E-Modul)
- möglichst niedrige Löttemperatur

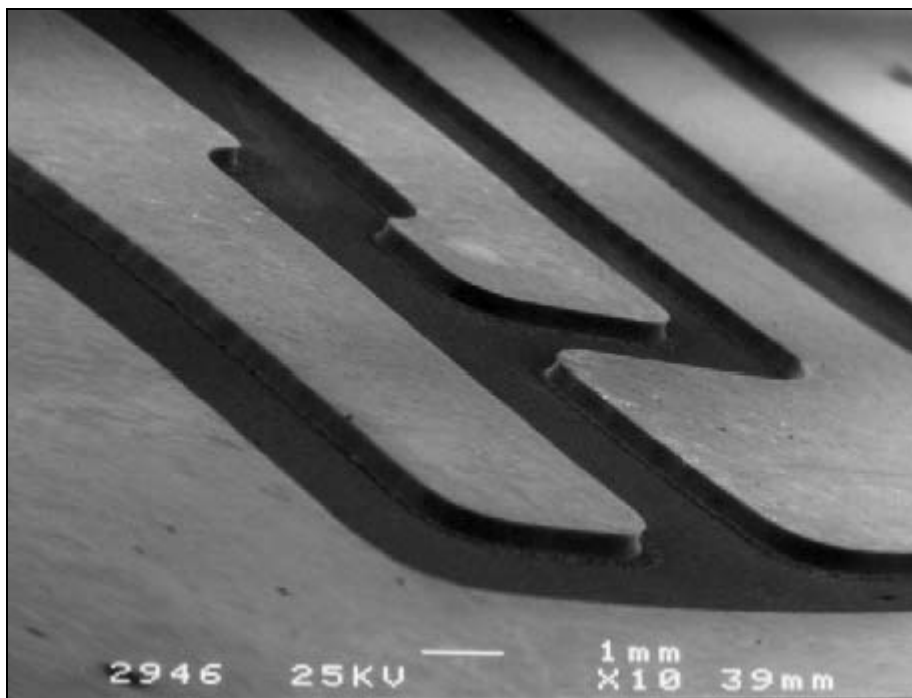
Das Benetzungsverhalten zur Keramik wird durch Zulegieren von Elementen mit hoher Affinität zu Sauerstoff, z.B. Ti, Zr und Hf erreicht. Diese Elemente sind in der Lage die Grenzflächenenergie zwischen Keramik und der Lotschmelze so weit herabzusetzen, daß eine Benetzung erfolgen kann. Dabei hat sich Ti als wirksamstes Legierungselement erwiesen. Als Lote kommen z.B. Legierungen auf Ag/Cu-Basis mit Ti-Zusätzen in Frage. Mittels Aktivloten lassen sich mit vergleichsweise niedrigem Aufwand hochfeste Verbindungen herstellen. Die Einsatzmöglichkeiten sind auf Temperaturen unter 800°C beschränkt, da die derzeit verfügbaren Aktivlote keine höheren Temperaturen zulassen.

Aluminiumnitridkeramik (AlN) wird für Substrate, Gehäuse und Kühler gewählt, wenn die thermomechanischen Eigenschaften oder die über den Träger abzuführende Verlustleistung mit konventioneller Aluminiumoxidtechnik nicht mehr zu beherrschen sind. Typische Beispiele sind hochintegrierte Dickschicht- und Dünnschichtschaltungen, wassergekühlte Leistungsstromrichter in Schienenverkehrssystemen, thermowechsel-belastete Substrate in der Satellitentechnik, Sende- und HF-Diodenträger.

Konventionelle Metallisierungsverfahren wurden in den letzten Jahren für das AlN zur Serienreife entwickelt und zunehmend angewandt. Gerade für die Leistungselektronik sind stromtragfähige Leiterbahnen zwingend erforderlich. Kupfer verbindet die gewünschte hohe elektrische mit einer extrem guten thermischen Leitfähigkeit. Probleme ergaben sich bisher durch die stark unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Keramik und Kupfer. Das für Aluminiumoxid seit Jahren angewandte DCB-Verfahren (Direct Copper Bonding) wurde zwar auch für AlN weiterentwickelt, jedoch erwies sich die Haftung der Kupferschichten als zu gering. Im Gegensatz hierzu ergeben sich durch das auf AlN neu entwickelte Aktivlotverfahren AMB (Active Metal Brazing) sehr hohe mechanischer Haftfestigkeiten, niedrigste Teilentladungseinsetzspannungen und gute Teilentladungsfestigkeiten.



## Keramische Chip-Träger



**Bild 3:** Strukturierte Cu-Leiterbahn auf AlN-Träger (AMB)

### 3. Anschlußtechnologien

<b>Gruppe 1</b>	<b>Chipverbindungen</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>Modulaufbau</b>
WB	Wire Bonding	SCP, SCM	Single-Chip Package, Module
TAB	Tape Automated Bonding	MCM	Multi-Chip Module
DCA	Direct Chip Attach	FCM	Few Chip Module
FC	Flip Chip Technology (C4)	SCIM	Single-Chip Integrated Module
COB	Chip on Board	SLIM	Single-Level Integrated Module
<b>Gruppe 3</b>	<b>Package-Verbindungen</b>	<b>Gruppe 4</b>	<b>Sonstige</b>
PGA, BGA	Pin (Ball) Grid Array	VLSI	Very Large Scale Integration
FPT	Fine Pitch Lead Technology	SLT	Solid Logic Technology

## Keramische Chip-Träger

LCCC	Leadless Ceramic Chip Carrier	WLP	Wafer Level Packaging
TSOP	Thin Small-Outline Package	MWSI	Monolithic Wafer Scale Integration
QFP	Quad Flat Pack	MST	Monolithic Systems Technology
CSP	Chip Scale Package	KGD	Known Good Die
SIP	Single-In-Line-Package	DP	Diffusion Patterning
DIP	Dual-In-Line Package	IC	Integrated Circuit
MIP	Multiple-In-Line-Package	PCB	Printed Circuit Board
VSOP	Very Small-Outline Package		

**Tabelle 1:** Abkürzungsübersicht

Eine andere Möglichkeit der Einteilung der Chip-Träger kommt von der Anwenderseite her. Hierbei steht entweder die Funktion bzw. Geometrie der Bauteile oder die Art der Anbindung zum Halbleiter bzw. zur Grundplatte im Vordergrund. Ein Großteil der Bezeichnungen hat sich während der letzten 15 Jahre ergeben und führt für den Laien zu einem verwirrenden AKÜFI (Abkürzungsfimmel). Die wichtigsten Abkürzungen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Ohne auf Details einzugehen zu können (hier sei auf die spezielle Mikroelektronikliteratur verwiesen), sollen hier nur die industriellen Trends beschrieben werden, die sich derzeit abzeichnen.

Ein Großteil der heute bestehenden Chip-/Package-Verbindungen werden mittels Wire Bond gefertigt. Die weitere Miniaturisierung wird in zunehmendem Maße kürzere, dichter gepackte und zuverlässigere Anbindungen erfordern, so daß sich hier Technologien wie FC oder COB durchsetzen werden.

Ein gleichartiger Trend gilt für die Rückseite. Hier wird die Anbindung zur Grundplatte über Leads oder Pins (PGA) vornehmlich zu BGA's übergehen.

Bei den Modulen werden aufgrund der zunehmenden Komplexitäten und der höheren Integration immer mehr Multichip-Module die bisherigen SCM's ersetzen.

Auf dem Hybridmarkt wiederum werden zunehmend aufwendigere Mehrlagensubstrate in Form von LTCC die klassischen Hybride ablösen.

Auf dem HTCC-Sektor zeichnen sich für spezielle Hochleistungsanwendungen alternative Materialien wie z.B. AlN ab.

### 4. Marktübersicht

Der gesamte Keramik-Weltmarkt beträgt gegenwärtig ca. 135 Milliarden DM pro Jahr. Bis zum Jahr 2000 wird ein Wachstum bis auf ca. 160 Milliarden erwartet. Hierbei entfallen ca. 40 % auf die





## Keramische Chip-Träger

Feinkeramik (Fliesen, Sanitärkeramik, Geschirr), ca. 42 % auf die Grobkeramik (Ziegel und Feuerfesterzeugnisse) und ca. 18 % auf die Hochleistungskeramik. Japan ist mit großem Abstand Marktführer im Segment Hochleistungskeramik (> 40 % des Weltmarktes). Auf die elektronische Keramik bezogen beträgt Japans Marktanteil sogar > 80 %.

Für Westeuropa ergeben sich ca. 47 Milliarden DM pro Jahr (48 % Feinkeramik, 44 % Grobkeramik und 9 % Hochleistungskeramik). Die elektronische Keramik erwirtschaftet dabei über 60 % der Hochleistungskeramik.

Die neueste Prognose für die Marktentwicklung der Hochleistungs- bzw. elektronischen Keramik in den USA sei hier beispielhaft wiedergegeben.

US-Markt	1996 (Mio. \$)	2001 (Mio. \$)	Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (%)
Elektronische Keramik	4.164	6.290	8,6
Hochleistungskeramik	6.315	9.240	7,9

(Quelle: Business Communications Co. Inc., Norwalk, Conn. - 10/97)

**Tabelle 2: US-Marktentwicklung**

Die elektronische Keramik teilt sich auf in :

- Substrate und IC Packages (ca. 56 %)
- Kondensatoren (ca. 24 %)
- Ferrite (ca. 10 %)
- Isolatoren (ca. 6 %)
- Piezoelektrische Keramik (ca. 4 %)

Es sind definitive Anzeichen zu erkennen, daß die Marktnachfrage für Keramiksubstrate mittel- und langfristig signifikant zunehmen wird, da die Keramik weiterhin erhebliche Vorteile im Vergleich zu Leiterplatten auf Epoxidbasis bietet. Dies gilt vor allem für die speziellen Anforderungen in der Automobilelektronik. Daß der Automobilsektor der am stärksten wachsende Markt für Hybridschaltungen der nächsten Jahre ist, liegt darin, daß der Anteil der Elektronik in den zukünftigen Automobilgenerationen ständig zunehmen wird. LTCC dringt zunehmend in den Hybridmarkt insbesondere für High-End-Anwendungen in der Automobil- und Telekommunikationsbranche ein und in den kommenden Jahren wird in Europa ein Marktvolumen von bis zu 2 Milliarden DM erwartet.

### 5. Anforderungsprofile

Generelle Anforderungen an die Trägermaterialien der Elektrotechnik und Elektronik sind stets eine gewisse mechanische Festigkeit, um die empfindlichen Siliziumschaltkreise und die passiven Bauelemente sicher montieren zu können und gegen Erschütterungen, Beschleunigung und weitere mechanische und chemische Umwelteinflüsse zu schützen.

Im Zuge der stetigen Miniaturisierung wird die elektrische Isolation, gepaart mit einer möglichst hohen und zuverlässigen Wärmeabfuhr immer wichtiger. Zur Minimierung der Dämpfung und des Übersprechens sollten die Dielektrizitätszahl  $\epsilon$  bis in den Höchsthfrequenzbereich niedrig und der



## Keramische Chip-Träger

dielektrische Verlust, charakterisiert durch den  $\tan \delta$ , gering sein. Oftmals wird hermetische Dichtheit gefordert, um Korrosion zuverlässig zu verhindern.

Die Metallisierbarkeit und die Zuverlässigkeit der Verbindungspartner Keramik und Metall sind unabdingbar für die Eignung des verwendeten Trägerwerkstoffes.

Selbstverständlich müssen die Kosten des Trägerwerkstoffes der Anwendung entsprechen.

In manchen Bereichen spielen außerdem andere Eigenschaften, die oftmals den Einsatz spezieller, höchstwertiger Rohstoffe erfordern, eine wichtige Rolle. Beispielsweise dürfen Speichergehäuse nur äußerst geringe  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung aufweisen, um Softerrors im Speicherchip zu minimieren.

Aus dieser Kurzzusammenstellung des generellen Anforderungsprofils lassen sich die Einzelanforderungen an die verschiedenen Substratmaterialien ableiten.

Der Massenmarkt, mit relativ geringen werkstofftechnischen Anforderungen, verlangt ein extrem kostengünstiges Material. Hier kommen vor allem Kunststoffe (FR4 und höherwertige Polymere und Verbunde) zum Einsatz.

Die Keramik findet im anspruchsvollen Obersektor ihre Anwendung. Zudem sind heute im Höchstleistungsbereich bereits Diamantsubstrate keine Seltenheit mehr.

Zusammengefaßt sind die wichtigsten, generellen Anforderungen an ein keramisches Trägermaterial:

- Mechanische Festigkeit
- Elektrische Isolation
- Gute Verbindung mit Metallen
- Hohe Wärmeleitfähigkeit
- Temperaturwechselbeständigkeit
- Niedrige Dielektrizitätskonstante
- Thermische Ausdehnung nahe an Silizium
- Chemische Resistenz
- Hermetische Dichtheit
- Geringer Preis

### 5.1 Anforderungen HTCC

In Ergänzung zu den oben genannten Anforderungen müssen für Multilayer-Packages mit inneren Leiterzügen und Durchkontaktierungen noch eine Reihe anderer Bedingungen erfüllt werden:

- Reproduzierbare X/Y-Schrumpfung (Maßtoleranz)
- Maßhaltigkeit der Grünfolien während des Stanzens der Durchkontaktierungen
- Kompatibilität der Grünfolie zu den Siebdruckmetallisierungspasten (Stabilität)
- Laminierfähigkeit und Möglichkeit zur Grünbearbeitung
- Möglichkeit zum Co-Firing (Schrumpungsverträglichkeit von Metall und Keramik)
- Gute Oberflächenqualitäten (für Nachfolgeprozesse wie Dick- oder Dünnschicht-Technologie, Galvanik, etc.)
- Robustes Langzeitverhalten



## Keramische Chip-Träger

Die klassischen HTCC-Multilayer-Systeme basieren auf einer Aluminiumoxidkeramik mit Mo oder Mo/W-Metallisierung. Diese bewährte und robuste Technologie ist seit Ende der 70er Jahre auf dem Markt und deckt immer noch den Großteil der Mehrlagen-anwendungen ab.

### 5.2 Anforderungen LTCC

Zusätzliche Anforderungen an ein geeignetes LTCC-System sind:

- Sintertemperatur < 900°C
- Keine Anfälligkeit für Ag-Migration/-Diffusion
- Gute elektrische Parameter der leitenden Pasten
- Potential für vergrabene, passive Bauelemente
- Verträgliche Co-Firing- und Post-Firing-Metallisierungen
- Dimensionsstabilität während der Dickschichteinbrennprozesse
- Herstellbarkeit in existierenden Produktionslinien (Dickschichtanwendungen)
- Wettbewerbsfähige Kosten (im Vergleich zu anderen Technologien)

### 5.3 Anforderungen Leistungselektronikbaugruppen ( DCB, AMB-Substrate )

Für Anwendungen in der Starkstrom- und Leistungselektronik ist das Anforderungsprofil etwas anders geartet, da hier vor allem extremere Bedingungen höhere Ansprüche an die eingesetzten Werkstoffe bzw. Materialkombinationen stellen:

- sehr hohe Wärmeleitfähigkeit der Keramik
- hohe elektrische Durchschlagsfestigkeiten der Keramik
- sehr gute elektrische Leitfähigkeit der Metallisierung
- sehr hohe mechanische Haftfestigkeiten der Lote
- niedrigste Teilentladungseinsetzspannungen, gute Teilentladungsfestigkeiten

## 6. Werkstoffauswahl, Werkstoffdaten

	LTCC	HTCC	HTCC
<b>Dielektrikum</b>	Glaskeramik	Aluminiumoxid	Aluminiumnitrid
<b>Metallisierung</b>	Ag, AgPd, Cu, Au	Mo, W	Mo, W
<b>Sintertemperatur (°C)</b>	830 - 980	1550 - 1620	1800 - 1900
<b>Dichte (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,5 - 3,1	3,3 - 4,0	3,2 - 3,3
<b>Wärmeausdehnungskoeff. (50 - 400 °C) (x 10<sup>-6</sup> / K)</b>	3,5 - 7,5	6,5 - 7,6	4,8



## Keramische Chip-Träger

<b>Wärmeleitfähigkeit (W/mK)</b>	2,7 - 3,3	13 - 25	140 - 200
<b>Biegebruchfestigkeit (MPa)</b>	230 - 280	480 - 520	340 - 450
<b>Bruchwiderstand (MPa <math>\sqrt{mm}</math>)</b>	2,7 - 3,0	3,8 - 4,4	3,1 - 3,6
<b>E-Modul (GPa)</b>	80 - 105	270 - 310	310
<b>Dielektrizitätskonstante</b>	5,5 - 8,5	9,0 - 9,5	8,6
<b>Dielektr. Verluste (tan d)</b>	$1,1 \times 10^{-3}$	$0,7 - 2,0 \times 10^{-3}$	$0,5 \times 10^{-3}$
<b>Durchschlagsfestigkeit (kV)</b>	--	> 22	> 25
<b>X/Y-Schrumpfung (%)</b>	12 - 15	15 - 18	18 - 23
<b>Z-Schrumpfung (%)</b>	12 - 20	13 - 20	18 - 23

**Tabelle 3:** LTCC- und HTCC-Materialeigenschaften

In Tabelle 3 sind die typischen Werkstoffdaten der 3 wichtigsten Materialsysteme für Chip-Trägeranwendungen aufgeführt. Je nach Anforderung und Einsatzgebiet muß überlegt werden, welches System geeignet ist.

Die klassische Hybridtechnologie auf der Basis von einfachen, einlagigen Aluminiumoxidsubstraten dominiert momentan noch den herkömmlichen Mikroelektronik-Markt. Dennoch wird heute vor allem in der Automobilelektronik bereits ein Teil der Baugruppen mittels LTCC gefertigt, da auf diese Weise eine höhere Packungsdichte erzielt werden kann. LTCC ist hier das Zukunftssystem der ersten Wahl, da so die konventionelle Dickschichttechnologie weiter eingesetzt werden kann.

HTCC ( $Al_2O_3$ ) ist eine langjährig bewährte und ausgereifte Technologie für Mehrlagenanwendungen und ist vor allem auf dem Gebiet der Computertechnologie bzw. Datenverarbeitung Standard. Aufgrund der relativ niedrigen Preise und der Verfügbarkeit genormter Bauelemente wird HTCC überall da eingesetzt, wo nicht explizit extreme Anforderungen an die physikalischen Parameter der Werkstoffe gestellt werden.

Anders sieht es bei Hochleistungsmodulen aus. Hier gelangen zum Teil wesentlich teurere Materialien und Herstellungsmethoden zum Einsatz. So wird HTCC (AlN) für die Starkstrom- und Leistungselektronik in zunehmenden Maße Fuß fassen. Ein anderes Beispiel, das eingangs erwähnt wurde, ist ein 70-Lagen Mehrschichtkeramikmodul mit mehreren Lagen Dünnschicht und bis zu 121 Chip-Nestern für Großrechneranwendungen. Die Werkstoffbasis ist eine Cordierit-Glaskeramik und eine Kupfermetallisierung.

## Keramische Chip-Träger

### 7. Herstellung keramischer Chip-Träger

Die Herstellung eines Keramik Chip-Trägers bzw. Substrates soll anhand eines schematischen Prozeßflusses einer derzeitigen LTCC-Fertigung erläutert werden (siehe Bild 3). Im wesentlichen sind die Arbeitsschritte bei anderen Materialsystemen bis auf die Post-Firing-Prozesse mit diesem Ablauf nahezu identisch.

Die keramischen Rohmaterialien werden in einer Kugelmühle zusammen mit organischen Binde- und Lösemitteln zu einer Gießmasse aufbereitet. Diese wird dann im sog. Tape-Casting-Verfahren zu Folien von 150 bis 300 µm Dicke vergossen. Danach werden hieraus die sogenannten "Green Sheets" ausgestanzt und sowohl automatisch als auch visuell auf Fehler inspiziert.

Nach einer gewissen Alterungszeit bzw. durch einen Temperprozeß, die eine gute Dimensionsstabilität gewährleisten, folgt das Punching, d.h. das Ausstanzen der Durchkontaktierungen (Vias) der einzelnen Lagen. Dieser Prozeß ist normalerweise voll automatisiert und beinhaltet zumeist eine 100 % Überprüfung der Stanzlöcher.

Der Pastensiebdruck findet üblicherweise in zwei Prozessschritten statt. Zunächst werden die Vias mit Ag-Paste gefüllt und anschließend bringt man die verschiedenen Leiterzugmuster auf. Alle Lagen passieren eine Inspektion auf Via-Füllgrad und Leiterzugdefekte und es erfolgt entsprechend eine Aussortierung oder Reparatur.

Im Anschluß daran werden die verschiedenen Lagen eines Produkts gestapelt und bei Temperaturen > 70 °C unter Druck laminiert. Durch einen Sägeprozeß wird die Größe eingestellt. Außerdem können die Lamine noch anderweitig grün bearbeitet werden.

Das Sintern der LTCC-Teile erfolgt in der Regel an Luft in Kammer- oder Durchlauföfen, wobei ein spezielles Temperaturprofil streng eingehalten werden muß. Nach der Überprüfung der Außendimensionen und der Maßhaltigkeit der Metallisierungsmuster (Distortion) schließt sich der elektrische Test an. Hierbei werden alle Netze auf Unterbrechungen bzw. Kurzschlüsse untersucht.

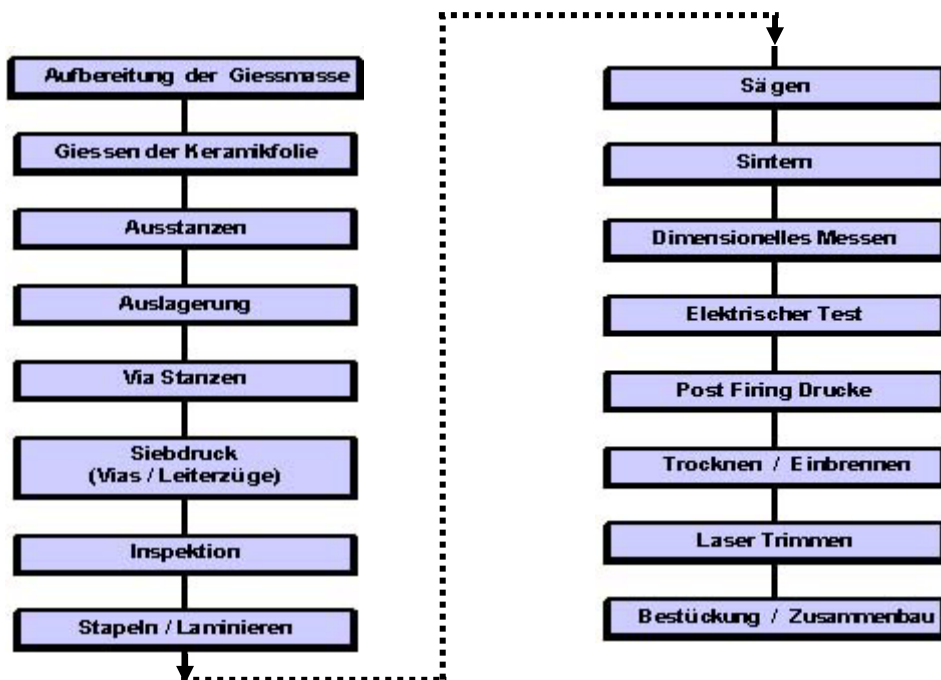
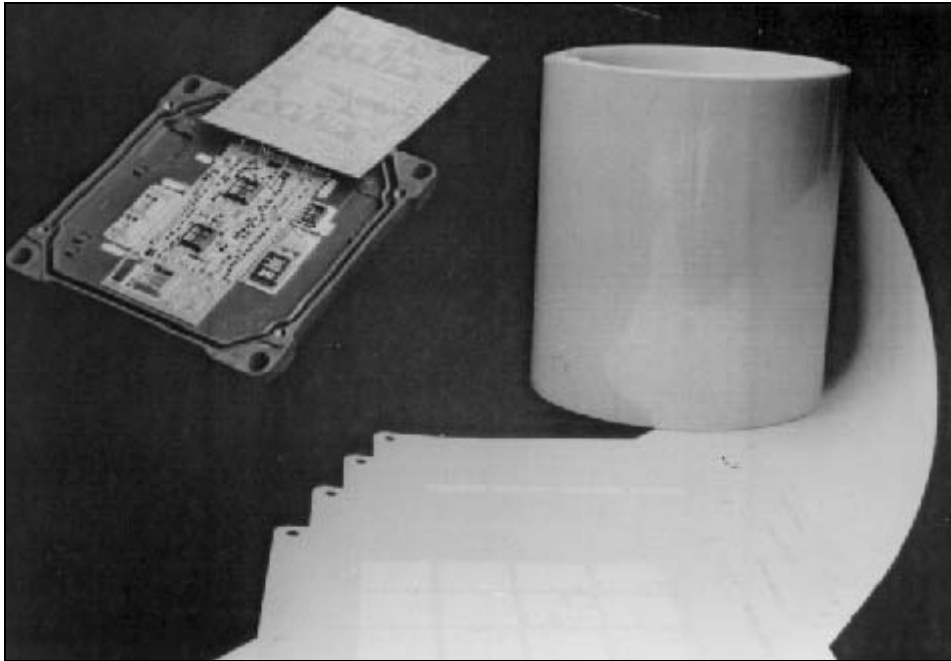


Bild 4: LTCC-Prozessablauf

## Keramische Chip-Träger

Abhängig von der Anwendung kann noch ein galvanisches oder stromloses Vergolden der Außenkontaktierungen stattfinden oder die Teile werden direkt als Basissubstrate für anschließende Dickschichtprozesse verwendet.

Danach erfolgen die üblichen Prozeßfolgen (Drucken, Trocknen, Einbrennen, etc.) der klassischen Hybridtechnologie.



**Bild 5: LTCC-Keramikfolie und Endprodukt**  
(mit freundlicher Genehmigung der IBM Deutschland GmbH, Fachbereich Elektrokeramik)

### 8. Ausblick und Technologietrends

Der weltweite Mikroelektronik-Markt wird bis zum Jahr 2001 jährlich um 15 % zunehmen (VDE-Trendanalyse 1997). Dabei beträgt der europäische Anteil am Weltmarkt momentan ca. 20 %.

Die Palette der potentiellen Produkte ist äußerst vielfältig und scheint momentan oft noch sehr utopisch. Dennoch rückt die Verwirklichung dieser Anwendungen in greifbare Nähe oder hat sogar schon stattgefunden.

Sprachgesteuerte Computer, falt- oder aufrollbare Flachbildschirme, elektronische Zeitungen, Bildtelefone in der Armbanduhr, neue Automobilmikrosysteme für mehr Sicherheit und Komfort, implantierte Hör- und Sehhilfen, Medikamentendosiersysteme und Sensoren, die rund um die Uhr Blutdruck, Puls und andere Körperfunktionen überwachen und steuern, sollen hier nur beispielhaft aufgeführt sein. Hierbei werden die meisten Systeme dimensionell lediglich die Größe von Knöpfen, Ansteckern oder Scheckkarten haben.

Produkte für alle Industriebereiche (kosten- und leistungsorientierte Telekommunikationsanwendungen, Consumer-Produkte, Automobil Elektronik und Hochleistungs-Systeme) und die IC Technologien stellen enorme Herausforderungen. Neben sehr hoher Leistungsfähigkeit und extrem niedrigen Kosten sollen die Systeme dünn, leicht und tragbar sein und außerdem die Möglichkeit

## Keramische Chip-Träger

bieten, verschiedenartige Halbleiterchips auf einem Modul unterzubringen. Die daraus resultierenden Packaging-Anforderungen sind:

- hohe I/Os um ca. 5000
- 5 - 30 W / chip
- IC Größen  $> 11 \text{ cm}^2$
- höhere Anzahl von Pins  $> 3700$
- höhere Taktfrequenzen  $> 1 \text{ Ghz}$
- höhere Leistungsaufnahme (Verbrauch)  $> 180 \text{ W}$
- niedrigere Gehäusekosten (0,003 \$ pro pin)

Es wird damit gerechnet, daß neue Verbindungstechniken wie Flip Chip, COB, CSP, etc. innerhalb der nächsten 10 Jahre zu einem Industriestandard werden. Die Gründe hierfür sind bessere elektrische Eigenschaften, höhere Anbindungsichten, größere Zuverlässigkeit bei insgesamt niedrigeren Systemkosten.

Bei einer erwarteten durchschnittlichen Wärmeleistung von bis zu 30 W/Chip und zur Vermeidung von Flüssigkeitskühlungen sind zukünftig kostengünstige Module mit hohen Wärmeleitfähigkeiten von großer Bedeutung. Hierbei bietet sich AlN als Mehrschichtkeramikmodul oder in Kombination mit anderen Materialien an.

