

## HVG-Mitteilung Nr. 2102

### Zur Funktion der Gläser in der LTCC-Technologie

W. A. Schiller, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin,  
Fachbereich "Hochleistungskeramik und Verbundwerkstoffe"

Vortrag auf dem DGG- Glasforum am 19. Oktober 2005 in Mainz

Der globale Trend zur Miniaturisierung und Funktionserweiterung mikroelektronischer Baugruppen und Systeme erfordert deutliche Fortschritte bei der Aufbau- und Verbindungstechnik (Packaging). Eines der innovativsten Packaging-Konzepte basiert auf der LTCC (Low-Temperature-Co-fired-Ceramic)-Multilayer-Folientechnik. Diese zeichnet sich durch eine Reihe von werkstoff- und technologie-seitig begründeten Vorteilen aus, die sie für viele neue Anwendungen in der Mikrosystemtechnik, Sensorik und HF-Technik interessant macht. Die Mikrosystemtechnik als Querschnittstechnologie steht hier für viele Produkte aus der Informations- und Kommunikationstechnik, der Automobilelektronik/-mechatronik, der Medizintechnik, der Biotechnologie und für die Mikrosensorik in sicherheitsrelevanten Bereichen. Jedoch kann die LTCC- Multilayer- Technik gegenwärtig noch nicht alle Anforderungen an eine umfassend innovative und kostengünstige Packaging-Technologie erfüllen. Deshalb werden gegenwärtig weltweit neue werkstofftechnische Konzepte zu ihrer Weiterentwicklung kreierte und zügig vorangetrieben. Die wichtigsten Merkmale dieser Entwicklung zur sog. „Advanced LTCC Technology (A-LTCC)“ werden im Folgenden angesprochen. Dabei geht es sowohl um neue LTCC-Funktionswerkstoffe „nach Maß“ – inkl. neuer Syntheseverfahren – als auch um neue Prozesstechniken, welche sowohl die Keramik- als auch die Aufbau- und Verbindungs-Technologie betreffen. 3 wesentliche Merkmale für A-LTCC sollen herausgehoben werden:

- Erweiterung und Optimierung des Innovationspotentials von LTCC- Funktionswerkstoffen,
- Integration passiver Bauelemente in LTCC-Multilayer,
- Einführung von „Zero Shrinkage“- Sinterverfahren.

Hier wird vorrangig auf die Erweiterung des Innovationspotentials der LTCC-Werkstoffe und titelgemäß auf die von der Komponente „Glas“ dabei übernommenen Funktionen eingegangen. Das vorhandene Potential kann ausgebaut werden durch:

- Weiterentwicklung des keramischen Komposit-Prinzips,
- gezielte Kristallisation der Glasphase beim Sintern im Zusammenwirken mit Phasengrenzreaktionen zwischen Kristallphase und Glasschmelze bzw. Umlösungsprozessen,
- Minimierung des Restporengehaltes im Gefüge und in der Oberflächenschicht bei gleichzeitiger Verringerung der Oberflächenrauheit der LTCC-Substrate.

Eine Weiterentwicklung des keramischen Komposit-Prinzips ist sowohl durch Einbeziehung neuer funktionstragender kristalliner Stoffe als auch einer deutlichen Reduzierung des Glasanteils im Versatz jeweils unter Nutzung der großen stofflichen und

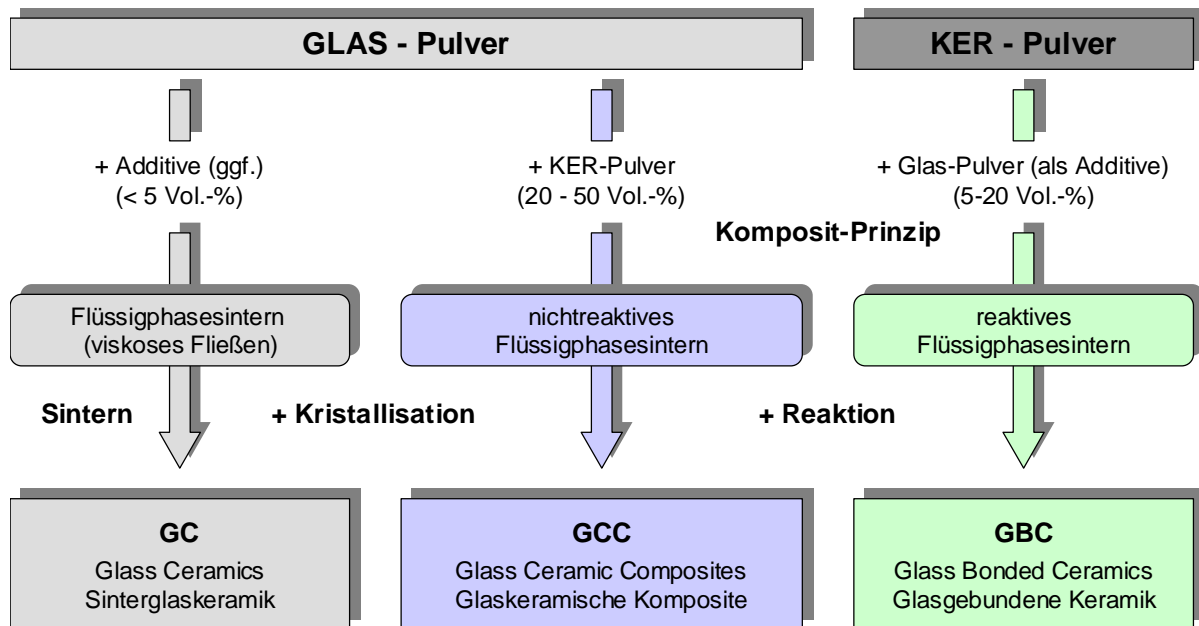


Bild 1: LTCC-Werkstoffvarianten.

funktionalen Vielfalt der Komponente „Glas“ möglich. Man erweitert dabei den klassischen LTCC-Bereich der Sinterglaskeramiken (Glass Ceramics, GC) und glaskeramischen Komposite (Glass Ceramic Composites, GCC) und gelangt in das Feld der sog. glasgebundenen Keramiken (Glass Bonded Ceramics, GBC). Hierbei reichen bereits relativ geringe Zusatzmengen (unterhalb 10 Vol.-%) eines sehr niedrig erweichenden Glases zum Dichtsintern aus. Das Sintern basiert nun auf einer Kombination von Umordnungs- und Auflösungs-Wiederausscheidungs-Vorgängen der kristallinen Partikeln in der Schmelze (reaktives Flüssigphasensintern).

In den Bildern 1 und 2 ist eine Übersicht zu Herstellungsvarianten und Zusammensetzungsbereichen der verschiedenen LTCC-Werkstoffe sowie der Zusammenhang zwischen Sintertemperatur und Glasgehalt (im Versatz) dargestellt.

Die in Bild 2 eingetragenen Kurven resultieren aus Ergebnissen früherer Arbeiten zur Entwicklung von LTCC-Werkstoffen. In Bild 3 ist der Vergleich der Viskositäten von geeigneten Gläsern für LTCC-Werkstoffe vom GBC- und GCC-Typ dargestellt.

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes WINPAK (gemeinsam mit Siemens und Heraeus) wurden Gläser aus dem Zusammensetzungsbereich  $\text{La}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  (LBT) entwickelt, deren Erweichungstemperaturen  $T_{\text{Soft}}$  bei ca. 750 °C liegen. Durch Kombination dieser Gläser mit speziellen Titanaten (z.B.  $\text{Ba}(\text{La},\text{Nd})_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ) lassen sich LTCC-Werkstoffe vom GCC-Typ herstellen, die zwischen 750 und 800 °C dicht sintern. Die Herstellung entsprechender dichter Titanatwerkstoffe vom GBC-Typ unter Verwendung der gleichen LBT-Gläser gelingt dagegen erst bei ca. 1100 °C (vgl. Bild 2). Um die für LTCC- Anwendungen übliche Sintertemperatur auf unter 1000 °C senken zu können, wurden deshalb deutlich niedriger schmelzende Gläser aus dem Zusammensetzungsbereich  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZnO}$  (BBSZ) entwickelt und eingesetzt. Deren Erweichungstemperaturen liegen bei ca. 450 °C und ermöglichen die Herstellung von LTCC-GBC- Werkstoffen (vgl. Bild 2 und 3).

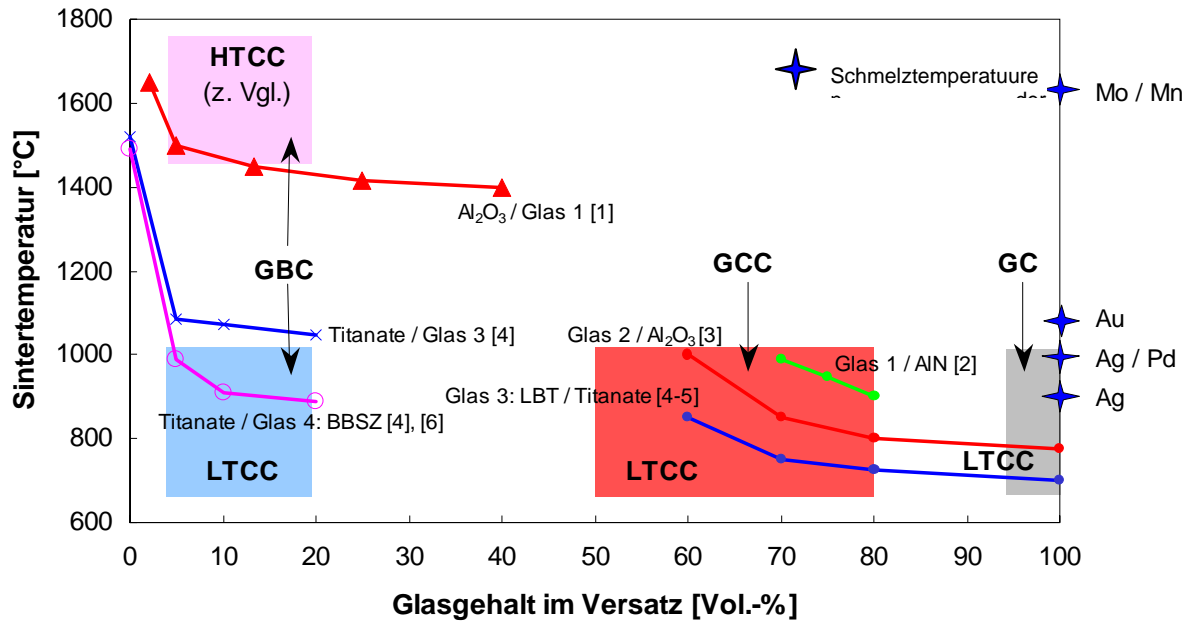


Bild 2: Sintertemperaturen von LTCC-Werkstoffen als Funktion des Glasgehaltes. [1] G. Riedel, W. Schiller: Tridelta 1990, [2] W. Schiller et. al.: BMBF/MatFo 1993, [3] W. Schiller et. al.: BMBF/MaTech 1997, [4] BAM-V.4: BMBF/ Ma-Tech (WINPAK), 2000, [5] BAM / Heraeus / Siemens, GCC-Patente, 2000 ff, [6] BAM / Heraeus / Siemens, GBC-Patente, 2000 ff

Durch eine gezielte Kristallisation der Glasschmelze beim Sintern im Zusammenwirken mit Phasengrenzreaktionen zwischen Kristallphase und Glasschmelze (bei GCC) bzw. Umlösungsvorgängen (bei GBC) wird gleichermaßen eine Minimierung der Restglasphase und die Steuerung von Gefügeausbildung und Funktionseigenschaften vorgenommen.

Obwohl LTCC-Kompositwerkstoffe bereits seit mehreren Jahren in Großserie produziert werden (EPCOS, BOSCH u. a.) werden die komplexen festkörperchemischen und -physikalischen Vorgänge beim Sintern noch nicht vollständig verstanden. Es fehlen auch praxisnahe Sintermodelle auf Basis messtechnisch zugänglicher Kennwerte zur quantitativen Beschreibung bzw. Berechnung des Schwindungsverhaltens als Funktion von Temperatur, Zeit und Druck. Im Rahmen eines DFG-Vorhabens (gemeinsam mit der TU Clausthal / J. Deubener) wird gegenwärtig versucht, die klassischen Sintermodelle von Frenkel sowie Mackenzie und Shuttleworth durch Einbeziehung der Partikelgrößenverteilung des Kompositpulvers, die Berücksichtigung der effektiven Viskosität der glasig-kristallinen Flüssigphase und des jeweils realen Phasenbestandes im Verlauf des Sinterprozesses zu verbessern. Auf dem DGM/DKG-Symposium Hochleistungskeramik 2005 wurden dazu erste Ergebnisse vorgestellt.

Durch Minimierung der Restporosität im Gefüge und durch Ausbildung einer glasurähnlichen, glatten Brennhaut kann die Oberflächenrauheit deutlich verringert werden. Das ermöglicht die Dünnschicht-Prozessierbarkeit der Substrate und verbessert deren Zuverlässigkeit bei nachfolgenden galvanischen Beschichtungsprozessen.

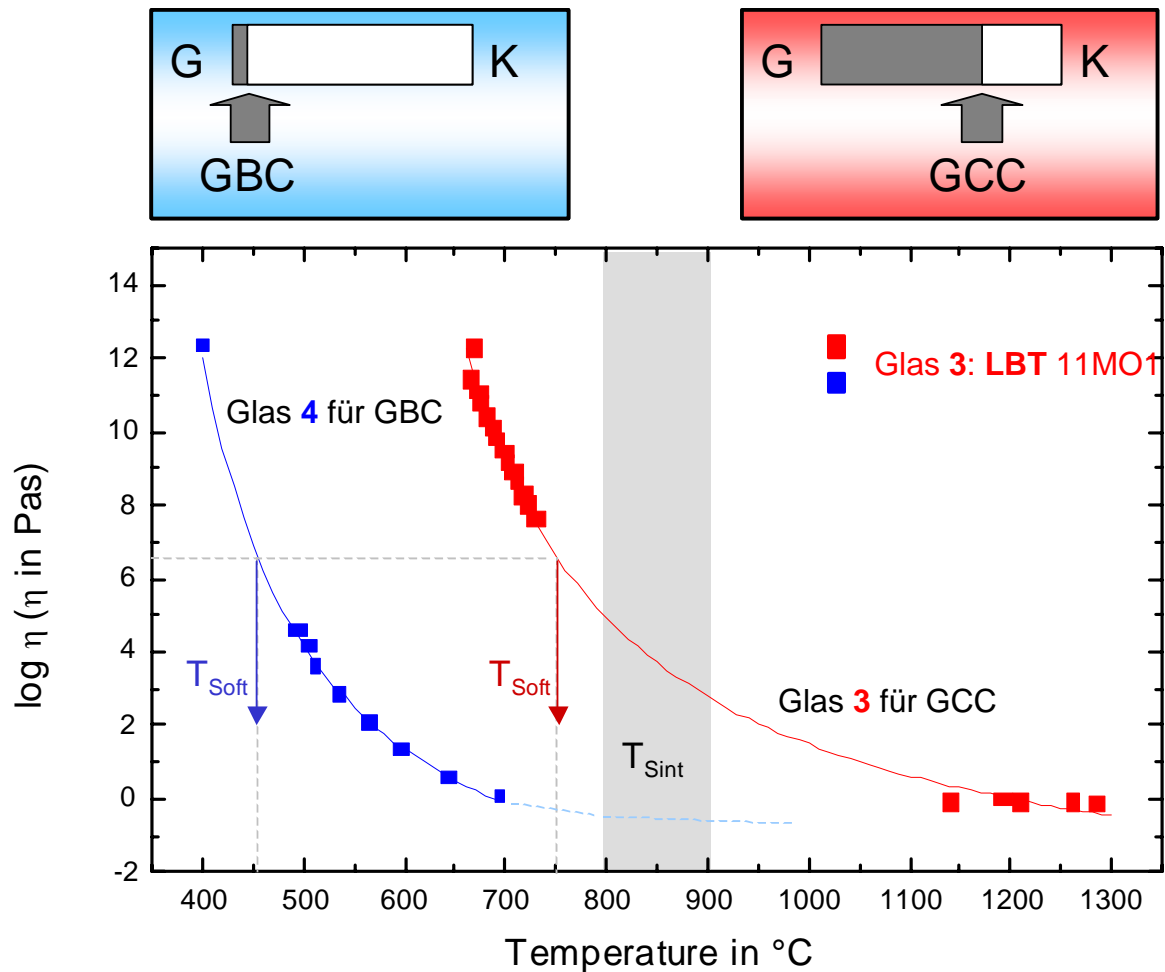


Bild 3: Viskosität- Temperatur-Kurven von neu entwickelten Gläsern für LTCC Werkstoffe vom GCC- und GBC-Typ.

Schließlich führt auch die Einbeziehung der Nanopartikeltechnik und/oder der Sol-Gel-Synthesetechnik für die Gläser zur Erweiterung des Innovationspotentials der LTCC-Werkstoffe.

Im Rahmen mehrerer Verbundprojekte mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung wurde gezeigt, dass durch die keramische Verarbeitung von Spezialglas in Kombination mit verschiedenen kristallinen Komponenten unter Berücksichtigung der o. g. Konzepte und Maßnahmen interessante neue LTCC-Funktionswerkstoffe für Anwendungen in der Mikrosystemtechnik und Sensorik herstellbar sind.