

2. Einführung in die Technische Keramik

2.1 Einsatz von Keramik an Praxisbeispielen

- André Hiemann
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich

Die Folien finden Sie ab Seite 32.

Keramische Materialien haben unbestritten einzigartige Eigenschaften. Ihr Einsatz lässt sich alternativ zu anderen darstellen. Aus der Vielzahl von keramischen Materialien muss aber vor allem die geeignete Keramik ausgesucht werden.

Im folgenden Beitrag soll anhand von ausgewählten Beispielen der Vorteil der keramischen Ausführung gegenüber einer nicht keramischen Variante verdeutlicht werden.

Darüber hinaus wird an Hand der Materialeigenschaften darauf eingegangen, weshalb gerade diese Keramik Anwendung findet und keine andere.

Beispiel 1:



Bild 1: Scheibenträger für die Mikroelektronik aus SISIC

Hier handelt es sich um ein 800 mm langes sogenanntes „Waferboat“, das als Träger von Siliciumscheiben (Wafer) bei deren thermischer Behandlung zur Anwendung kommt. Dabei wird eine Scheibe neben der anderen senkrecht in die Profilierung des Waferboats (Bild 1) hineingestellt. Aus den so behandelten Siliciumscheiben werden letztlich hochleistungsfähige Computerchips gefertigt. Auf ihrem Weg zum Computerchip müssen die Scheiben u.a. unterschiedliche Beschichtungsprozesse unter Hochtemperatur durchlaufen. Bei diesen Beschichtungsprozessen lagert sich das Beschichtungsmaterial nicht nur auf den Scheiben sondern auch bedingt durch die Technologie auf dem Waferboat ab.

Und genau dort liegt das Problem, denn diese Schicht löst sich später wegen unterschiedlicher Wärmeausdehnung von Waferboat und Beschichtung unkontrolliert ab und führt zu Verunreinigungen in nachfolgenden Produktionsschritten. Bei der immer höher werdenden Funktionsdichte und der damit verbundenen engen Anordnung der Komponenten auf den Chips wirken diese abgelösten Partikel als Verunreinigung und viele Chips werden unbrauchbar.

Bisher bestanden diese Waferboats aus Quarzglas. Neben den genannten Problemen der unterschiedlichen Wärmeausdehnung kommt noch ein anderes Problem hinzu. Das verwendete Quarzglas wird bei hohen Temperaturen weich und das Waferboat verformt sich aufgrund der Belastung. Dadurch stehen die Siliciumscheiben nicht mehr parallel zueinander und werden auch lokal auf der Oberfläche vom Behandlungsmedium unterschiedlich umströmt.

Das führt dazu, dass nur optimal umströmte Regionen der Scheibe weiterverarbeitet werden können.

Moderne Waferboats bestehen deshalb aus einem modifizierten SISIC.

Diese Material hat den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie die Siliciumscheiben selbst, so dass kein Beschichtungsgut von Ihnen „abblättern“ kann. Darüber hinaus ist es mechanisch stabil, gasdicht und verformt sich nicht bei hohen Temperaturen. Weitere Gründe zur Auswahl von SISIC als Werkstoff, sind seine gute Verarbeitbarkeit, d.h. ohne Schwindung während der Herstellung sowie die Möglichkeit des arteigenen Fügens.

Beispiel 2:



Bild 2: Windsichtrad aus SSIC

Hierbei handelt es sich um ein Bauteil zum Trennen von Grobfraction und Feinfraction von Pulvern nach einem Feinstzerkleinerungsprozess im μm – Bereich.

Zum Klassieren von Pulvern dieser Größenordnung können im Produktionsbetrieb keine Siebe mehr eingesetzt werden, da sich diese aufgrund der engen Maschenweite zusetzen.

Man verwendet hier ein aerodynamisches Trennverfahren. In einer Strahlmühle wird Mahlgut (Hartstoffe) mittels Luft im Überschallbereich gegeneinander beschleunigt und so ohne Einwirkung von Fremdstoffen beim Zusammenprall zerkleinert. Die zerkleinerten Partikel werden mit dem Luftstrom ausgetragen und müssen das um seine eigene Achse mit hoher Geschwindigkeit rotierende Windsichtrad (Bild 2) von außen nach innen passieren. Beim Passieren wirkt eine Zentrifugalkraft auf die Partikel. Ausreichend zerkleinerte Partikel verlassen gemeinsam mit der Luft den Prozess, zu grobe Partikel werden wieder in den Zerkleinerungsprozess zurück befördert.

Über die Drehzahl des Sichtrades und den Volumenstrom der Luft lässt sich die Trenngrenze der Partikel sehr genau festlegen. Zunehmend werden in verschiedenen Industriezweigen höchste Reinheitsanforderungen an zerkleinerte Stoffe gestellt. Aus dem Grund

müssen alle Bauteile, die mit dem Mahlgut in Berührung kommen verschleißfrei oder inert sein.

Metallische Materialien verunreinigen das Mahlgut oder sind als Werkstoff für Sichterräder zu schwer (Hartmetall), kommen dafür also nicht infrage.

Aus diesem Grund werden Windsichträder heute in verschiedenen Größen (\varnothing ca. 50 mm – z.T. 300 mm) aus verschiedenen keramischen Werkstoffen (Aluminiumoxid, Siliciumcarbid oder Siliciumnitrid) eingesetzt. Der eingesetzte keramische Werkstoff wird von dem zu vermahlenden Zerkleinerungsgut bestimmt. Zirkoniumoxid scheidet allerdings wegen seiner hohen Dichte und den damit verbundenen hoher Zentrifugalkräften aus.

Beispiel 3:



Bild 3: Wärmeisolerstein aus CaO-stabilisiertem Zirkoniumoxid

Beim kontinuierlichen Herstellungsprozess von Quarzglas aus hochreinem Quarzsand werden Temperaturen von über 2.000°C erreicht. Um diese Temperaturen zur Ofenaußenwand hin zuverlässig über eine kurze Strecke abzubauen, werden u.a. Isoliersteine (Bild 3) aus keramischen Materialien eingesetzt. Diese Steine befinden sich an sehr

exponierten Stelle, sie kommen direkt mit dem heißen Schmelzgut in Kontakt.

Die Steine werden im Nut-Feder-Prinzip verbaut und können so die Wärmeausdehnung vom Kaltzustand bis zur Betriebstemperatur kompensieren. Derartige Öfen müssen ca. 3 Jahre kontinuierlich arbeiten und werden erst dann zur Revision abgeschaltet. Ein früheres Herunterfahren hätte zur Folge, dass sehr teure Edelmetalle (die unter diesen Bedingungen nur einmal einsetzbar sind) frühzeitig ausgetauscht werden müssten. Dem Anwender würde so ein enormer finanzieller Schaden entstehen.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Steine zuverlässig über diese Periode und darüber hinaus eingesetzt werden können.

Für dieses Zirkoniumoxid spricht die bei weitem niedrigste Wärmeleitfähigkeit und höchste Anwendungstemperatur unter den industriell hergestellten technische Keramiken. Außerdem werden sie vom Schmelzgut nicht benetzt. Die Steine kommen in unterschiedlicher Form und Größe zum Einsatz

Beispiel 4:

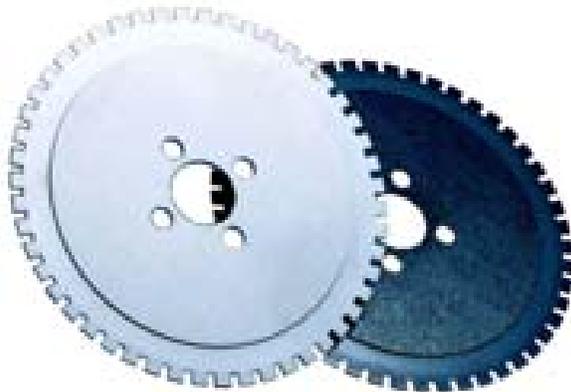


Bild 4: Messräder aus Zirkoniumoxid und Siliciumnitrid
(Durchmesser etwa 80mm)

Zur qualitativen Kontrolle von Widerständen mit keramischem Trägerkörper werden Messräder (Bild 4) verwendet. Diese nehmen in den Aussparungen die zu kontrollierenden Bauteile auf und takten mit 1.000 min^{-1} um ihre Achse. Die Widerstände werden so auf ihrer „Umlaufbahn“ photooptisch ausgewertet oder in einer anderen Modifikation der Räder auf elektrische Durchschlagfestigkeit geprüft.

Zur genauen Positionierung der Bauteile im Messrad werden sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Messräder in Hinblick auf Rundlauf, Planparallelität und Toleranz der Aussparungen gestellt.

Besonders beansprucht werden die Außenkanten der Messräder, da diese direkten Kontakt mit der Keramik der Widerstände haben. Wird dort eine bestimmte Verschleißmarke erreicht so, müssen die Räder ausgetauscht werden, weil sonst die Positionierung nicht mehr stimmen würde.

Bisher wurden Messräder aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) eingesetzt. Die Standzeit des Materials betrug ca. 3 - 4 Wochen. Der Preis lag bei ca. 30 \$ je Stück.

Messräder aus Zirkoniumoxid und Siliciumnitrid haben sich hierfür durchgesetzt. Beide keramische Materialien sind verschleißbeständig, haben hervorragende elektrisch isolierende Eigenschaften und haben als wichtigstes Kriterium vor allem auch bei dünnen Wandstärken mechanische Stabilität an den Kanten.

Es werden beide Materialien benötigt, da die photooptische Auswertung je nach Farbe der Widerstände einen Kontrast zum Messrad notwendig macht. Zirkoniumoxid hat eine weiße Farbe, Siliciumnitrid dagegen eine dunkle Farbe.

Die Standzeit der keramischen Varianten liegt bei 4-5 Jahren. Beim Verhältnis von Preis und Standzeit ist die keramische Variante deutlich im Vorteil.

Beispiel 5:

Bei thermischen Prozessen ist es mitunter notwendig, offene Flammen zu vermeiden, da deren Abgase das Endergebnis negativ beeinflussen.

Deshalb nutzt man indirekte Beheizungen, bei der ein zum Ofenraum hin geschlossenes Rohr innen durch eine Flamme aufgeheizt wird und seine Wärme nach außen zum Ofen hin abgibt. Diese Rohre heizen

zyklisch und selten kontinuierlich, um die gewünschte Betriebstemperatur nicht zu überschreiten. Mit diesen Rohren wird ebenfalls gezielt Kaltluft eingeblasen um z.B. Temperaturrampen zu fahren oder den Ofen schnell abzukühlen.

Derartige Rohre kommen in unterschiedlichen Formen zum Einsatz. Eine dieser Formen ist ein U-förmiges Rohr, wobei die Seite mit dem Bogen in den Ofenraum hinein ragt.



Bild 5: U-Bogen aus SISIC für eine Brennkammer

Das in Bild 5 dargestellte Teil stellt den in der Regel am höchsten thermisch belasteten Umkehrpunkt dar. An den offenen Enden sind Rohre mit der entsprechenden Dimension angeschlossen, welche die Brennkammer komplettieren

Zur Zeit sind sowohl metallische als auch keramische Varianten am Markt anzutreffen, wobei die keramischen Varianten aufgrund ihrer überragenden Vorteile stark an Marktvolumen zunehmen.

Metallische Bauteile (hitzebeständiger Stahl) neigt stark zur Zunderbildung und verliert so an Wirkungsgrad. Außerdem kommen Metalle bei Temperaturen über 1.000°C an ihre Kriechgrenze und verformen sich. Beides führt dazu, dass regelmäßige Wartungsarbeiten durchgeführt werden müssen und Kosten entstehen.

Brennerbauteile aus Keramik haben aufgrund ihrer Eigenschaften also enorme Vorteile. Aus der großen Palette der zur Verfügung stehenden keramischen Werkstoffen wurde SISIC gewählt, da es folgende Eigenschaften aufweist:

- hohe mechanische Festigkeit bei Temperaturen bis 1.380°C (kein Verformen bei hohen Betriebstemperaturen)
- sehr hohe Wärmeleitfähigkeit (guter Wärmeübergang zum Ofen)
- hohe Temperaturwechselbeständigkeit (zyklisches Fahren von Temperaturrampen und Kühlen zulässig)
- keine Volumenschwindung bei der Herstellung und demzufolge niedrige innere Spannungen
- arteigenes Fügen ist möglich, da auch die anschließenden Rohre aus SISIC gasdicht verbunden werden müssen

Beispiel 6:



Bild 6: Führungsrolle aus SSIC und SSN

Diese Bauteile (Durchmesser ca. 40 mm) werden zum Herstellen von metallischen Seilen eingesetzt. Eine Vielzahl dieser Rollen sind in einem Gerüst gelagert, das sich um seine eigene Achse dreht. Die metallischen Litzen, die letztlich das Seil ergeben, werden einzeln über

die Rollen geführt. Sowohl das Gerüst in sich als auch jede einzelne Rolle rotieren mit sehr hoher Geschwindigkeit.

Die Litzen sind in der Regel beschichtet, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. Diese Beschichtung kann auf die Rollen sehr abrasiv wirken oder im anderen Fall Ablagerungen auf den Rollen verursachen. Ablagerungen wiederum können dazu führen, dass die Litze aus der Rolle springt und den Fertigungsprozess unterbricht.

Die zur Verwendung kommenden Rollenmaterialien müssen demzufolge

- eine geringe Dichte aufweisen, um im rotierenden Gerüst geringe Zentrifugalkräfte zu verursachen,
- verschleißbeständig sein und
- keine Ablagerungen durch die beschichteten Litzen zulassen.

Als keramische Materialien haben sich im Test SSIC und SSN durchgesetzt. Beide Materialien besitzen eine geringe Dichte und sind verschleißbeständig. Bei der Verarbeitung von Litzen, deren Beschichtung deutlich zu Ablagerungen führen, kommen bevorzugt SSN-Rollen zum Einsatz. Zirkoniumoxid wäre ebenfalls geeignet, hat aber eine zu hohe Dichte.

Beispiel 7:



Bild 7: Dreiwegeventil aus SISIC

Über diese Dreiveeventile (Bild 7) werden hochabrasive Medien dosiert.

Bei dieser Anwendung arbeiten zwei dieser Ventile (Länge ca. 150 mm) parallel nebeneinander. In einem wird der Klebstoff eines Zweikomponentenklebers und Wasser dosiert, im anderen der Binder des Klebers und Zement. Die beiden Volumenströme werden vermischt in ein Bohrloch eingebracht und dienen zur Arretierung von hochbelasteten Stahllankern.

Allein aus Verschleißsicht bietet sich als geeigneter Werkstoff SiC an, also Keramik. Jede andere Werkstoffgruppe scheidet hier aus.

Die Konstruktion der Ventile weist starke Wandstärkenunterschiede auf, sie ist damit zunächst nicht keramikgerecht. Bekanntlich schwindet Keramik bei der Herstellung und induziert bei solch unterschiedlichen Wandstärken Eigenspannungen, die spätestens beim Einsatz zum Versagen des Bauteils führen.

Deshalb wird hier die Variante SISIC gewählt. Diese weist dann bei der Herstellung keine Schwindung und damit keine Eigenspannungen auf. Die Verschleißbeständigkeit ist über einen langen Zeitraum gewährleistet, obwohl das Silicium (die weiche Phase im SISIC) in der Randzone bis zu einer Tiefe von ca. 0,2 mm ausgewaschen wird.

Bildverzeichnis:

- Bild 2, 4, 6 und 7: H.C.Starck Ceramics GmbH & Co. KG, Selb

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 13) finden sich auf den folgenden Seiten.

Übersicht

Einsatz von Technischer Keramik an unterschiedlichen Praxisbeispielen

André Hiemann
Schunk Ingenieurkeramik GmbH
Willich-Münchheide



Eigenschaften technischer Keramik

max. Anw.-temp. (°C)	TWB	K_{1c} "Zähigkeit" (MPa·m ^{1/2})	Dehnbarkeit durch NE-Metalle	Bruchdehnigkeit (MPa)	Schwindung (%)
1700	-	4	**	300	>15
1800	*	3	*	400	>15
1300	+++	3,3	+++	300	ca. 0
800-2300	-	>10	**	800	>15
1400	+++	3	-	600	>15

Härte	Dichte (g/cm ³)	Wärmeleitfähigkeit (10 ³ W/mK)	elektr. Widerstand (Ohm·cm)	Wärmeleitfähigkeit bei RT (W/mK)	chem. Best.
11	4	0	<10 ¹²	25	+++
20	3	4	<10 ¹²	100	+++
26	3	4	<10 ¹²	110	+
14	6	>10	<10 ¹²	2	**
11	3	3	<10 ¹²	32	+

* 99,7% Aluminiumoxid (Al₂O₃)



2.1 Folie 3

Scheibenträger aus SiC für die Mikroelektronik



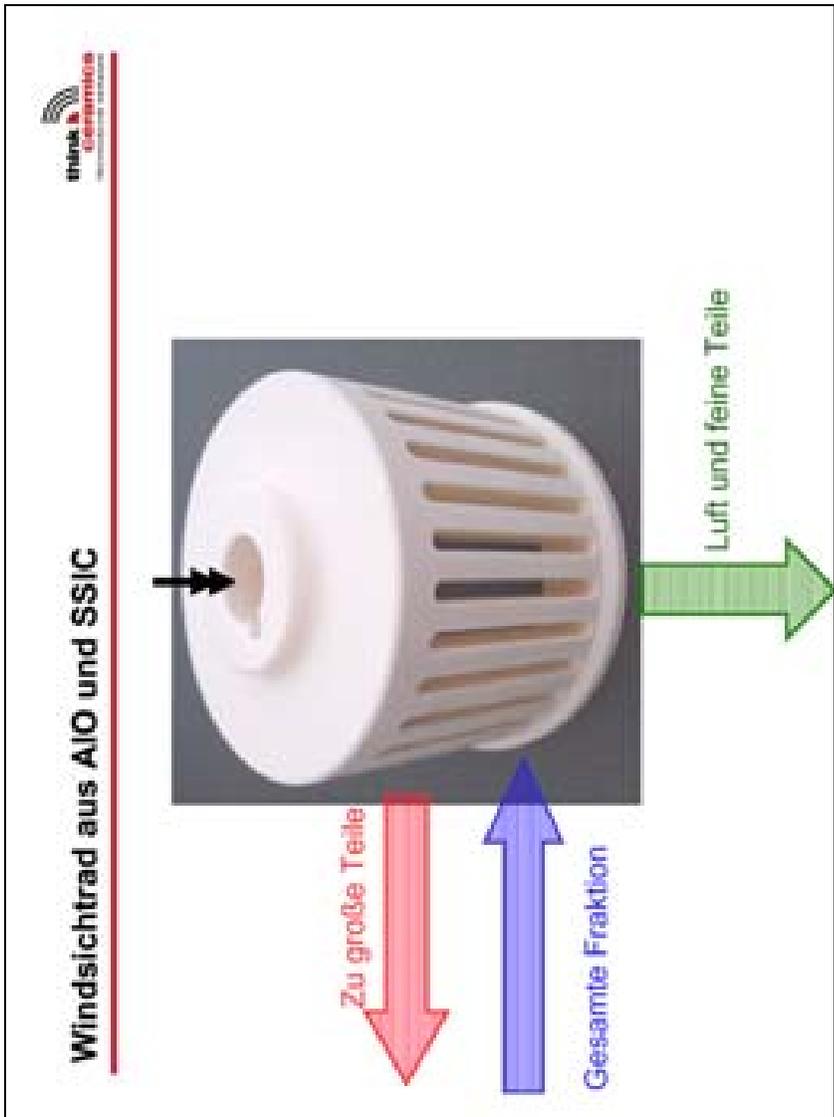
	Schwindung (%)	Wärmeausdehnung ($10^{-6}/K$)	TWB
AlO	>15	8	-
SSiC	>15	4	+
SiC	ca. 0	4	+++
Zirkoniumoxid	>15	>10	-
SSN	>15	3	+++



Windsichtrad aus AlO und SSIC



2.1 Folie 5



2.1 Folie 6

Windsichtrad aus AIO und SSIC



	Härte	Dichte (g/cm ³)
AIO	15	4
SSIC	28	3
SISIC	20	3
Zirkoniumoxid	14	6
SSN	15	3

Wärmeisolerstein aus Zirkoniumoxid



	max. Anwendungstemp. temperatur (°C)	Wärmeleitfähigkeit bei RT (W/mK)
AlO	1700	25
SiC	1800	100
SiC	1380	110
Zirkoniumoxid	2200	2

Meßräder aus SSN und Zirkoniumoxid



- Durchmesser ca. 60mm
- Wandstärke am Rand 0,5mm
- Toleranz für Rundlauf, Parallelität der Verzahnung und Verzahnungsmaß 0,05mm

Meßräder aus SSN und Zirkoniumoxid



	K _{1c} "Zähigkeit" (MPa.m ^{1/2})	elektr. Widerstand (Ohm.cm)
AIO	4	<10 ¹⁴
SSIC	3	<10 ⁹
SISIC	3,5	<10 ²
Zirkoniumoxid	>10	<10 ⁸
SSN	5	<10 ¹⁰

U-Bogen aus SISIC für eine Brennkammer



	TWB	Wärmeleitfähigkeit bei RT (W/mK)	Schwindung (%)	Biegebruchfestigkeit (MPa)
AIO	-	25	>15	300
SSIC	+	100	>15	400
SISIC	+++	110	ca. 0	300
Zirkoniumoxid	-	2	>15	800
SSN	+++	32	>15	650

Umlenkrolle aus SSN oder SSIC



	Härte		Benetzbarkeit durch NE-Metalle	Dichte (g/cm ³)
AIO	15		++	4
SSIC	28		+	3
SISIC	20		+++	3
Zirkoniumoxid	14		+	6
SSN	15		-	3

Dreiwegeventil aus SISIC



	Schwindung (%)	Härte
Al ₂ O ₃	>15	15
SSiC	>15	28
SISIC	ca. 0	20
Zirkoniumoxid	>15	14
SSN	>15	15