



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 011 337 A1** 2008.09.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 011 337.6**

(22) Anmeldetag: **06.03.2007**

(43) Offenlegungstag: **11.09.2008**

(51) Int Cl.⁸: **A61K 6/06** (2006.01)
C04B 35/48 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V.,
07629 Hermsdorf, DE**

(74) Vertreter:

Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743 Jena

(72) Erfinder:

**Johannes, Martina, 07629 Hermsdorf, DE; Ehrh,
Roland, Dr., 07747 Jena, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE10 2004 013455 B3

DE 44 43 173 A1

DE 35 37 561 A1

DE 30 15 529 A1

GB 10 76 603 A

US 61 19 483 A

US 60 22 819 A

US 36 79 464 A

EP 14 22 210 A1

EP 06 95 726 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verblendkeramik für dentale Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid und Verfahren zur Verblendung von dentalen Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Verblendkeramiken für dentale Restaurationen von Gerüstkeramiken aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit für eine transluzente Verblendkeramik mit hoher Biegebruchfestigkeit zu schaffen, wobei die Verblendkeramik ferner eine sehr gute Haftung zur Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid aufweisen soll.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Verblendkeramik von aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid hergestellten dentalen Restaurationen dadurch gelöst, dass sie aus den folgenden Komponenten hergestellt wird:

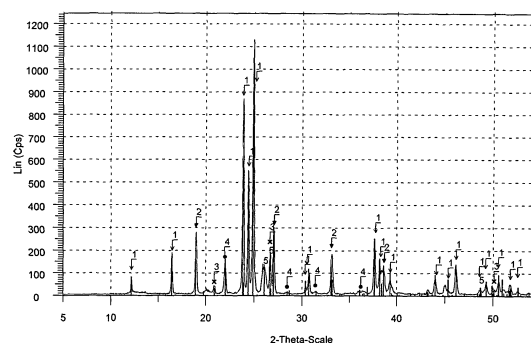
a) SiO_2 58,0-74,0 Gew.-%

b) Al_2O_3 4,0-19,0 Gew.-%

c) Li_2O 5,0-17,0 Gew.-%

d) Na_2O 4,0-12,0 Gew.-%

e) ZrO_2 0,5-6,0 Gew.-%.



Beschreibung

[0001] Verblendkeramik für dentale Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid und Verfahren zur Verblendung von dentalen Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid.

[0002] Die Erfindung betrifft Verblendkeramiken für dentale Restaurationen, wobei die Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid besteht.

[0003] Yttriumstabilisiertes Zirkoniumdioxid ist ein Hochleistungswerkstoff mit extrem hoher Festigkeit, der in der restaurativen Zahnmedizin in wachsendem Maße für Gerüstkeramiken für Kronen, Inlays sowie Brücken zum Einsatz kommt. Die Feinanpassung an die Vielfalt der natürlichen Zähne erfordert die Anwendung von Verblendkeramiken. In der Belastbarkeit der restaurierten Zähne bildeten bisher die Verblendkeramiken eine Schwachstelle.

[0004] Verblendkeramiken sollten eine gute Modellierung ermöglichen, in der Farbgestaltung den benachbarten Zähnen angepasst sein, eine hohe chemische Beständigkeit aufweisen, nach einer gezielten Temperaturbehandlung selbst über eine hohe Biegebruchfestigkeit verfügen und sich durch eine intensive Haftung mit der Gerüstkeramik auszeichnen.

[0005] Als Ausgangsstoffe bei der Herstellung der Verblendkeramiken kommen in der Regel Pulver bzw. Pasten zur Anwendung. Die Eigenschaften der Verblendkeramik werden sowohl von den chemischen und kristallographischen Merkmalen als auch der Körnung der Ausgangsmaterialien bestimmt.

[0006] Leucithaltige Dentalkeramiken werden entsprechend Patent US 4,798,536 A über die Glasschmelze gefertigt. Der Leucitgehalt liegt im Bereich von 35 bis 60 Gew%. Der hohe Ausdehnungskoeffizient der leucithaltigen Dentalkeramik von $13 \text{ bis } 15 \times 10^{-6}/\text{K}$ wird für das Verblenden von Metallkronen genutzt. Die Biegebruchfestigkeit der Verblendkeramik mit Leucitkristallen liegt bei 80 MPa.

[0007] Im Patent US 4,189,325 A wird für den restaurativen Zahnersatz die Nutzung von Lithiumdisilicat vorgeschlagen. Dabei wird sich auf das Stoffsystem $\text{Li}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ konzentriert. Zur Unterstützung der Kristallisation werden die Keimbildner Nb_2O_5 und Pt zugesetzt.

[0008] Mit dem Patent US 4,515,634 A wird vorgeschlagen, im Grundsystem $\text{Li}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ zur Verbesserung der Keimbildung und Kristallisation den Keimbildner P_2O_5 zuzusetzen.

[0009] Die Offenlegungsschrift DE 197 50 794 A1 beschreibt den Einsatz von Lithiumdisilicat-Glaskeramiken für die Nutzung im Heißpressverfahren. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei der Anwendung dieses Verfahrens die Kantenfestigkeit am restaurierten Zahn nicht ausreichend ist und bei der Nachbearbeitung ein hoher Werkzeugverschleiß eintritt.

[0010] Mit der DE 103 36 913 A1 wird vorgeschlagen, den zu restaurierenden Zahn in zwei Stufen zu fertigen. In der ersten Stufe wird Lithiummetasilicat zur Kristallisation gebracht, das durch maschinelle Verarbeitung zu dentalen Produkten verarbeitet wird. Mit einer zweiten Temperaturbehandlung wird das Lithiummetasilicat in das festere Lithiumdisilicat überführt. Damit besteht der gesamte restaurierte Zahn aus Glaskeramik mit Lithiumdisilicatkristallen.

[0011] In der Patentschrift DE 196 47 739 C2 wird eine sinterbare Lithiumdisilicat-Glaskeramik sowie Glas beschrieben. Das Ausgangsmaterial wird zu Rohlingen gesintert. Diese Rohlinge werden bei 700°C bis 1200°C zu dentalen Produkten gepresst. Bei der plastischen Verformung weist die beschriebene Lithiumdisilicat-Glaskeramik nur eine geringe Reaktion mit der benachbarten Einbettmasse auf.

[0012] Auf der Grundlage von yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid wird in der EP 1 235 532 A1 ein Verfahren zur Herstellung von hochfestem keramischem Zahnersatz beschrieben. Die nach diesem Verfahren gefertigten Gerüstkeramiken weisen 4-Punkt Biegebruchfestigkeiten von größer 1200 MPa auf.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit für eine transluzente Verblendkeramik mit hoher Biegebruchfestigkeit zu schaffen, wobei die Verblendkeramik ferner eine sehr gute Haftung zur Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid aufweisen soll.

[0014] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Verblendkeramik von aus yttriumstabilisiertem Zirkon-

niumdioxid hergestellten dentalen Restaurationen dadurch gelöst, dass sie durch die folgenden Komponenten hergestellt wird:

a)	SiO ₂	58,0–74,0 Gew. %
b)	Al ₂ O ₃	4,0–19,0 Gew. %
c)	Li ₂ O	5,0–17,0 Gew. %
d)	Na ₂ O	4,0–12,0 Gew. %
e)	ZrO ₂	0,5–6,0 Gew. %

[0015] Von Vorteil kann es sein, wenn neben dem Keimbildner ZrO₂ ein weiterer Keimbildner, z. B. TiO₂ in den Grenzen von 0,2 bis 8,0 Gew. % beigefügt wird.

[0016] Die Verblendkeramik kommt als gepulvertes Ausgangsglas mit kristallinen Zusätzen bzw. ohne gesonderte kristalline Zusätze zur Anwendung und wird mittels definiertem Temperaturprogramm im Bereich zwischen 800 und 940°C auf dentale Produkte aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid aufgesintert und kontrolliert kristallisiert.

[0017] Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass mit spezifischen Glaskeramiken und einem definierten Temperaturprogramm eine sehr hohe Haftfestigkeit auf dentalen Produkten aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid erreicht wird. Die Verblendkeramik ist dabei transluzent und hat eine sehr gute chemische Beständigkeit. Die Hauptkristallphase der Glaskeramik besteht aus Lithiumdisilicat.

[0018] Als Ausgangsprodukt kann die Verblendkeramik außer den gepulverten Ausgangsgläsern der Glaskeramik auch gepulverte Kristalle enthalten. Über eine definierte Temperaturbehandlung durchläuft die gepulverte Verblendkeramik die Prozesse Keimbildung, Sintern und Verschmelzen mit dem yttriumstabilisierten Zirkoniumdioxid sowie Kristallisation unter Bildung von Mikrokristallen.

[0019] Es ist ebenfalls bevorzugt, dass den Ausgangsgläsern gepulvertes Lithiumdisilicat zugesetzt wird. Das Lithiumdisilicat kann über eine Festkörperreaktion hergestellt werden.

[0020] Die Zugabe von TiO₂ unterstützt den Prozess der Keimbildung sowie der Kristallisation von Lithiumdisilicat. Die Verblendkeramik wird dann vorteilhafterweise aus einer Mischung gebildet, die die folgenden Komponenten enthält:

a)	SiO ₂	58,0–72,0 Gew. %
b)	Al ₂ O ₃	4,0–18,0 Gew. %
c)	Li ₂ O	5,0–17,0 Gew. %
d)	Na ₂ O	4,0–11,0 Gew. %
e)	ZrO ₂	0,5–5,5 Gew. %
f)	TiO ₂	0,2–8,0 Gew. %

[0021] Für die gesteuerte Kristallisation der Verblendkeramik auf Basis von Lithiumsilicatmaterialien kommt als Keimbildner Zirkoniumdioxid bzw. ein Gemisch aus Zirkoniumdioxid und Titandioxid zum Einsatz. Die Zugabe von Titandioxid begünstigt die Umwandlung von Lithiummetasilicat in Lithiumdisilicat.

[0022] Die Verblendkeramik ist ebenfalls bevorzugt, wenn neben Lithiumdisilicat auch Lithium Titanium Oxid Silicat Li₂TiOSiO₄, Lithiumalumosilicat (β-Spodumen) sowie geringere Mengen Lithiummetasilicat aufkristallisieren.

[0023] Die Verblendkeramik kann auch so gestaltet sein, dass der kristalline Anteil unter 40% liegt. Dabei wird die Verblendkeramik dünn aufgetragen. In diesem Fall dient die Verblendkeramik der Farbanpassung und verleiht der dentalen Gerüstkeramik einen besonderen ästhetischen Glanz. Durch gezielte Druckspannungen kann die Festigkeit der Verblendkeramik weiter erhöht werden.

[0024] Als färbende bzw. fluoreszierende Zusätze können die Oxide der Elemente Ce, Fe, Mn, Sn, V, Cr, In sowie der Seltenen Erden Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy und Er zum Einsatz kommen.

[0025] Zur Modifizierung der Technologie können unabhängig voneinander die Zusätze La₂O₃, B₂O₃, P₂O₅, CaO, MgO, ZnO und Fluorid zugegeben werden, wobei die Konzentration maximal im Bereich bis zu 4,0 Gew. % liegt.

[0026] Für die Herstellung der Verblendkeramik erfolgt die Keimbildung im Temperaturbereich von 500 bis 680°C und das Verschmelzen und Kristallisieren im Temperaturbereich von 800 bis 940°C. Der Keimbildungs- und Kristallisationsprozess kann unterbrochen werden, indem die Verblendkeramik zwischen Keimbildung und Kristallisation auf Zimmertemperatur abgekühlt, gelagert und danach auf die Kristallisationstemperatur erhitzt wird.

[0027] Die Bestimmung der Haftfestigkeit zwischen dem yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid und der Verblendkeramik erfolgt im Biegeversuch. Dazu wird die gepulverte Verblendkeramik auf die Stirnfläche von zwei Rundstäben aus Zirkoniumdioxid aufgebracht und der definierten Temperaturbehandlung unterzogen. Die Bestimmung der Haftfestigkeit erfolgt im Dreipunktbiegeversuch.

[0028] Bevorzugt werden Verblendkeramiken, deren Haftfestigkeit zum Zirkoniumdioxid mindestens 150 MPa beträgt.

[0029] Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

[0030] [Fig. 1](#) Röntgendiffraktogramm (XRD) nach der Festkörperreaktion von Lithiumoxid und Siliziumdioxid (vier Stunden bei 940°C),

[0031] [Fig. 2](#) einen typischen Temperaturverlauf zur Herstellung der Verblendkeramik und

[0032] [Fig. 3](#) XRD einer erfindungsgemäßen Verblendkeramik.

[0033] Als Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Verblendkeramiken sind in der Tabelle 1 zwölf Synthesen ausgewiesen.

Bei- spie- le	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	71,0	71,1	62,0	70,5	69,7	61,2	70,5	70,5	69,6	69,6	58,9	60,5
Al ₂ O ₃	9,0	4,9	17,9	8,9	4,8	17,7	4,9	8,9	8,8	8,8	17,0	17,5
Li ₂ O	12,6	14,9	5,3	12,5	14,6	5,2	14,8	12,5	12,4	12,4	5,0	5,2
Na ₂ O	5,4	3,0	10,9	5,4	2,9	10,8	3,0	5,4	5,3	5,3	10,4	10,5
TiO ₂		5,0			4,9	1,2	5,0				5,0	2,5
ZrO ₂	2,0	1,1	3,9	2,0	1,1	3,9	1,1	2,0	2,0	2,0	3,7	3,8
CaF ₂				0,7			0,7					
CaO					0,6							
MgF ₂								0,7				
BaF ₂										1,9		
BaO									1,1			
P ₂ O ₅					1,4				0,8			
Sum- me	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabelle 1

[0034] Die Ausgangsgläser wurden in Platin bzw. Platin-Rhodium-Tiegeln bei einer Temperatur von 1530°C geschmolzen und zur Herstellung einer Fritte in Wasser gegossen ([Fig. 2](#)).

[0035] Zur Unterstützung der gesteuerten Kristallisation werden die gefrittetten Ausgangsgläser ca. vier Stunden bei 580 ± 100°C getempert und nach dem Abkühlen pulverisiert. Die zum Einsatz gebrachte Korngröße

liegt im Bereich von 0,6 µm bis 20 µm.

[0036] Den Ausgangsgläsern kann gepulvertes Lithiumdisilicat zugesetzt werden. Dabei wird das Lithiumdisilicat über eine Festkörperreaktion hergestellt.

[0037] [Fig. 1](#) zeigt das Röntgendiffraktogramm (XRD) des über die Festkörperreaktion hergestellten Lithiumdisilicates.

[0038] Die angefeuchteten Ausgangsmaterialien werden als Verblendkeramik auf die dentale Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid aufgetragen und bei $890 \pm 50^\circ\text{C}$ verschmolzen und gesteuert kristallisiert.

[0039] In [Fig. 2](#) ist der typische Temperaturverlauf während des Herstellungsprozesses der Verblendkeramik dargestellt.

[0040] Alle zwölf Beispiele der in Tabelle 1 ausgewiesenen Verblendkeramiken sind transluzent.

[0041] Sowohl die optische Wirkung als auch die mechanische Widerstandskraft der Verblendkeramik werden sowohl durch das Gefüge der Verblendkeramik als auch von der Wechselwirkung von Verblendkeramik und Gerüstkeramik beeinflusst.

[0042] Der Ausdehnungskoeffizient (α) von der Verblendkeramik und der Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid (TZ3Y) muss aufeinander abgestimmt sein.

[0043] Ausgehend von Beispielen der Tabelle 1 werden in der Tabelle 2 die Ausdehnungskoeffizienten (α) der Verblendkeramiken dokumentiert und mit yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid verglichen.

Beispiele	1	2	3	6	11	ZrO ₂
$\alpha_{50-300^\circ\text{C}} \times 10^{-6}/\text{K}$	8,9	8,7	8,9	8,9	8,7	9,6
$\alpha_{50-500^\circ\text{C}} \times 10^{-6}/\text{K}$	9,8	9,8	9,8	9,6	9,3	9,8

Tabelle 2

[0044] Die Haftfestigkeit zwischen Gerüstkeramik aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid und der Verblendkeramik wurde im Dreipunkt-Biegeversuch bestimmt. Dazu wurde das Pulver der Verblendkeramik zwischen zwei zylindrische Probenkörper aus Zirkoniumdioxid aufgebracht und einer Temperaturbehandlung entsprechend [Fig. 2](#) unterzogen.

[0045] Für ausgewählte Proben ist in Tabelle 3 die Haftfestigkeit ausgewiesen, wobei σ = Haftfestigkeit in MPa nach Dreipunktbiegeversuch und m = Weibull Parameter sind.

Beispiele	1	2	3	12
σ MPa	162,1	183,1	173,4	172,4
m	7,6	13,2	3,5	4,4

Tabelle 3

[0046] Bei den erfindungsgemäßen Verblendkeramiken mit hoher Haftfestigkeit sind in Abhängigkeit von der Zusammensetzung und der Temperaturbehandlung unterschiedliche Keimbildungs- und Kristallisationsabläufe möglich.

[0047] Bezogen auf Tabelle 1 und einer Temperatur von $890 \pm 50^\circ\text{C}$ kristallisieren die Beispiele der Verblendkeramiken 1, 4, 8, 9 und 10 zu den Kristallphasen Lithiumsilicat und Zirkoniumdioxid. Dabei dient das Zirkoni-

umdioxid als Keimbildner. Die Kristallisation des Lithiumsilicates erfolgt in zwei zeitlichen Etappen. Zuerst bildet sich Lithiummetasilicat Li_2SiO_3 und durch die anschließende Reaktion mit der umgebenden Silicatphase wandelt sich Lithiummetasilicat in Lithiumdisilicat $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ um.

[0048] Bezogen auf Tabelle 1 und einer Temperatur von $890 \pm 50^\circ\text{C}$ kristallisieren die Beispiele der Verblendkeramiken 2, 5 und 7 zu den Kristallphasen Lithiumdisilicat, β -Spodumen, Lithium Titanium Oxide Silicate $\text{Li}_2(\text{TiO})(\text{SiO}_4)$ und Lithiummetasilicat. Durch den Zusatz von Titandioxid wird die Kristallisation von Lithiumdisilicat $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ beschleunigt. In [Fig. 3](#) wird die XRD-Aufnahme ausgewiesen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 4798536 A [\[0006\]](#)
- US 4189325 A [\[0007\]](#)
- US 4515634 A [\[0008\]](#)
- DE 19750794 A1 [\[0009\]](#)
- DE 10336913 A1 [\[0010\]](#)
- DE 19647739 C2 [\[0011\]](#)
- EP 1235532 A1 [\[0012\]](#)

Patentansprüche

1. Verblendkeramik für dentale Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie die folgenden Komponenten enthält:

a)	SiO ₂	58,0–74,0 Gew. %
b)	Al ₂ O ₃	4,0–19,0 Gew. %
c)	Li ₂ O	5,0–17,0 Gew. %
d)	Na ₂ O	4,0–12,0 Gew. %
e)	ZrO ₂	0,5–6,0 Gew. %

2. Verblendkeramik für dentale Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid, dadurch gekennzeichnet, dass sie die folgenden Komponenten enthält:

a)	SiO ₂	58,0–72,0 Gew. %
b)	Al ₂ O ₃	4,0–18,0 Gew. %
c)	Li ₂ O	5,0–17,0 Gew. %
d)	Na ₂ O	4,0–11,0 Gew. %
e)	ZrO ₂	0,5–5,5 Gew. %
f)	TiO ₂	0,2–8,0 Gew. %

3. Verblendkeramik nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die folgenden Komponenten zusätzlich enthalten sind:

a)	La ₂ O ₃	1,0–4,0 Gew. %
b)	B ₂ O ₃	0,0–2,0 Gew. %
c)	MgO	0,0–2,0 Gew. %
d)	CaO	0,0–2,0 Gew. %
e)	ZnO	0,0–2,0 Gew. %
f)	BaO	0,0–1,0 Gew. %
g)	P ₂ O ₅	0,0–2,0 Gew. %
h)	Fluorid	0,0–3,0 Gew. %

4. Verblendkeramik nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Oxide der färbenden bzw. fluoreszierenden Zusätze von den Elementen Ce, Fe, Mn, Sn, V, Cr, In sowie der Seltenen Erden Pr, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy und Er einzeln oder in Kombination enthalten sind.

5. Verblendkeramik nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Unterdrückung der Kristallisation von Hochquarzmischkristallen weitere Alkalioxide, bevorzugt Natriumoxid, enthalten sind.

6. Verfahren zur Verblendung von dentalen Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid mit einer Verblendkeramik nach Anspruch 1 oder 2 gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

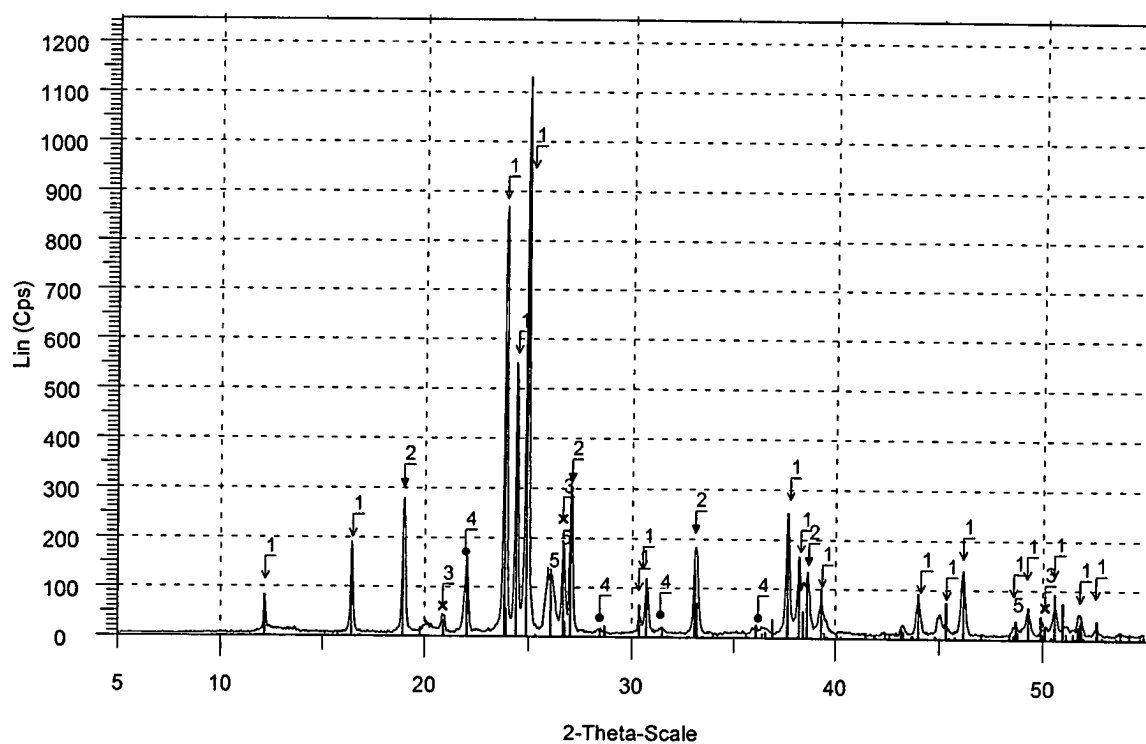
- ein bei 1530°C erschmolzenes Glas wird in Wasser gefrittet,
- das gefrittete Glas wird zur Keimbildung bei einer Temperatur von 500°C bis 680°C und einem Zeitraum von zwei bis sechs Stunden getempert,
- nach dem Abkühlen wird das getemperte Glas mechanisch pulverisiert,
- unter Hinzufügen von Wasser wird das vorbehandelte Pulver in eine Paste überführt,
- die Paste wird auf die Restaurationen aus yttriumstabilisiertem Zirkoniumdioxid aufgetragen und abschließend
- einer Temperaturbehandlung von 800°C bis 940°C unterzogen, wobei in der Verblendkeramik als Hauptkristallphase Lithiumdisilicat auskristallisiert.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass neben Lithiumdisilicat auch Lithiumalumosilicat sowie Lithium Titanium Oxid Silicat Li₂TiOSiO₄ auskristallisieren.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass dem gefritzten Glas ein kristalliner Zusatz aus gepulvertem Lithiumdisilicat, welches über eine Festkörperreaktion hergestellt wurde, zugefügt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



- 1 Lithiumdisilicat $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
 → 2 Lithiummetasilicat Li_2SiO_3
 x 3 Christobalit SiO_2
 —● 4 Tiefquarz SiO_2
 5 Keatit SiO_2

Fig. 1

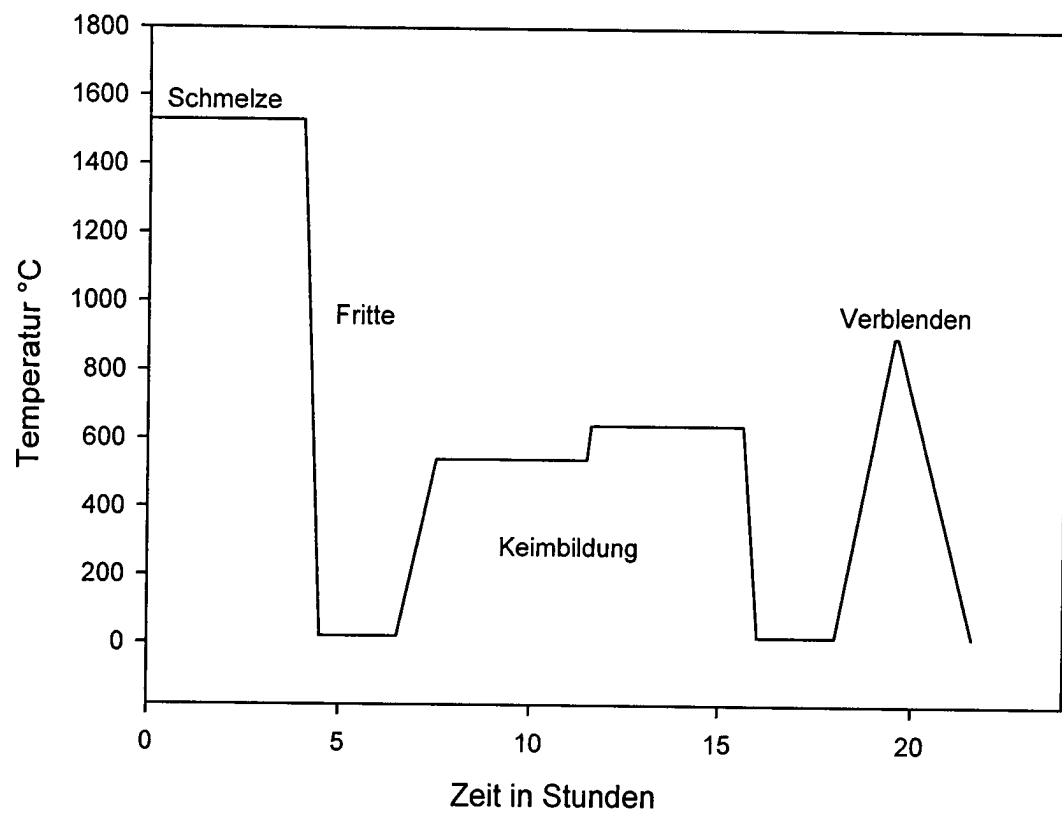
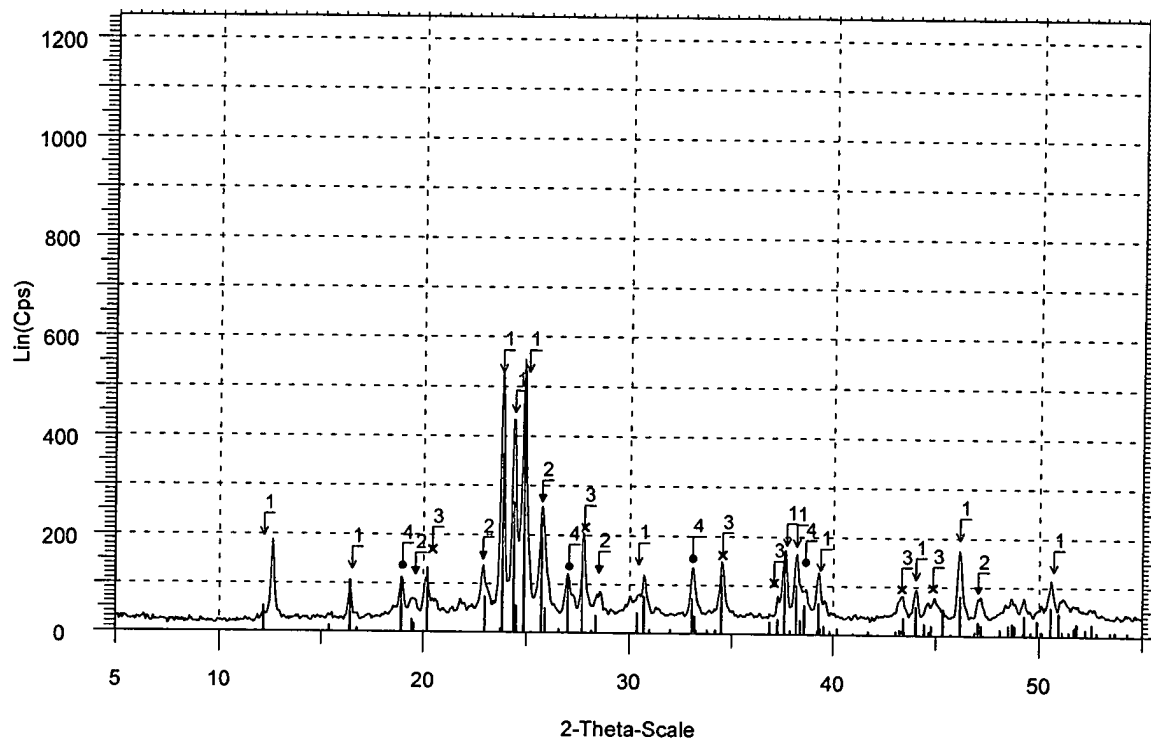


Fig. 2



- 1 Lithiumdisilicat $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$
- ➔ 2 β -Lithium-Aluminium -Silicat $\text{Li}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 4 \text{SiO}_2$
- x 3 Lithium Titanium Oxid Silicat $\text{Li}_2(\text{TiO})(\text{SiO}_4)$
- 4 Lithiummetasilicat Li_2SiO_3

Fig. 3