

Projektplan

OptiCer: Optimierte Herstellungsverfahren von hochtransparenten und mechanisch höchst beanspruchbaren Keramiken (01IF24661N)

Motivation (und wirtschaftlicher Nutzen)

Transparente polykristalline Keramiken kommen in technischen Bereichen zur Anwendung, die nicht nur optische Transparenz, sondern auch spezifische funktionale Eigenschaften wie z. B. hohe mechanische Belastbarkeit und thermo-mechanische Stabilität erfordern. Im Vergleich zu konventionellen optisch transparenten Materialien wie Glas, Glaskeramik und Polymeren sind transparente Keramiken im Allgemeinen härter, starrer und widerstandsfähiger gegen thermische Veränderungen, Korrosion und können auch bei extremen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Des Weiteren zeigen konventionelle transparente Materialien meist starke Absorption im IR-Bereich. Daher sind sie in diesem Spektralbereich nicht geeignet und ihre Einsatzfelder somit begrenzt.

Durch die Kombination von den funktionalen Eigenschaften regulärer Keramiken mit den positiven Eigenschaften optisch transparenter Materialien werden transparente Keramiken schon heute industriell als vielseitige optische Komponenten und äußerst widerstandsfähige Fenster verwendet. So finden sie Anwendungen in der Optik, Medizin, Telekommunikation und Luft- und Raumfahrt.

Konventionelle technologische Wege zur Keramikherstellung implizieren zurzeit komplexe mehrstufige und energie- und kostenintensive Verfahren einschließlich zeitintensiver mechanischer, thermischer, elektrischer und chemischer Behandlungen. Um polykristalline Keramiken mit hoher optischer Transparenz und möglichst auf die konkrete spätere Nutzung angepasste mechanische Eigenschaften herzustellen, ist darüber hinaus eine besondere Kontrolle über die Ausbildung der Mikrostruktur während des Herstellungsprozesses erforderlich.

Die mittlere Korngröße der Keramik, die Restporosität und die Konzentration von geringsten Verunreinigungen an den Korngrenzen beeinflussen sowohl die optische als auch die mechanische Leistungsfähigkeit signifikant.

Ergebnisse wissenschaftlicher Studien der durchführenden Forschungseinrichtungen und deren Kooperationspartner zeigen, dass die maximal mögliche Härte vieler Keramiken erst bei Korngrößen kleiner als 100 nm erreicht wird und dass durch die gezielte Reduzierung der Korngröße die optische Transparenz auch bei Materialien, die sich nicht im kubischen Kristallsystem ausbilden, deutlich verbessert werden kann.

Es ist zwar möglich mittels konventioneller technologischer Herstellung Keramiken mit Submikron-Körnern bei niedrigen Temperaturen zu synthetisieren, zur Entfernung von Restporen ist aber oft ein energieintensiver Hochtemperatur-Sinterschritt erforderlich. Ferner ist die Akquise der hochreinen körnigen oder pulvrigen Rohstoffe auf wenige (teilweise sogar nur einen) Hersteller beschränkt, da schon geringste Verunreinigung der Rohstoffe die Güte der Keramik beeinflussen und somit höchste Qualitätsmaßstäbe für die Rohstoffe gelten.

Im vorherigen F.O.M.-Forschungsprojekt „Hochtransparente und mechanisch höchst beanspruchbare Keramiken – Qualitätssprung durch neues Herstellungsverfahren“ ([TransCeram](#), 01IF22506N, 01.07.2022 - 31.12.2024) konnte gezeigt werden, dass die Kristallisation von Gläsern unter höherem Druck zu Glaskeramiken führt, die sich signifikant von Glaskeramiken unterscheiden, die unter Raumtemperatur hergestellt wurden. Durch Unterschiede im Gefüge wurden auch die Eigenschaften, wie z. B. die Härte, durch die Hochdruckkristallisation positiv beeinflusst.

Forschungsziel

Aufbauend auf den Erkenntnissen von TransCeram soll im IGF-Folgeprojekt OptiCer das neue leistungsfähige Herstellungsverfahren für hochtransparente Werkstoffe (direkte Kristallisation aus Glas unter Temperatur und Druck; FE1: Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) exemplarisch für die drei TransCeram-Materialsysteme (MgAl_2O_4 / $\text{MgAl}_2\text{O}_4 + \text{SiO}_2$; YAG/YAS;

SiAlON) weiter optimiert, die abgeleitete Arbeits- bzw. Herstellungsmethode anhand von Synthesen mit vorhergesagter Kornmorphologie validiert und mit beiden konventionellen Herstellungsverfahren „Pulververarbeitung“ (FE2: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden) und „Glas-Kristallisation“ (FE3: Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg) verglichen werden. Ferner werden die Untersuchungen nicht nur bzgl. thermophysikalischer Parameter (z. B. thermischer Ausdehnungskoeffizient) ausgeweitet, sondern ein weiteres Materialsystem ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) wird zusätzlich untersucht, da konventionelle Verfahren insbesondere bei diesem System (Cordierit) Limitationen aufzeigen.

Lösungsweg zum Erreichen des Forschungsziels

Um das Ziel des Projektes zu erreichen, sind nicht nur mehrmalige Zyklen von Keramik-Synthesen gefolgt von Charakterisierung der Keramikstruktur und der Bestimmung der optischen und mechanischen Eigenschaften, sondern auch die Untersuchungen des Potentials der Materialbearbeitung notwendig. Wie auch bei TransCeram, so sollen auch bei OptiCer zur Validierung der mit der neuen Herstellungstechnologie angestrebten positiven Effekte, die erzielten Eigenschaften und Ergebnisse, aber auch die perspektivisch zu erwartenden Herstellungskosten mit denen der konventionellen Verfahren (klassische Pulverroute und drucklose Kristallisation) verglichen werden.

Arbeitsdiagramm

Arbeitspaket (AP)	Zeitraum																							
Projektmonat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP1: Projektmanagement																								
AP 2: Ausgangsmaterialien																			◆ MS 2					
AP 3: Herstellung der Keramik																			◆ MS 3					
3.1. Innovative Hochdruck-kristallisation																								
3.2. Konventionelle Pulver-route													◆ MS 1									◆ MS 4		
3.3. Konventionelle Kristallisation																								
AP 4: Charakterisierung der Keramik-Eigenschaften																								
AP 5: Technologieaustausch mit dem PA																								
5.1 Ausgangsmaterial																								
5.2 Prozess																								
5.3 Keramik																								
AP 6: Validierung der Herstellungsverfahren und Bereitstellung von Demonstratoren																								◆ MS 5

MS 1 = SiAlON wurde bis zur Keramik prozessiert

MS 2 = Cordierit steht als Ausgangsmaterialien zur Verfügung

MS3 = thermo-physikalische Eigenschaften bekannt

MS4 = mindestens eine Keramik aus Cordierit mit OptiCer-Methode hergestellt

MS5 = Demonstratoren

Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Die hochtransparenten Keramiken werden eine einzigartige Kombination aus Härte und Bruchfestigkeit haben, die darüber hinaus Kundenwünschen durch geringfügige Modifizierung der Herstellungsmethode angepasst werden können. (1) MgAl_2O_4 -Keramik ist ein vielversprechendes Material für optische Linsen und als Schutzfenster für Sensoren (insb. IR-Sensoren) aufgrund der hohen Transparenz im UV-Vis- und mittleren IR-Bereich, ihrer hohen Härte und großen thermischen und chemischen Stabilität. (2) YAG/YAS-Keramiken sind als Trägerwerkstoff für Laser von großer Bedeutung. Durch gezielte Dotierung können Festkörperlaser mit anwendungsspezifischer Wellenlänge hergestellt werden. (3) SiAlON-Keramiken gehören mit zu den jüngsten Werkstoffen der Technischen Keramik. Die Materialklasse der α/β -SiAlONe zeichnet sich durch die Kombination einer im Vergleich mit Si_3N_4 noch höheren Härte bei gleich guter Zähigkeit aus, allerdings sind diese Niedrigdruckphasen üblicherweise opak oder transluzent. Die dagegen kubische Hochdruckphase γ -SiAlON ist ein sehr vielversprechendes System, welches hohe Transparenz mit hoher mechanischer Beständigkeit kombinieren würde und als ultraharte Schutzfenster Einsatz finden kann. (4) $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ -Keramik würde das Portfolio der Keramiken erweitern. Aufgrund des äußerst geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und idealer Dotierungsmöglichkeiten würde diese Keramik in Bereichen starker Temperaturschwankungen Anwendung finden.

Es handelt sich somit um optische Schlüsselmaterialien mit hoher Wertschöpfung für High-Tech-Anwendungen. Die möglichen Einsatzbereiche erstrecken sich von der Medizintechnik, konkret der minimalinvasiven Chirurgie (Endoskopie), über Hochleistungslaserphysik und bis zu Anwendungen als Fenstermaterial in Beobachtungssonden, die den Bedingungen des extraterrestrischen Raums ausgesetzt sind.

Die das Projekt durchführenden Wissenschaftler sehen in dem neuartigen Herstellungsprozess nicht nur eine energie-, kosten- und zeitgünstige Alternative zu dem zurzeit angewandten mehrstufigen Sinterverfahren, sondern durch die Optimierung der optischen und mechanischen Eigenschaften auch einen Beitrag zum Ausbau der Innovationskultur und somit Stärkung des Industriestandorts Deutschland und dessen Wettbewerbsfähigkeit.

Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
ASML Berlin GmbH
Coherent LaserSystems GmbH & Co. KG
Crystal GmbH ^{KMU}
dopa Entwicklungsgesellschaft für Oberflächentechnologie mbH ^{KMU}
FOS Inon Optics GmbH ^{KMU}
Glassomer GmbH ^{KMU}
hawedia Wolfgang Schubert ^{KMU}
INGENERIC GmbH
joimax GmbH
KARL STORZ SE & Co. KG
KORTH KRISTALLE GmbH ^{KMU}
LAYERTEC GmbH
myStandards GmbH ^{KMU}

Olympus Winter & Ibe GmbH
phi Pharma International GmbH & Co. KG KMU
Sasol Germany GmbH
SCHOTT AG
SEI Automotive Europe GmbH
Sonstige
SPECTARIS - Deutscher Industrieverband für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik

Das IGF-Vorhaben OptiCer (01IF24661N) der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V. (F.O.M.), Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, wurde im Rahmen des von dem DLR Projektträger (DLR-PT) betreuten Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

