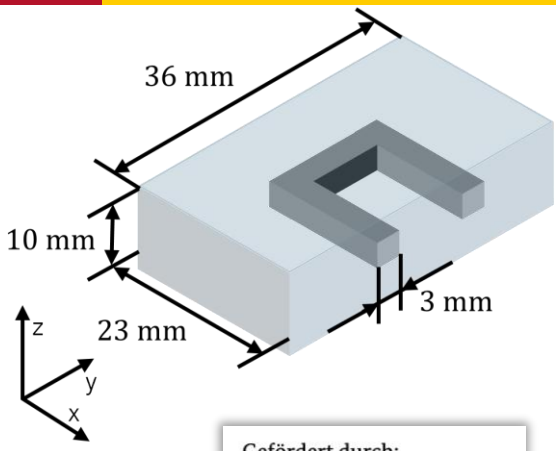
F.O.M. Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V.

IGF-Erfolgsnote

13.02.2025

Industrielle Gemeinschaftsforschung

F.O.M. 031



Kombinationsprozess zur laserbasierten Herstellung von makroskopischen 3D-Glasbauteilen mit mikroskopischen Strukturgrößen (MacroGlass)

Die Herausforderung

3D-Glasbauteile werden in vielen Branchen, beispielsweise in der Optik, Mikroelektronik, Medizintechnik und Quantentechnologie, eingesetzt. Aufgrund der hohen Präzisionsanforderungen an diese Bauteile ist deren Herstellung derzeit meist aufwendig und somit kostenintensiv. Das Selektive Laser-induzierte Ätzen (SLE) ist ein kontaktloses Verfahren zur verschleißfreien Produktion von 3D-Glasbauteilen mit nahezu beliebigen, komplexen Geometrien, auch mit Hinterschnitten. Zur Anlage von Mikrostrukturen innerhalb des Glassubstrats wird dieses mit Ultrakurzpuls (UKP)-Lasern hoher Intensität modifiziert. Die Energie wird durch Absorptionseffekte im Fokusbereich des Lasers deponiert. Hierzu wird derzeit eine starke Fokussierung mit Mikroskopobjektiven genutzt ("Mikro-SLE-Prozess"). Dies führte jedoch bisher zu einem kleinen Scanfeld, einer geringen Vorschubgeschwindigkeit und zur Erfordernis vieler Zustellvorgänge, was den Mikro-SLE-Prozess zeit- und kostenintensiv machte. Zudem war die maximale Glasbauteil-Dicke aufgrund des geringen Arbeitsabstands auf 14 mm begrenzt.

Die Innovationsidee

Ziel war die Weiterentwicklung des Mikro-SLE-Verfahrens für eine signifikant schnellere Herstellung mikrostrukturierter 3D-Glasbauteile und die Verschiebung bisheriger Abmessungsgrenzen. Zur Beibehaltung der Mikrometer-Präzision des Verfahrens bei der Herstellung makroskopischer Bauteile sollte ein Grobbearbeitungsprozess ("Makro-SLE-Prozess") entwickelt und mit einem nachfolgenden Mikro-SLE-Prozess kombiniert werden. Durch längere Brennweiten des Makro-SLEs und die resultierenden größeren Scanfelder sollten die Vorschubgeschwindigkeit erhöht werden. Gleichzeitig sollte ein größerer Arbeitsabstand erreicht werden und weniger Zustellvorgänge notwendig sein. Die Rauheiten sollten durch den anschließenden lokalen Mikro-SLE-Prozess reduziert werden. Durch das Kombinationsverfahren sollte sich die Produktionsgeschwindigkeit um einen Faktor > 10 beschleunigen, bei Selektivitäten > 1000. Das Verfahren sollte Abmessungen der 3D-Glasbauteile bis über 5 cm erlauben und an geforderten Stellen Präzisionen mit Toleranzen von ≤ 2 µm ermöglichen.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Projektinformationen

IGF-Förderkennzeichen:	01IF22034N
Laufzeit:	01/2022 - 07/2024
Fördersumme:	225.587 EUR
Industrieleistungen:	103.207 EUR

Forschungseinrichtungen

- Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

Projektbegleitender Ausschuss

- Amplitude Systèmes KMU
- ASML Berlin GmbH
- Carl Zeiss Jena GmbH
- Carl Zeiss SMT GmbH
- EdgeWave GmbH KMU
- FISBA AG KMU
- MDI Advanced Processing GmbH KMU
- Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG
- Pulsar Photonics GmbH KMU
- SCANLAB GmbH
- SCHOTT AG

- **Selektives laserinduziertes Ätzen (SLE) für 3D-Glasbauteile > 5 cm mit mikroskopischen Strukturen**
- **Beschleunigung des SLE-Prozesses mittels großer Fokusdurchmesser**

Projektbegleitende akademische Abschlussarbeiten

- Eine Master-Arbeit

Das Programm "Industrielle Gemeinschaftsforschung" (IGF) ...

... fördert Studien zur industriellen Machbarkeit von Innovationsideen und beschleunigt so Technologietrends. Dazu arbeiten Wissenschaft, Industrie und Politik zusammen:

0 Das **BMWK** fördert vorwettbewerbliche, innovationsorientierte Forschung mit dem IGF-Programm.

1 **Industrie** und **Wissenschaftler** entwickeln Innovationsideen und geben Projektimpulse.

2 IGF-**Forschungsvereinigungen**, wie die F.O.M., finden Forschungspartner.

3 **Wissenschaftler** von je 1-3 Forschungseinrichtungen schreiben Förderanträge.

4 **Industrieunternehmen** beraten bei der Entwicklung der Anträge.

5 Die **Forschungsvereinigungen** optimieren die Qualität der Vorhaben und der Anträge und reichen die Anträge ein.

6 Ehrenamtliche **Experten aus Industrie und Wissenschaft** begutachten und bewerten die Anträge ganzjährig.

7 Das **BMWK** finanziert die Forschungskosten bis max. 275/525/750 T EUR.

8 Die **Industrie** teilt sich die Administrationskosten.

9 Die **Wissenschaftler** der Forschungseinrichtungen führen die Forschung durch.

10 Die **Forschungsvereinigungen** stellen mithilfe von je 10-20 Unternehmen projektbegleitender **Industrieausschüsse** mit mindestens 50 % KMU einen regen Technologietransfer bis in die Branchen hinein sicher.

11 Die **Industrie** sorgt durch Bekundung ihrer Interessen für die Praxisrelevanz der Forschung, steuert Industrieexpertise bei und validiert die Ergebnisse.

Gemeinsam stärken wir die Innovationskraft des Mittelstands und den Fachkräftenachwuchs in Deutschland.

Für eine ausführlichere Fassung des Abschlussberichts wenden Sie sich bitte an:

Kontakt / Impressum

Forschungsvereinigung F.O.M.
Werderscher Markt 15, 10117 Berlin
030 4140 21-50
info@forschung-fom.de
www.forschung-fom.de

Die Ergebnisse

Zunächst wurde der Makro-SLE-Prozess zur Fertigung von makroskopischen 3D-Glasbauteilen erfolgreich entwickelt und von den Prozessgrundlagen bis hin zur Anlagentechnik aufgebaut. Mit diesem Verfahren konnte aus einem planen Glasblock ein strukturiertes 3D-Glasbauteil mit einer Bauteiltiefe von 10 mm und mit integrierten Kanälen herausgeätzt werden. Die Prozessgeschwindigkeit konnte bei dieser einfachen Bauteilgeometrie um einen Faktor 42 im Vergleich zum Mikro-SLE-Prozess erhöht werden. Bei komplexeren Geometrien werden noch größere Steigerungen der Prozessgeschwindigkeit erwartet.

Mit dem Makro-SLE-Prozess gelang die Fertigung von 3D-Demonstratoren mit Bauteiltiefen von 50 mm und mit integrierten Kanälen innerhalb eines breiten Prozessfensters an Fertigungsparametern, mit Selektivitäten > 1000. Die Kanalstrukturen wiesen allerdings im Vergleich zu mit dem Mikro-SLE-Prozess gefertigten Strukturen sehr hohe Oberflächenrauheiten auf, die auf das hohe Streckungsverhältnis des Fokusvolumens zurückzuführen sind. Die Rauheiten der herausgeätzten Flächen parallel zur langen Halbachse des Fokusvolumens sind deutlich geringer als die der Flächen orthogonal zur langen Halbachse. Bei unterschiedlichen Oberflächenansprüchen an verschieden orientierte Flächen können somit auf relevanten Flächen geringere Rauheiten durch eine entsprechende Optimierung der Ausrichtung erzielt werden.

Zur gezielten lokalen Erhöhung der Präzision wurden Makro- und Mikro-SLE-Prozesse miteinander kombiniert. Hierfür konnten mit dem Makro-SLE-Prozess hergestellte Bauteile mit geringer Bauteiltiefe erfolgreich auf die Anlagentechnik des Mikro-SLE-Prozesses transferiert werden. An 3D-Glasbauteilen mit Abmessungen bis zu 10 mm wurde so die Rauheit in den Kanälen auf die Qualitätsstufe des Mikro-SLE-Prozesses reduziert.

Das Projektziel der Entwicklung eines erweiterten SLE-Kombinationsverfahrens zur beschleunigten Fertigung strukturierter 3D-Glasbauteile hoher Präzision wurde somit für geringe Bauteiltiefen, bis maximal 14 mm, mit hoher Selektivität vollständig erreicht. 3D-Glasbauteile mit Abmessungen bis über 5 cm können mit dem Kombinationsverfahren ebenfalls gefertigt werden, hohe lokale Präzisionen sind jedoch auf den Bereich einer Bauteiltiefe bis zu 14 mm beschränkt.

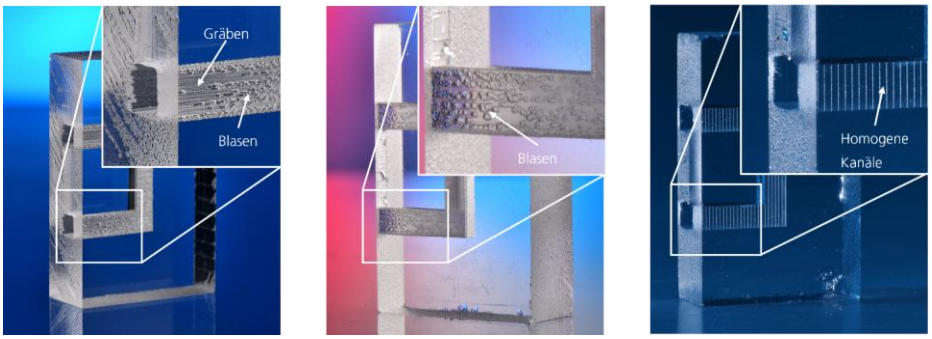
Die Verwertung

KMU-Nutzen

Die Projektergebnisse ermöglichen Unternehmen der mittelständisch geprägten Photonik-Branche, mit hoher Produktivität 3D-Glasbauteile mit einer Bauteiltiefe bis über 5 cm und hoher lokaler Präzision herzustellen. Mit der um den Faktor > 42 höheren Prozessgeschwindigkeit im Vergleich zum Mikro-SLE-Prozess lassen sich zudem die Maschinenkosten schneller amortisieren. Da die Prozessführung der SLE-Prozesse mit kommerziell verfügbarer Systemtechnik aufgebaut ist und ein uneingeschränktes Nutzungsrecht zur Verwendung der SLE-Verfahren besteht, wird KMU, die oft durch geringere Ressourcen für neue Investitionen beschränkt sind, ein einfacher Zugang ermöglicht. Zudem wird die zu verwendende Systemtechnik vor allem von KMU bereitgestellt, deren Position dadurch am Markt gestärkt wird.

Umsetzung

Seit Projektende wird mit einem KMU an der Integration der Prozessführung in ein System mit bestehendem Scanner gearbeitet. Weiterhin sind fortführende Projekte zur Weiterentwicklung des Makro-SLE-Prozesses, insbesondere zur Reduzierung der Oberflächenrauheit, geplant.



Iterative Herstellung im Kombinationsprozess. Links: Mit dem Makro-SLE-Prozess gefertigtes Bauteil mit Graben- und Blasen-Strukturen. Mitte: Nach erster Iteration des Mikro-SLE-Prozesses sind noch Blasen-Strukturen sichtbar. Rechts: Im Endzustand sind nur homogene Kanal-Strukturen hoher Präzision zu erkennen.