



BEARBEITUNG TRANSPARENTER MATERIALIEN MIT ULTRAKURZ GEPULSTER LASERSTRAHLUNG



DQS zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2015
Reg.-Nr. 069572 QM15

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Institutsleitung
Prof. Constantin Häfner

Steinbachstraße 15
52074 Aachen
Telefon +49 241 8906-0
Fax +49 241 8906-121

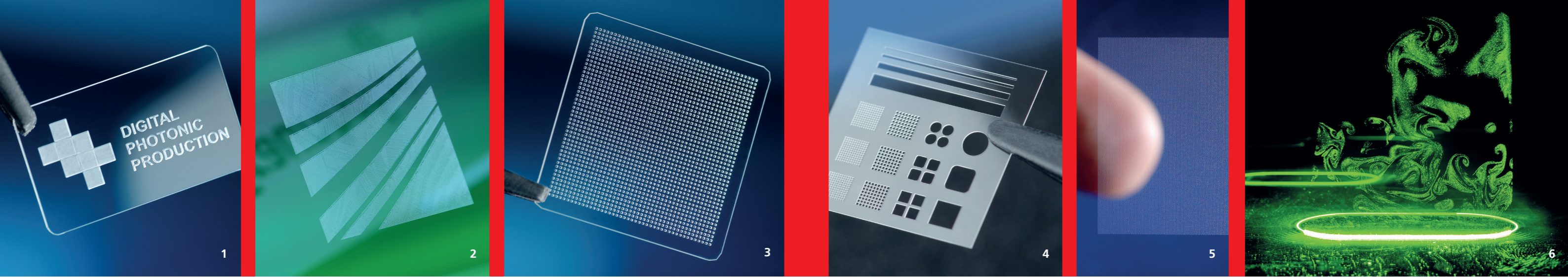
info@ilt.fraunhofer.de
www.ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.





BEARBEITUNG TRANSPARENTER MATERIALIEN MIT ULTRAKURZ GEPULSTER LASERSTRAHLUNG

Durch die Fokussierung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit einer Pulsdauer im Femto- oder Pikosekundenbereich wird eine hochpräzise Bearbeitung von der Oberfläche und des Volumens transparenter Materialien, wie beispielsweise Gläsern oder Kristallen ermöglicht. Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen University laserbasierte Verfahren zur Mikro- und Nanostrukturierung von transparenten Materialien.

Das Verfahren

Um transparente Materialien mittels Laserstrahlung abzutragen oder zu modifizieren, ist eine hinreichend große Energieabsorption der Laserstrahlung im Material notwendig. Durch die großen lokalen Intensitäten fokussierter ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit einer Pulsdauer < 10 ps, kann durch nicht-lineare Ionisationsprozesse ein dichtes Materialplasma erzeugt werden, das diese Absorption ermöglicht. Durch die per Laserstrahl eingebrachte Energie wird das Material stark erhitzt und in Abhängigkeit der gewählten Prozessparameter entweder abgetragen oder modifiziert. Da die notwendigen großen Intensitäten fast ausschließlich im Fokussvolumen der Laserstrahlung erreicht werden, können hochpräzise Strukturen mit Genauigkeiten $< 1 \mu\text{m}$ selektiv im Volumen transparenter Materialien hergestellt werden. Ein Anwendungsbeispiel sind Markierungen im Volumen von Glaskörpern für die integrierte Optik, weitere Anwendungsfelder sind das Trennen oder Markieren von Glas.

Titel: Farbige Markierung im Volumen von Glas.

- 1 Mittels direktem Laserabtrag strukturierte Dünnglasoberfläche.
- 2 Mikrolöcher in Glasfolie.
- 3 Anordnung von Mikrolöchern in Dünnglas.

Trennen von Glas

Durch den sukzessiven Abtrag von Material kann Glas mittels ultrakurz gepulster Laserstrahlung getrennt werden. Durch eine entsprechende Fokussierung können sowohl die Ober- als auch die Unterseite des gläsernen Werkstücks gezielt und präzise abgetragen werden. Die Bearbeitungsergebnisse der beiden Prozessverfahren unterscheiden sich unter anderem hinsichtlich des Aspektverhältnisses der Schnittkanten. Für eine geeignete Wahl der Prozessparameter kann darüber hinaus die Qualität der Schnittkanten gezielt kontrolliert und so beispielsweise die Rauheit nach den jeweiligen Anforderungen eingestellt werden. Durch den Einsatz von Strahlquellen mit großen Pulswiederholungsraten kann Glas mit beliebiger Dicke von wenigen $10 \mu\text{m}$ bis zu mehreren Millimeter großflächig mit einer wirtschaftlichen Prozessdauer bearbeitet werden. Anwendung finden die genannten Verfahren beispielsweise in der Bearbeitung von Gläsern für die Unterhaltungselektronik.

Farbige Markierungen im Volumen

Durch gezielte Fokussierung der ultrakurz gepulsten Laserstrahlung in das Volumen des transparenten Werkstoffs können Dichte und Brechungsindizes des Materials lokal verändert werden. Auf diese Weise lassen sich Beugungsgitter erzeugen, die im Volumen als Struktur erscheinen und deren Farbe sich

mit dem Betrachtungswinkel verändert. Derartige Strukturen können mit dem »Werkzeug Licht« ohne eine Beschädigung der Oberfläche erzeugt werden und lassen sich unter anderem als manipulationssichere Sicherheitsmarkierung oder als Identifikationsnummer in der Logistik einsetzen. Ein hochpräzises Mikrosannersystem erlaubt dabei nahezu beliebige Designs des Gitters, das außerdem innerhalb weniger Sekunden im Glasvolumen hergestellt werden kann.

Oberflächenmarkierungen und Lochstrukturen

Die Kombination verschiedener Systemkomponenten wie zum Beispiel einem hochpräzisen Mikrosanner ermöglicht das Erzeugen nahezu beliebiger Strukturen durch Abtragen von Material. So können Oberflächenmarkierungen oder Anordnungen von eckigen Mikrolöchern in bis zu $100 \mu\text{m}$ dünnem, flexiblem Glas hergestellt werden. Die Mikrolöcher können als sogenannte »Interposer-Strukturen« in der Halbleiterelektronik-Branche eingesetzt werden.

Ausblick

Je nach Anwendung ist eine unterschiedliche Deposition der Energie der Laserstrahlung im Material notwendig. Um diese gezielt einstellen zu können, konzentrieren sich aktuelle Forschungsarbeiten auf die Modulation der räumlichen Strahlform des Laserstrahlung beispielsweise durch diffraktive optische Elemente oder sogenannte »Spatial Light Modulatoren«, die so gezielt eingestellt werden kann. Des Weiteren werden Optiksysteeme zur Erzeugung mehrerer identischer Teilstrahlen entwickelt, um die Prozessgeschwindigkeit durch eine Parallelisierung des Bearbeitungsprozesses deutlich zu vergrößern.

Anlagen und Systeme

Am Fraunhofer ILT steht eine Vielzahl von Ultrakurzpuls-Laserstrahlquellen verschiedener Hersteller zur Verfügung. Somit können wir unseren Kunden und Projektpartnern ein breites Parameterspektrum für unterschiedliche Bearbeitungsprozesse anbieten. Darüber hinaus verfügt das Fraunhofer ILT über hochpräzise Positionier- und Scannersysteme sowie Optiksysteeme für eine schnelle Bearbeitung und Strahlformung.

- Mittlere Leistung $P = 2$ W - 400 W
- Repetitionsrate $f_{\text{Rep}} = 1$ Hz - 54 MHz
- Pulsdauer $\tau = 80$ fs - 20 ps
- Wellenlängen $\lambda = 266$ nm - 2400 nm
- Mikrosanner mit Positioniergenauigkeit < 500 nm und Scangeschwindigkeit $v_{\text{Scan}} > 100$ mm/s
- Multibeamscanner-System zur Erzeugung mehrerer identischer Teilstrahlen für die Parallelbearbeitung

Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Martin Reininghaus
Telefon +49 241 8906-627
martin.reininghaus@ilt.fraunhofer.de

Prof. Arnold Gillner
Telefon +49 241 8906-148
arnold.gillner@ilt.fraunhofer.de

- 4 Löcher mit unterschiedlichen Geometrien in Dünnglas.
- 5 Mikrolöcher in Glasfolie.
- 6 Abtragprozess von Glas mittels UKP-Laserstrahlung.