



Doctoral Thesis

## **Laser micromachining: New concept for fabrication of micro-optical elements in UV transparent materials**

**Author(s):**

Kopitkovas, Giedrius

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005275506> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 16903

**LASER MICROMACHINING: NEW CONCEPT FOR  
FABRICATION OF MICRO-OPTICAL ELEMENTS IN UV  
TRANSPARENT MATERIALS**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

Giedrius Kopitkovas

Master of Physics, Vilnius University, Vilnius  
born 07.04.1977  
citizen of Lithuania

accepted on the recommendation of

Prof./PD A. Wokaun, examiner

Prof./PD D. Günther, co-examiner

PD T. Lippert, co-examiner

2006

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird mit *Laser Induced Backside Wet Etching* eine neue Technik zur präzisen Strukturierung von Quarz und anderen im ultravioletten Spektralbereich transparenten Materialien vorgestellt. Die Methode eignet sich, komplexe dreidimensionale Strukturen, wie zum Beispiel beugende und lichtbrechende Mikrolinsen, Random Phase Plates, lichtbrechende optische Elemente und Beugungsgitter herzustellen. Diese Komponenten sind vielseitig einsetzbar, zum Beispiel in der optischen Telekommunikation, für Abbildungstechniken, Wellenfrontmessungen sowie dem Homogenisieren von Laserstrahlen.

Die bisher existierenden Techniken für die Herstellung von Mikrolinsen aus UV-transparenten Materialien basieren auf mehrstufigen oder langsamen rasternden Prozessen. Ein direkter, in einem Schritt erfolgender Herstellungsprozess für komplexe Strukturen in UV-transparenten Materialien ist daher erstrebenswert. Die wesentliche Zielsetzung dieser Arbeit bestand in der Entwicklung einer Methode, die es erlaubt, binäre lichtbrechende optische Komponenten oder komplexere Elemente (eine Anordnung von Mikro Fresnel und plano-convexen Linsen) in UV-transparenten Materialien (Quarz, CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, Saphir) herzustellen. Derartige Elemente könnten z. B. einer Verbesserung der Energieverteilung in Laserstrahlen dienen.

Um qualitativ hochwertige Mikrolinsen herzustellen, ist es notwendig den LIBWE Prozess zu verstehen. Der Materialabtrag während des LIBWE Prozesses basiert auf der Erzeugung starker Temperatur- (>2000 °C) und Druck- (>70 MPa) Sprünge an der Grenzfläche zwischen dem zu strukturierenden Material und der das Laserlicht absorbierenden Flüssigkeit. Da der tatsächliche Temperaturverlauf nicht experimentell bestimmt werden konnte, wurde ein Modell entwickelt, das den Anstieg und Abfall der Temperatur an der Grenzfläche beschreibt. Die Entwicklung des Druckes wurde experimentell mittels Schlierenfotographie verfolgt. Der LIBWE Mechanismus erweist sich als sehr komplex und wird von einer Vielzahl an Parametern beeinflusst. Als wichtigste experimentelle Parameter sind die Wellenlänge des Lasers, die Konzentration des Absorbers in der Flüssigkeit, die

Energiedichte des Lasers und die ortsabhängige Anzahl an Laserpulsen zu nennen. Ein wichtiger Teil dieser Arbeit bestand daher darin, den LIBWE Prozess zu beschreiben um die optimalen Prozessparameter zu finden, und um den Ätzvorgang UV-transparenter Materialien präzise kontrollieren zu können. Die ermittelten Abtragsparameter flossen dann in das Design *Gray Tone Phase Mask* ein, welche ein Schlüsselement in der *ein-Schritt*-Herstellung von Mikrolinsen in UV transparenten Materialien darstellt.

Die DTGPM wird benutzt um die Energieverteilung im einfallenden Laserstrahl in die gewünschte Linsenform zu modulieren. Die Anwendung einer solchen DGTPM im LIBWE Prozess ermöglicht das Herstellen grosser Anordnungen von Mikrolinsen. Die Mikrolinsenanordnungen können benutzt werden um das Strahlprofil von Hochleistungs-Excimer und Nd:YAG Lasern zu homogenisieren.

Alternativ zu den Mikrolinsenanordnungen finden *Random Phase Plates* (RPP) zur Strahlhomogenisierung von Hochleistungslasern Anwendung. Die RPP stellt eine binäre Struktur dar, die aus einer Anzahl zufällig und schachbrettförmig verteilter Quadrate besteht. Im Vergleich zu den Mikrolinsen sind die RPP relativ einfach aufgebaut und können mittels LIBWE direkt, d. h. ohne DGTPM erzeugt werden.

Beide Strukturen, RPP und Mikrolinsenanordnungen, führen zu einer deutlichen Verbesserung des Laserintensitätsprofils. Die RPP besitzt Vorteile in Form der einfachen Herstellung und Anwendbarkeit, sie ist jedoch lediglich für eine einzelne Laserwellenlänge ausgelegt. Die Herstellung von Mikrolinsenanordnungen ist komplexer. Sie können hingegen über einen breiten Wellenlängenbereich eingesetzt werden. Der Durchmesser des mittels RPP homogenisierten Laserstrahls ist stets kleiner als 1 mm, während der mittels Mikrolinsenanordnungen homogenisierte Strahl kontinuierlich von wenigen mm bis zu einigen Zentimetern variiert werden kann.

Mikrolinsenanordnungen und Random Phase Plates stellen die bisher anspruchvollsten Strukturen dar, die durch Anwendung des LIBWE Prozesses erzeugt wurden.

## Abstract

In this work a new technique for precise structuring of quartz and other UV transparent material is presented. The process is known as *Laser Induced Backside Wet Etching* and can be utilized to fabricate complex three dimensional structures, such as diffractive and refractive micro-lenses, random phase plates, diffractive optical elements and diffractive gratings in quartz and in other UV transparent materials. These components can be widely applied in optical telecommunications, imaging, wavefront measurements, and beam homogenizing, etc.

The existing technologies for fabrication of micro-lenses in UV transparent materials are based on a multistep approach or on a slow scanning process. It is therefore advantageous to create a technique for a *one step* fabrication of complex structures in UV transparent materials. The main goal of this project was to develop a technique which allows us to fabricate binary diffractive optical components and more complex elements, such as arrays of micro Fresnel and plano-convex lenses in different UV transparent materials (quartz, CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, sapphire) with a one process step. These elements must for example be applicable for example in the improvement of a laser beam profile.

In order to produce high quality micro-lenses in UV transparent materials it is necessary to understand the LIBWE process. The etching of the material by LIBWE is based on the generation of high temperature (>2000 °C) and high pressure (>70 MPa) jumps at the interface between the quartz and the liquid, which absorbs the laser light. The actual temperature jump could not be measured experimentally, therefore a theoretical model was created to evaluate the temperature rise and decay at the interface between the material and liquid. The pressure jump was evaluated from the experimentally obtained shadowgraphy images. The mechanism of LIBWE is very complex and depends on many different parameters such as the laser excitation wavelength, the concentration of absorber in the solution, the laser energy density (fluence) and the number of applied laser pulses. Therefore a lot of attention in this work was paid to describe the LIBWE process and to define the parameters with which the etching of UV transparent materials will be precise, smooth and controllable. The etching parameters are included in the design of the *Diffractive Gray Tone Phase Mask*, which is a key element in *one step* fabrication of

micro-lenses in UV transparent materials. The DGTPM is used for modulating the incoming laser beam intensity into the desired lens shape. The combination of LIBWE and the projection of a DGTPM allows us to fabricate arrays of diffractive and refractive micro-lenses in quartz, which can be applied as beam homogenizers for high power excimers and Nd:YAG lasers.

An alternative beam homogenizer for high power lasers is the Random Phase Plate. The RPP is a binary structure, which consists of a number of randomly tessellating squares. The RPP is much more simple compared to micro-lens arrays and can be fabricated directly by LIBWE and requires no DGTPM.

Both RPP and micro-lens array beam homogenizers deliver clear improvements in the laser intensity profile. The RPP is simple to use and it is easy to fabricate, while fabrication of micro-lenses are more complex. However, an RPP is only suitable for a single designed laser wavelength, while micro-lenses can be used over a broad wavelength range. The diameter of the homogenized beam obtained with an RPP is less than 1 mm, while diameter of the homogenized laser beam with micro-lens arrays can be continuously varied from several mm up to centimeters.

The fabrication of micro-lenses and Random Phase Plates is up to now a *highlight* of the application of the LIBWE process.