

# Schreib' mal wieder!

Neue Laser-Markierungsverfahren und spezielle Mikrobearbeitungen

Dipl.-Ing. Norbert Koop

**M**arkierungen dienen meist der eindeutigen Zuordnung von Produkten. Dazu zählen insbesondere Beschriftungen und Zeichen aller Art, Bar- und Data Matrix Codes oder das Firmenlogo. Dieser Artikel beschreibt Grundlagen der Laserbearbeitung und eine Reihe von speziellen Anwendungsmöglichkeiten.

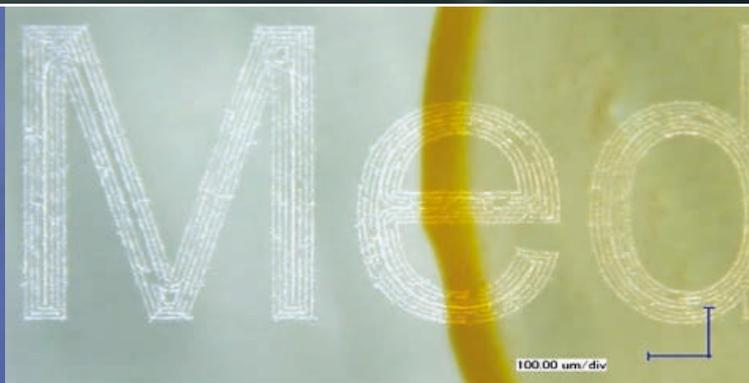
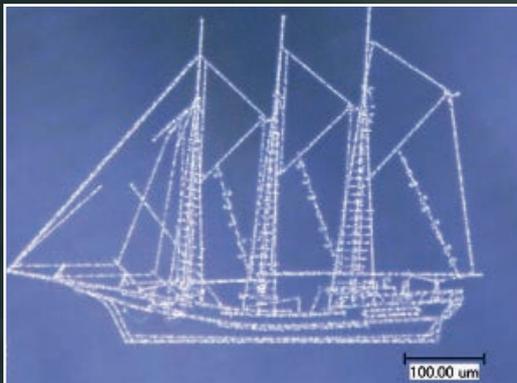
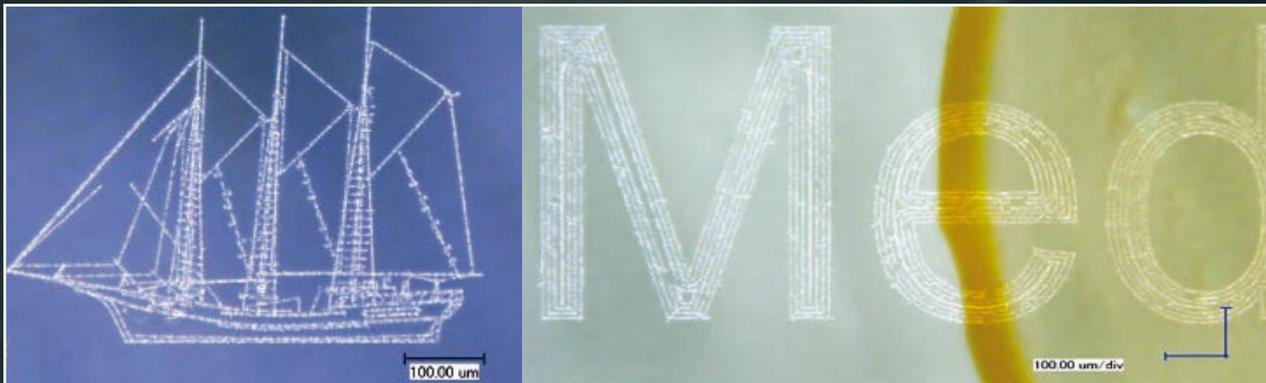


Abb. 1: In Glas geschriebenes Segelschiff (links) und Schriftzug (rechts) mit verschiedenen Lasern erzeugt. Details siehe Text.

Die Markierung von Produkten mit Lasern wird seit Jahrzehnten eingesetzt. Dabei handelt es sich überwiegend um Markierungen auf der Oberfläche des zu beschriftenden Objekts. Für Material vom Kunststoff bis zum Metall findet sich ein Laser mit geeigneten Parametern, um die Werkstoffe zu bearbeiten. Dabei kommt es auf die richtige Wellenlänge (Absorption im Material) und die Pulsdauer (Einwirkzeit auf dem Material) an. Diese Parameter sind wichtig, um auf der einen Seite einen dauerhaften, gut sichtbaren Effekt zu erreichen und auf der anderen Seite zu große thermische Belastungen zu vermeiden, z. B. bei empfindlichen Bauteilen.

Neben den anfänglichen maskenabbildenden Verfahren gibt es immer mehr flexible programmierbare scannende Systeme. Gerade für sich verändernde Markierungen ist dieses Verfahren von großem Vorteil. Es finden sich auf dem Markt zahlreiche Anbieter mit Lasersystemen für alle gängigen Materialien und Anwendungen.

#### Thermische Wechselwirkungsmechanismen

Mit der Energiedeposition von Laserlicht können mehrere Effekte verbunden sein. Für sehr „lange“ Laserpulse im Millisekunden-Bereich und länger bis zur kontinuierlichen Bestrahlung bestimmt die Wärmeerzeugung im Material den Wirkungseffekt. Material lässt sich bis zum Schmelzen oder bis zum Verdampfen erhitzen. Dadurch entstehen „Brandzeichen“ auf der Oberfläche. Je nach Werkstoff und erreichter Temperatur können dunkle (durch Karbonisieren oder thermochemische Effekte) oder helle (durch Schmelzen und Aufschäumen und dem Entstehen von Gasbläschen im Material) Markierungen entstehen. Ein oft eingesetztes System ist der CO<sub>2</sub> Laser mit einer Wellenlänge bei 10,6 µm. Er ist geeignet für Holz, Plastik, Papier und in begrenztem Maße für

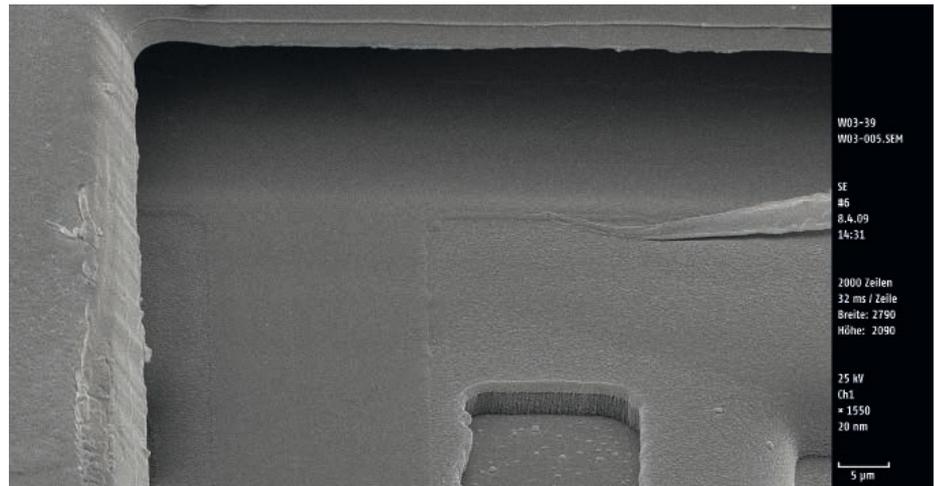


Abb. 2: Ausschnitt eines elektronischen Sensors eines Netzhautimplantates

Metalle. Für Metalle und Kunststoffe kommen häufiger u. a. Dioden-gepumpte Festkörperlaser (Nd:YAG) mit einer Wellenlänge von 1064 nm und Faserlaser zum Einsatz. Aufgrund ihres besseren Strahlprofils lassen sich diese Laser gut fokussieren und können dadurch feinere Markierungen erzeugen.

#### Materialablation bzw. -abtragung und nichtlineare Prozesse

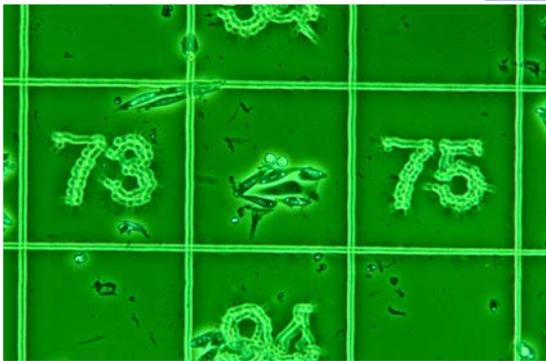
Auch Glas oder andere optisch transparente Materialien z. B. Polymere oder Saphir lassen sich mit geeigneten Lasern an der Oberfläche markieren oder bearbeiten. Dazu eignen sich prinzipiell UV-Laser mit geeigneter Absorption (z. B. gepulste Excimer Laser). Bekannt ist die präzise Abtragung dieser Laser aus der Augenheilkunde. Hier werden die Laser eingesetzt um die Fehlsichtigkeit zu korrigieren. Die Energie wird aufgrund der hohen Absorption des UV-Lichtes eines ArF-Lasers mit 193 nm in einer nur einige 100 nm dünnen Schicht komplett absorbiert und das Material wird hinausgeschleudert. Das verbleibende

Kollagen bleibt thermisch nahezu unbeeinflusst. Ein großer Nachteil der Excimer Laser ist das schlechte Strahlprofil, sodass diese Laser üblicherweise mit einer aufwändigen Optik zur Strahlhomogenisierung und maskenabbildenden Systemen betrieben werden. Außerdem sind relativ teure teils hoch giftige Gase für den Betrieb erforderlich.

Mit gütegeschalteten Nd:YAG Lasern mit Laserpulsen von wenigen Nanosekunden ( $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) ist es möglich, in transparenten Materialien einen optischen Durchbruch zu erzeugen. Dazu wird der Laserstrahl in oder auf das Glas fokussiert. Nichtlineare Absorption führt zu einer lokalen Energiedeposition, die sich zu einem lawinenähnlichen Prozess verstärkt. Es kommt zum „optischen Durchbruch“ mit Plasmabildung durch freie Elektronen.

Diese thermomechanischen Effekte führen zu einem schlagartigem Verdampfen von Materie, die zum Zerreißen und zur lokalen Zerstörung von Material führen. Die Ausbreitung der Erwärmung ist dagegen lokal begrenzt. Sie hängt von den Wärmeleitkoeffizienten des Materials ab (Metall hoch, Kunststoff geringer). So lassen sich ther-

Abb. 3: Ausschnitt eines bearbeiteten Deckgläs-  
chens, das zur Auswertung der Zellteilung dient.



misch lokal begrenzte Effekte am zu mar-  
kierenden Produkt erzielen.

In jüngster Zeit werden ultrakurz gepulste Lasersysteme, die für die Bearbeitung fast aller Materialien geeignet sind, eingesetzt. Unter ultrakurz gepulsten Lasersystemen versteht man Laser mit Pulszeiten im Pico- und Femtosekundenbereich ( $ps = 10^{-12}$  s,  $fs = 10^{-15}$  s). Mit diesen ultrakurzen Laserpulsen lässt sich der optische Durchbruch reproduzierbar erzeugen und räumlich auf die Dimensionen des fokussierten Laserstrahls und darunter, also bis in den Submikrometerbereich beschränken. Schädigungen des umliegenden Materials durch Wärme sind nicht zu erwarten. So lassen sich mit dem Einsatz geeigneter Mikroskop-Optiken sogar feinste Schnitte durch Chromosomen in der Metaphase machen, ohne die DNS im verbleibenden Chromosom thermisch zu schädigen.

Ultrakurz gepulste Lasersysteme werden für die Herstellung von kleinsten Mikrostrukturen in verschiedensten Materialien eingesetzt. Der Preis für die Laser und damit den Bearbeitungsanlagen ist dabei relativ hoch. Als Alternative bieten sich seit kurzem Mikrochip-Laser mit Nano- und Subnanosekundenpulsen an.

Bisher ging man davon aus, dass nur ultrakurze Pulse in der Lage sind, reproduzierbare Mikroeffekte zu erzeugen. Mit gütegeschalteten Nd:YAG Lasern z.B. sind zwar Glasmarkierungen im Innern möglich, die Gläser müssen aber recht dick sein und die Effekte, die erzielt werden, liegen im Bereich einiger 10 bis 100 Mikrometer. Um lokal räumlich begrenzte Effekte im Mikrometerbereich und darunter zu erreichen, ist es nötig, sie reproduzierbar mit einem sehr geringen Energieeintrag erzeugen zu können, bei der die Plasmapildung gerade beginnt.

#### Glasmarkierung dünner Gläser

Mit der Entwicklung der Dioden-gepumpten Festkörperlaser (DPSS-Mikrochip-Laser), wurden kostengünstige, kompakte und in-



Abb. 4: Markierung eines Fornixlineals zum Einsatz in der Augenheilkunde. Dieses nur wenige 100 µm dicke Blättchen einer Titanlegierung darf nur geringer thermischer Erwärmung ausgesetzt werden, um die Rückseite nicht zu verbrennen. Daher wurde, der in Millimetern skalierte Maßstab durch „Kaltablation“ mit einem Excimerlaser eingebracht.

dustrietaugliche Laser mit geringen Anschaffungs- und Betriebskosten für den Einsatz zur Verfügung gestellt. Durch den speziellen Aufbau des Laserresonators aus einer Kombination aus mehreren Kristallen und einer passiven oder aktiven Güteschaltung (Q-Switch) lassen sich Pulse im Nano- und Subnanosekundenbereich erzeugen. Nd:Cr:YAG Mikrochip-Laser emittieren bei einer Wellenlänge von 1064 nm, bei entsprechender Vervielfachung bei 532 nm, 355 nm oder 266 nm mit Pulsspitzenleistungen von einigen Megawatt (MW). Durch ihren kurzen Resonatoraufbau gelingt es diese Laser im Single-Longitudinal Mode zu betreiben, Voraussetzung für zeitlich glatte Laserpulse und somit für eine reproduzierbare Durchbruchschwelle.

Dadurch wird es möglich in einem schmalen Energiebereich z.B. handelsübliche Deckgläser von ca. 170 µm Dicke im Innern zu markieren. In einem darüber hinaus noch schmale-

rem Energiebereich ist es sogar möglich, lokale Brechungsindexänderungen ohne direkt sichtbare Mikroeffekte im Glas zu erzeugen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele, die am Medizinischen Laserzentrum Lübeck (MLL) mit den neuen Mikrochip-Lasern gemacht wurden. Für die Bearbeitung räumlich hochaufgelöster zwei- oder dreidimensionaler Strukturen werden am MLL geeignete präzise Positioniersysteme eingesetzt.

Der Ausschnitt 1 in Abbildung 1 zeigt ein Segelschiff mit einer Gesamtkantenlänge von 500 µm innerhalb eines Glases. Die Lasereffekte, die hier mit einem Nanosekundenlaser (355 nm) gesetzt wurden, sind nur wenige Mikrometer groß. Der Kontrast, also die gute Sichtbarkeit entsteht aufgrund der Lichtstreuung an den nur wenige Mikrometer großen Rissen, die durch die Bearbeitung im Innern entstanden sind. Bei Benutzung einer unter-schwelligeren Energie können Brechungsindexänderungen in das Glas geschrieben werden. Diese Strukturen sind bei normaler Beleuchtung unsichtbar („Wasserzeichen“) und können nur in Mikroskopen mit Phasenkontrasteinrichtungen dargestellt werden. Ausschnitt 2 zeigt einen im Glas geschriebenen Schriftzug in einem Objektträger (1 mm dick) mit einem Nanosekundenlaser (Wellenlänge 532 nm). Der Wassertropfen auf dem Glas rechts (gelb angefärbt) würde Risse einer oberflächlichen Markierung ausfüllen und die Reflektionen an den Glassprüngen verhindern und damit unsichtbar machen. Durch die Lage im Glas bleiben Strukturen lesbar.

Zu den Vorteilen der Laserbearbeitung im Glas zählen, dass diese geschützt im Glas langlebig und beständig gegen äußere Einflüsse sind, eine akzeptable Lesbarkeit erreichen und diese auch in Flüssigkeiten behalten. Es sind hohe Schreibdichten erreichbar, z.B. für Barcodes oder Data Matrix.

Darüber hinaus stellen oberflächenneutrale Markierungen für biologische und medizinische Anwendungen und Produkte kein erhöhtes Risiko für Verunreinigungen, z.B. durch Bakterien o.ä. dar, wie es durch aufgeraute Oberflächen der Fall sein könnte. Volumen markierte Glas- oder Kunststoffpräparate können mit gängigen Verfahren oder mit Alkohol etc. sterilisiert werden.

#### Funktionelle Laser-Mikromaterialbearbeitung

Neben der reinen Markierung kann die Laser-Bearbeitung auch zur Modifikation komplexer zwei- und dreidimensionaler Strukturen eingesetzt werden.

Mögliche funktionelle Strukturen, die auch an der MLL gemacht werden können sind u. a. Mikrobohrungen in Glas oder

Kunststoffen, die besonderen Anforderungen z.B. an Volumenströme von Flüssigkeiten oder Gasen oder Diffusionsparametern von Gasen genügen.

Zunehmend häufiger werden kundenspezifische Halbleitersensoren, Implantate oder mikrofluidische Systeme im Labor, der Biotechnologie oder der Medizin eingesetzt. Diese bestehen meist aus Schichten von verschiedenen Materialien. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt eines elektronischen Sensors eines Netzhautimplantates, welcher im letzten Bearbeitungsschritt für die Firma Retina Implant gefertigt wurde. Dieses Implantat wird erblindeten Patienten in einer Operation als Ersatz für verloren gegangene Sehzellen unter die Netzhaut implantiert. Als Vertiefung ist eines der Kontaktfelder zu sehen, das die vom einfallenden Licht im Chip erzeugten elektrischen Signale an die noch vorhandene Ganglienzellschicht abgibt. Das Gehirn sorgt für einen neuen, wenn auch sehr eingeschränkten Seheindruck. Um die empfindliche Kontaktelektronik des nur wenige 10 µm dicken Folienimplantates dauerhaft gegen Korrosion zu schützen wird ein Polymer (Parylen) als Schutzschicht aufgebracht. An den Kontaktfeldern muss diese nur 5 µm dicke Schicht in einem weiteren Prozessschritt wieder entfernt werden, ohne die darunter liegende Elektronik zu beschädigen. Aufgrund der geringen Abtragsrate ist der Excimerlaser bei 193 nm dafür besonders gut geeignet.

Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt eines bearbeiteten Deckgläschens, das zur Auswertung der Zellteilung dient. Die Anzahl der durch Zellteilung entstandenen Zellen (länglich) kann über Tage in jedem quadratischem Feld wiederholt optisch gezählt werden. Zu sehen ist die am Mikroskop scharf gestellte Oberfläche ca. 48 h nach dem Aufbringen vereinzelter Zellen. Die unscharf erscheinende quadratische Linienstruktur hat eine Kantenlänge von 200 µm. Sie wurde mit einem UV-Mikrochip-Laser (355 nm) inner-

halb des nur 170 µm dicken Deckgläschens erzeugt und ist nur wenige Mikrometer breit bzw. hoch. Jedes zweite Quadrat wurde zusätzlich nummeriert. Die Linien erscheinen doppelt, da sie nicht gleichzeitig mit den Zellen am Mikroskop scharf gestellt werden können.

In diesem Bericht sind nur einige, ganz spezielle Möglichkeiten der Laserbearbeitung aufgezeigt. Es gibt viele Firmen und Einrichtungen, die

sich mit der Laserbearbeitung befassen und kundenspezifische Lösungen erarbeiten. Der Autor bedankt sich für die zur Verfügung gestellten Bilder und Ergebnisse der Glasbearbeitung (Abb. 3) bei der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Alfred Vogel.

## KONTAKT |

**Dipl.-Ing. (FH) Norbert Koop**  
Institut für Biomedizinische Optik,  
Universität zu Lübeck und  
MLL GmbH  
Peter-Monnik-Weg 4  
23562 Lübeck  
koop@bmo.uni-luebeck.de



Mehr Informationen  
zum Thema:  
<http://bit.ly/1fnu79y>



Ausschreibung Berthold  
Leibinger Laser-Innovationspreis:  
<http://bit.ly/14lUcyt>