

# Kompakte Excimerlaser in der Industrie

Effizient gepulste UV-Laser für industrielle Anwendungen

Helmut Schillinger und Petra Wallenta

Der Excimerlaser hat seit Jahren einen angestammten Platz in der industriellen Anwendung gefunden. In der Mikrochip-Produktion ist der Excimerlaser z. B. die essenzielle ultraviolette (UV) Belichtungsquelle für Lithographie-Prozesse. Parallel zu den technischen Möglichkeiten, die der Laser aufgrund seiner kurzen Wellenlänge und dadurch hohen Photonenenergie eröffnet, ist die Zuverlässigkeit der Excimerlaser, getrieben durch die industriellen Anforderungen, mitgewachsen.

Der Excimerlaser ist ein gepulster Gasentladungslaser. Ein Gasgemisch aus einem Edelgas (Ar, Kr, Xe), einem Halogen (Fluor, Chlor) und einem Puffergas (He, Ne) wird in einer Hochdruck-Glimmentladung angeregt, wodurch letztendlich ionisch gebundene Komplexe aus Edelgas und Halogen, wie ArF, KrF, KrCl oder XeCl, im elektronisch angeregten Zustand entstehen. Unter Abgabe von UV-Licht zerfallen diese Spezies, die im Grundzustand nicht gebunden sind. Die damit fast automatisch gegebene Besetzungsinversion ermöglicht sehr effiziente, gepulste UV-Laser mit Wellenlängen von 351 nm bis 193 nm, bei Pulsdauern von wenigen Nanosekunden, Pulsenergien bis in den Joule-Bereich und mittleren Leistungen von einigen zehn Watt. Mit Labormustern wurden selbst einige hundert Watt mittlere Leistung demonstriert, womit Excimerlaser die leistungsfähigsten Laser im Spektralbereich unter 300 nm sind.

Die extrem kurze Wellenlänge hat für die industrielle Anwendung zwei entscheidende Vorteile. Zum einen lässt sich mit entsprechenden Optiken natürlich eine hohe Auflösung und damit eine geringe Strukturgröße erreichen. Zum anderen sind die Absorptionslängen fast aller Materialien im UV-Bereich so kurz, dass auftreffende Laserenergie größtenteils oberflächennah absorbiert wird. Somit wird auch bei Fluenzen von



Abb. 1: Excimerlaser eignen sich für ein breites Anwendungsspektrum. Hier gezeigt ist der speziell für die Pulsed Laser Deposition (PLD) entwickelte „ThinFilmStar“. Durch die hohe Puls wiederhol frequenz eignet sich dieser Laser besonders für ein schnelles epitaktisches Abscheiden von Filmen mit einer Atomlage.

wenigen Joule pro Quadratzentimeter eine Energiedichte im Volumen erreicht, die zur Ablation ausreicht. Wenn dem Excimerlaser eine „kalte Ablation“ nachgesagt wird, so bedeutet dies nicht unbedingt, dass die Natur der Ablation athermisch ist (direktes Brechen der chemischen Bindungen, etc.), sondern dass das zurückbleibende Material nur wenig aufgeheizt wird.

Traditionell waren es große Excimerlaser mit hoher Pulsenergie, die für industrielle Anwendungen herangezogen wurden. Kompakte Excimerlaser, die geringere Pulsenergie, aber aufgrund einer hohen Pulsfolgefrequenz eine vergleichbare mittlere Leistung bieten, konnten sich in den letzten Jahren mit wesentlich verbesserten Verbrauchskosten, Service- und Standzeiten als Alternative etablieren (Abb. 1). Eine Auswahl an industriellen Applikationen wird im Folgenden vorgestellt.

## Präzises Abisolieren

Der Trend zur Miniaturisierung macht es notwendig, die zugehörige Aufbau- und Verbindungstechnik zu verbessern. Miniaturisierte Kabel sind in kleinster Dimension verfügbar, allerdings sind die üblichen Ver-

fahren der Konfektionierung solcher Kabel oft nicht mehr möglich. Durch den Einsatz des Excimerlasers ist es möglich, Mikrokabel bis auf wenige Mikrometer Durchmesser berührungslos von der Isolation zu befreien. Dies kann für einen ganzen Kabelstrang in einem Arbeitsgang erfolgen oder lokal für eine einzelne Ader, ohne die Isolation der benachbarten Kabel zu beschädigen. Auch komplexere Konfektionierungen werden dadurch möglich.

Abb. 2 zeigt die Abisolierung eines teflonbeschichteten Kabelstranges. Teflon als Isolationsmaterial lässt sich trotz der starken chemischen Bindung und der daraus resultierenden thermischen Beständigkeit mit hoher Präzision abtragen, da bei 248 nm z. B. die Absorptionskonstante bei ca.  $2 \mu\text{m}^{-1}$  liegt und die ablatierte Materialdicke pro Puls unter  $1 \mu\text{m}$ . Einen theoretischen Zusammenhang zwischen Abtragsrate und Absorptionskoeffizient findet man in [1].

## Faser-Bragg-Gitter

Faser-Bragg-Gitter (Fibre Bragg Gratings, FBG) sind schmalbandige, faseroptische Frequenzfilter, die zum einen zunehmende Bedeutung in der Glasfaser-Telekommunikation

Dr. Helmut Schillinger, Petra Wallenta, TuiLaser AG, Industriestr. 15, 82110 Germering, www.tuilaser.com

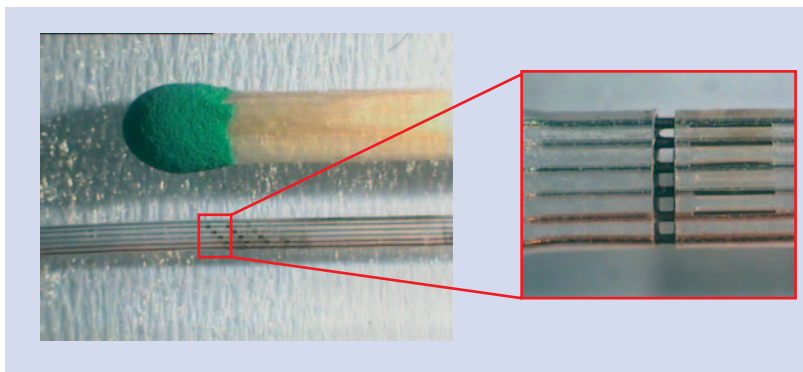


Abb. 2: Mit dem Excimerlaser lassen sich auch miniaturisierte Kabelstränge präzise abisolieren.

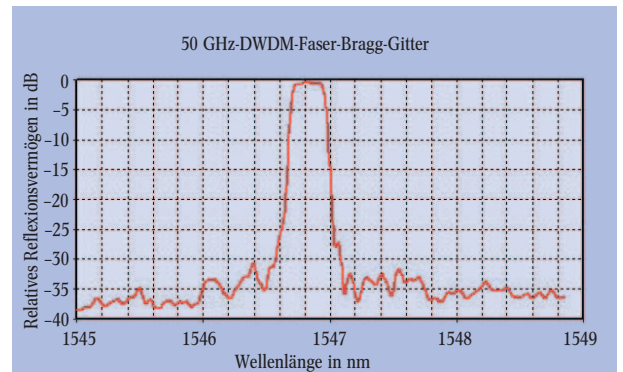


Abb. 3: Spektrum eines Faser-Bragg-Gitters. (Quelle: Photonics Research Ontario)

bekommen, zum anderen laufend weitere Anwendungen als Fasersensoren finden, etwa als Temperatur- oder Dehnungssensor. Die Filterwirkung beruht auf einer periodischen Modulation der Brechzahl des Faserkerns, analog zur Wirkungsweise eines dielektrisch beschichteten Spiegels (Abb. 3). In der industriellen Massenproduktion hat vor allem die so genannte Maskenprojektions-Methode Bedeutung, bei der die periodische Struktur einer Phasenmaske mittels UV-Licht auf den photosensitiven Kern einer optischen Glasfaser übertragen wird. Hierbei kommen als UV-Lichtquellen ausschließlich Laser – insbesondere Excimerlaser – zum Einsatz.

An die verwendeten Excimerlasersysteme stellt die Herstellung von FBG besondere Anforderungen. Das Einbringen („Schreiben“) von hochqualitativen Bragg-Gittern in Fasern und optische Wellenleiter erfordert ausreichend hohe Kohärenz, homogenes Strahlprofil und hohe Puls-zu-Puls-Stabilität der Energie und der Strahlrichtung. Nur mit präziser Dosis und räumlich feststehender Modulation der Belichtung werden die gewünschten Parameter des FBG-Filters wie Mittenwellenlänge, Halbwertsbreite und Verlauf der Transmission erreicht.

Unter dem Einfluss eines gesteigerten Sicherheitsbedürfnisses werden zur Überwachung von Verformungszuständen in Betonbauwerken (z. B. Hochhäuser, Brücken, Tunnel etc.) langzeitstabile und dauerhaft zuverlässige Sensoren benötigt. Die reproduzierbare Messung kleiner Dehnungen über die gesamte Lebenszeit des Bauwerkes wird mit

Hilfe von zuverlässigen Dehnungssensoren auf der Grundlage von Faser-Bragg-Gittern erfasst. Diese eignen sich wegen ihrer hervorragenden Langzeitstabilität und ihrer elektromagnetischen Unempfindlichkeit in besonderem Maße für derartige Messaufgaben.

### Pulsed Laser Deposition

Eine Anwendung, die gerade vom Labor in die industrielle Produktion überführt wird, ist die Schichtabscheidung mittels gepulster Laserablation, das die Herstellung neuer funktionaler Schichten und Materialien erlaubt. Mit diesem konzeptionell einfachen, in der Vielseitigkeit aber mächtigen Werkzeug lassen sich stöchiometrisch komplexe Schichtsysteme herstellen.

Dabei wird mit einem intensiven Excimerlaserpuls ein Target aus dem Beschichtungsmaterial bestrahlt. Dies führt zum Abtrag des Materials vom Target, das ablatierte Targetmaterial wird dampfförmig auf ein oberhalb des Targets angeordnetes Substrat beschleunigt und scheidet sich dort als dünne Schicht ab. Die Komposition des sich abscheidenden Schichtsystems kann aus mehreren Targets der jeweiligen Komponenten oder aus einem bereits stöchiometrisch richtig zusammengesetzten Target bestehen. Das Bestechende der PLD ist, dass die Stöchiometrie aufgrund der enorm schnellen Verdampfung (Temperaturanstieg  $10^8$  K/s) weitestgehend erhalten bleibt.

Für PLD werden fast ausschließlich Excimerlaser benutzt, da diese im vakuum-ultravioletten Spektralbereich (VUV), wo alle Materialien eine hohe Absorption aufweisen, die

geforderten Pulsleistungen erbringen. Der zum Einsatz kommende Laser „ThinFilmStar“ wurde gegenüber Standardprodukten auf die folgenden Parameter hin optimiert:

► Eine schnelle Pulsanstiegsflanke (10 – 90 %) von wenigen Nanosekunden ablatiert effizient und erhält die Stöchiometrie.

► Niedrige Divergenz bedeutet hohe Leuchtdichte und erlaubt hohe Laserintensität auf dem Target.

► Hohe Strahlhomogenität führt zu gleichmäßiger Ablation und somit gut steuerbarer Abscheidung auf dem Substrat.

Dieser innovative Ansatz und das überaus kompakte Lasergehäuse sind für ein universelles Anlagensystem von wesentlicher Bedeutung. Der „ThinFilmStar“ (Abb. 1) ist einfach in das Anlagenkonzept integrierbar und wartungsfreundlich.

Der Excimerlaser hat sich vom kurzwelligen Exoten im Forschungslabor zum industriellen Werkzeug fortentwickelt. Beide Faktoren gemeinsam, die Ausweitung der Applikationen und die industriegerechte Handhabbarkeit der Laser, werden dem Excimerlaser auch in Zukunft die Türen noch weiter zu den unterschiedlichsten innovativen Anwendungen öffnen.

### Literatur

- [1] R. Sauerbrey und G. H. Pettit, Theory for the etching of organic materials by ultraviolet laser pulses, Appl. Phys. Lett. 55, 421 (1989)