

# KAMMERN FÜR DIE GROßFLÄCHIGE LASERBEARBEITUNG

R.Ebert, G.Reiße, H.Exner

Hochschule Mittweida, 09648 Mittweida, Deutschland

## Abstract

Laser machining in a chamber is necessary for a treatment process that requires a reactive or inert gas atmosphere, a defined vacuum pressure, high purity or the safe packaging of poisonous waste products. Usually chambers are used with laser coupling windows of up to 100 mm diameter. Consequently, a wide handling is not possible, since the coupling window limits the handling area.

In this paper new concepts for laser machining chambers are presented, with the possibility of laser treatment of wafers with diameters greater than 10" in vacuum (microelectronics, microsystem technique). Also systems can be realised which allow large area laser CVD.

Die Laserbearbeitung in einer Kammer ist erforderlich, wenn der Bearbeitungsprozeß eine bestimmte Reaktions- oder Inertgasatmosphäre, einen definierten Druck bis hin zum Vakuum, hohe Reinheit oder die sichere Kapselung entstehender toxischer Abprodukte erfordert. Üblicherweise werden für derartige Aufgaben Kammern mit einem Laserstrahl-einkoppelfenster bis zu einem Durchmesser von maximal 100 mm eingesetzt. Eine großflächige Bearbeitung ist damit nicht möglich, da das Einkoppelfenster die Bearbeitungsfläche limitiert.

Im folgenden werden neuartige Konzepte für Bearbeitungskammern vorgestellt, mit deren Hilfe z. B. die Laserbearbeitung von Wafern mit einem Durchmesser größer als 10" im Vakuum möglich ist (Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik). Ebenso lassen sich Anlagen für eine großflächige Laser CVD Beschichtung realisieren.

## 1. Einleitung

Kammern, welche für die Laserbearbeitung geeignet sind, weisen als optische Schnittstelle ein Laserstrahleinkoppelfenster auf, das für die jeweils verwendete Laserwellenlänge transparent sein muß; im VIS- und NIR-Bereich wird vorzugsweise Glas mit entsprechender optischer Qualität eingesetzt. Bei der Verwendung der Kammer unter Vakuumbedingungen wird das Fenster zusätzlich mechanisch mit einem Druck von 1bar belastet.

Das Einkoppelfenster beeinflusst die optischen Parameter der durchtretenden Laserstrahlung. Neben Absorption und Reflexion tritt vor allem bei fokussierter Strahlung eine Aberration auf. Der zu erzeugende Fokus wird in Richtung Substrat verschoben. Außerdem erfolgt eine Vergrößerung des Gaußschen Radius und der Rayleigh-Länge. Diese unerwünschten Effekte nehmen mit der Dicke des Fensters zu.

Soll ein besonders kleiner Fokus erzeugt werden (z.B. für die Mikrobearbeitung), muß in der Regel mit einem stark aufgeweiteten Laserstrahl und einer kurzbrennweitigen Fokussieroptik gearbeitet werden. Dadurch wird der Einfallswinkel der äußeren Strahlen vergrößert, was wiederum zu einer verstärkten Aberration führt.

Mit einfacher strahlenoptischer Berechnung erhält man für einen Laserstrahl mit einem Durchmesser von 10 mm bei Verwendung einer Optik mit 25 mm Brennweite und einem im Strahlengang befindlichen Glasfenster mit einer Dicke von 5mm einen Versatz des Fokus von 1,5 mm sowie eine Verlängerung um 50 µm.

Zur exakten Berechnung des Strahlführungs- und Fokussierungssystems ist das Fenster als optisches Element mit einzubeziehen.

Bei der Vakuumbearbeitung wirkt auf das Fenster der vorherrschende Luftdruck. Dies führt in Abhängigkeit von der Dicke des Fensters zu einer Durchbiegung. Insbesondere bei nicht fest mit dem Deckel verbundenen Fenstern (z.B. durch eine Dichtung) kann dies bei nicht ausreichender Dicke und Festigkeit zum Bruch des Fensters führen.

Für das Laserstrahleinkoppelfenster ergeben sich somit abgeleitet aus den optischen und den mechanischen Bedingungen widersprüchliche Anforderungen. Zur Gewährleistung einer geringen optischen Beeinflussung des Strahlenganges müßte das Fenster möglichst dünn sein. Um jedoch eine hohe mechanische Festigkeit auch unter Vakuumbedingungen aufrechtzuerhalten muß das Fenster eine entsprechende Dicke aufweisen.

## **2. Stand der Technik**

Die Laserbearbeitung in einer Vakuumkammer wird derzeit vor allem bei zwei Verfahren zur lasergestützten Schichtabscheidung praktiziert.

### **a) PLD (Pulsed Laser Deposition)**

Bei diesem Verfahren werden großvolumige feststehende Vakuumkammern, meist in kugelförmiger Ausführung, mit einem kleinen Laserstrahleinkoppelfenster eingesetzt /1/. Die Ablenkung des Laserstrahles erfolgt über relativ kleine Bereiche des Targets, so daß bisher keine großflächigen Laserstrahleinkoppelfenster erforderlich sind.

### **b) Laser CVD (Chemical Vapor Deposition)**

Die bekannteste Anlagenkonfiguration zur Durchführung des Laser CVD Verfahrens besteht aus einer kleinen Vakuumkammer, welche auf einem X-Y Bewegungssystem montiert ist und ein entsprechend der verwendeten Laserwellenlänge transparentes Laserstrahleinkoppelfenster besitzt /2/. Der Laserstrahl wird durch das Einkoppelfenster hindurch auf die Substratoberfläche geführt. Durch die Bewegung der gesamten Kammer können aufgrund der Relativbewegung zum Laserstrahl Strukturen erzeugt werden. Üblicherweise werden solche Kammer für die Lasermikrobearbeitung, speziell die Reparatur von Schaltkreisen und Masken, eingesetzt. Eine Skalierung des Verfahrens bis hin zur Bearbeitung von großen Flächen (10" oder größer) ist in dieser Form nicht möglich, da das Lasereinkoppelfenster aus den oben genannten Gründen nicht beliebig vergrößert werden kann.

Um auch größere Flächen bearbeiten zu können, wurde bisher das X-Y Bewegungssystem in die Kammer verlegt. Dies hat den Nachteil, daß für die volle Ausnutzung der Bearbeitungsfläche ein mindestens vierfach vergrößertes Volumen in der Kammer realisiert werden muß. Außerdem werden alle Teile des Bewegungssystems den Reaktionsgasen ausgesetzt.

## **3. Kammern zur großflächigen Laserbearbeitung**

### *3.1. Kammer zur Laserbearbeitung unter definierter Gasatmosphäre bei Normaldruck*

Diese Bearbeitungskammer besteht aus drei Teilen /3/ (Bild1). Im ersten Teil der Kammer erfolgt die Beladung sowie eine Plasmabehandlung (Reinigung oder Schichtabscheidung) der Substrate. Hierzu ist in der Kammertür eine Plasmaeinrichtung integriert. Im zweiten Teil der Kammer findet die Laserbearbeitung statt. Befindet sich der Substrathalter im Teil der Plasmaeinrichtung, dann sind unter dem Lasereinkoppelfenster Stützelemente plziert, die während der Evakuierung und der Plasmabehandlung eine Zerstörung des

Fensters verhindern. Im dritten Teil werden die Stützelemente während der Laserbearbeitung geparkt. Die Kammer benötigt somit das dreifache Volumen gegenüber dem Volumen über der Bearbeitungsfläche.

In dieser Kammer kann ein Laser CVD Prozeß, der unter Normaldruck stattfindet, in folgender Art und Weise durchgeführt werden:

1. Öffnen der Kammer und beladen mit den entsprechenden Substraten
2. Evakuieren der gesamten Kammer und Plasmareinigung der Substrate
3. Befüllen der Reaktionskammer mit Reaktionsgas
4. Verfahren des Substrates unter das Lasereinkoppelfenster
5. Durchführung des Laser CVD Prozesses
6. Rückfahren des Substrates unter die Befüllungsklappe
7. Absaugen der Reaktionsgase und füllen der Kammer mit Stickstoff
8. Substratwechsel

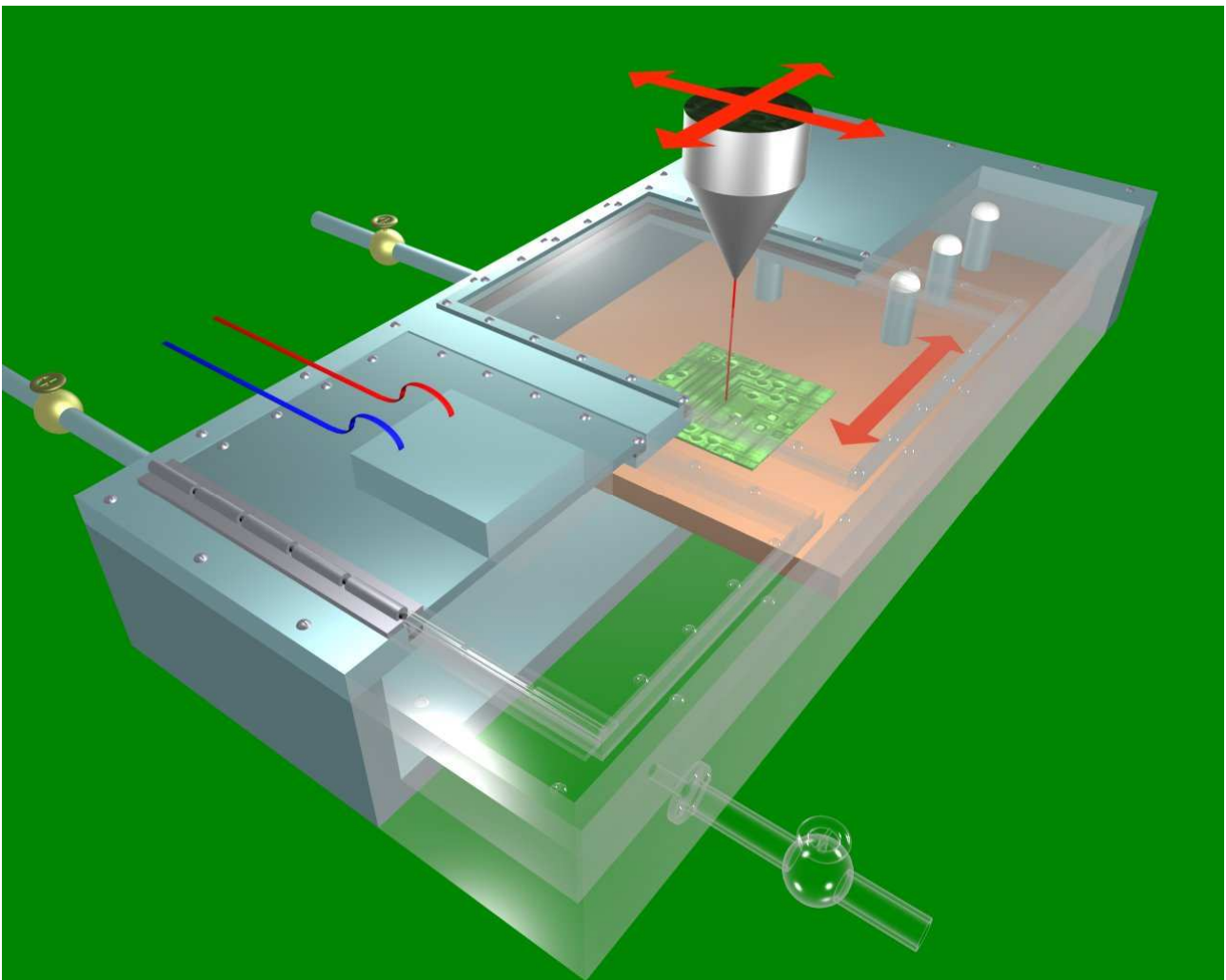


Bild 1 Kammer mit integrierter Plasmabehandlung zur Laserbearbeitung unter definierter Gasatmosphäre bei Normaldruck

Weitere Anwendungsmöglichkeiten für das vorgestellte Kammerkonzept ergeben sich durch folgende Prozesse:

- großflächige Schichtabscheidung mit Hilfe der Plasmaeinrichtung und anschließende Lasermodifizierung (großflächig homogen oder lateral strukturiert) der abgeschiedenen Schichten unter definierter Gasatmosphäre

- Laserbearbeitung mit Entstehung hochtoxischer Abprodukte
- Kombination von Bearbeitungsprozessen (Wechselprozesse Plasma- / Laserbearbeitung) ohne Zwischenbelüftung der Kammer
- Laserätzen unter Normaldruck
- Laser CVD unter Normaldruck (z.B. Abscheidung von TiN aus  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$ ).

### 3.2. Kammer zur Laserbearbeitung im Vakuum

Für eine großflächige Laserbearbeitung unter Vakuumbedingungen ist eine neuartige Kammer geeignet, welche als wesentliche Merkmale ein rechteckiges langgestrecktes Lasereinkoppelfenster und eine dynamische Dichtung für die Deckplatte besitzt (Bild 2).

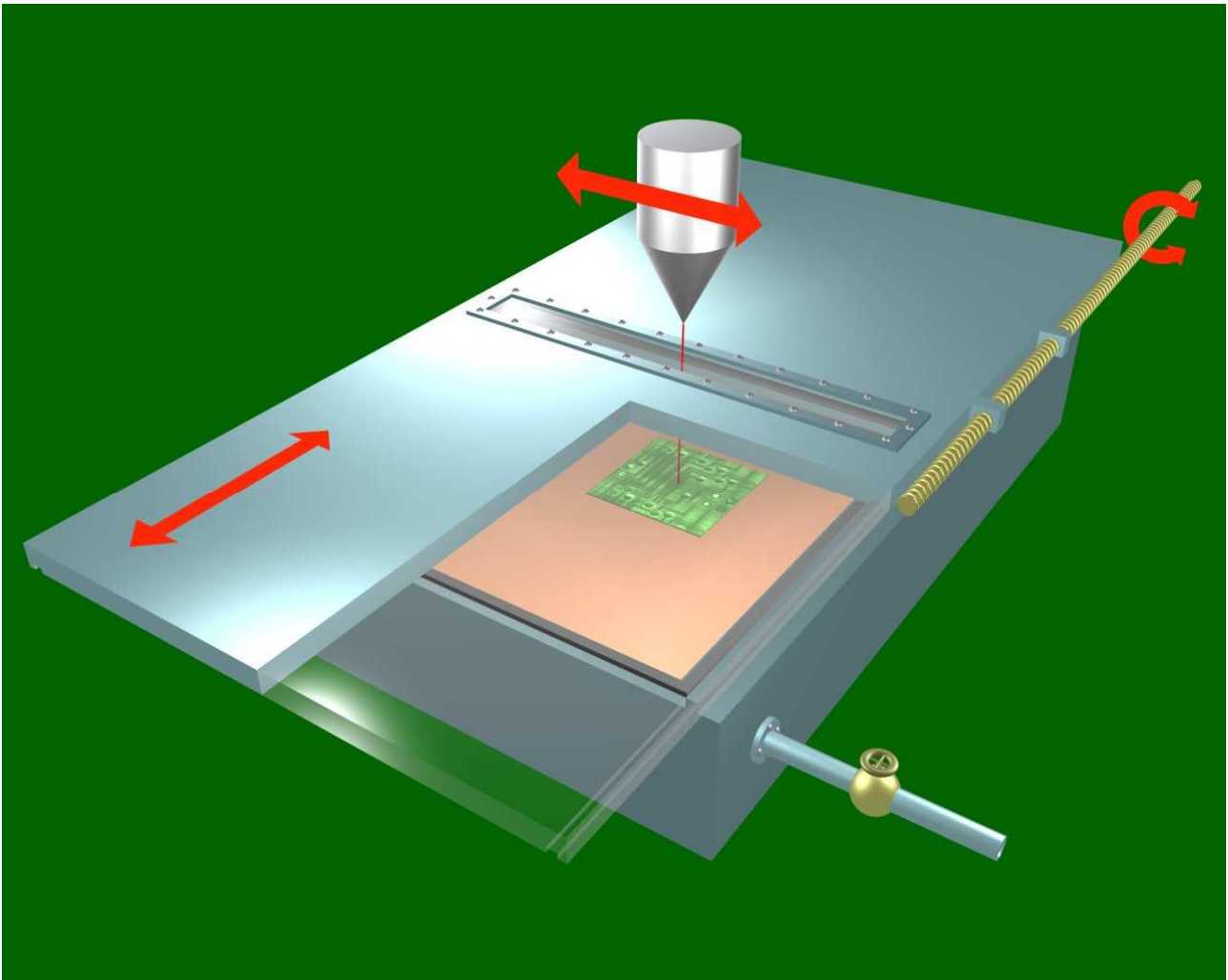


Bild 2 Prinzipieller Aufbau einer Kammer zur großflächigen Laserbearbeitung im Vakuum

Die eine Richtung der Relativbewegung Laserstrahl – Substrat wird durch überstreichen des Lasereinkoppelfensters mit dem Laserstrahl realisiert, für die andere Richtung wird die gesamte Deckplatte mit Hilfe eines an der Kammer angebrachten Antriebes bewegt. Die zur Abdichtung der Deckplatte auf dem Kammergrundkörper eingesetzte dynamische Dichtung besteht aus einem gleitfähigen Material, z.B. Teflon. Dadurch kann die Deckplatte gegenüber dem Grundkörper entsprechend bewegt werden. Um den Verschleiß der Dichtung relativ gering zu halten, ist die Unterseite der Deckplatte geschliffen. Durch eine Zwischenabsaugung kann die Leckrate einer solchen Dichtung so gering gehalten werden, daß auch eine Bearbeitung unter Hochvakuum möglich ist.

Die Grundplatte der Kammer und das zu bearbeitende Substrat befinden sich während des Bearbeitungsprozesses in Ruhe.

Das Fenster kann auf Grund seiner schmalen Ausführung dünn gehalten werden, wodurch die Beeinflussung der optischen Parameter des durchtretenden Laserstrahles relativ gering bleibt. Bei einigen Bearbeitungsprozessen im Vakuum (Laser CVD, Materialbearbeitung) kann es zur Innenbeschichtung des Fensters kommen. Dadurch ist es in regelmäßigen Abständen in Abhängigkeit vom durchgeführten Prozeß nötig, das Fenster zu reinigen oder auszutauschen. Ein dünnes schmales Fenster bringt beim Austausch Kostenvorteile.

Bei dieser Kammerausführung ist kein zusätzliches Volumen für die Relativbewegung von Laserstrahl und Substrat erforderlich, was zu einer Prozeßkostenreduzierung beiträgt.

Es sind verschiedene spezielle Ausführungen der Laserstrahlanordnung realisierbar:

- die Laserstrahlquelle wird direkt auf der Fensterplatte angebracht, es tritt somit kein Präzisionsverlust bei der Strahlführung auf; zum Erreichen der gesamten Bearbeitungsfläche ist neben der Fensterbewegungsachse nur eine weitere Achse für die Laserstrahlbewegung entlang des Einkoppelfensters erforderlich; die Bearbeitungsoptik wird je nach benötigter Brennweite vor oder nach dem letzten Umlenkspiegel eingefügt (Bild 3)
- der Laserstrahl wird über eine Faser an die Bearbeitungsstelle herangeführt (Bild 4)
- der Laserstrahl (Diodenlaser, Excimerlaser) wird als Linienfokus über die ganze Breite des Einkoppelfensters auf das Substrat gerichtet (Bild 5)
- die Laserstrahlquelle wird direkt auf der Fensterplatte befestigt; über dem Einkoppelfenster ist ein Präzisionsscanner an einer Linearachse angebracht (Bild 6), die zur Positionierung des Scanners dient; die Strahlablenkung auf dem Werkstück erfolgt mit Hilfe des Scanners

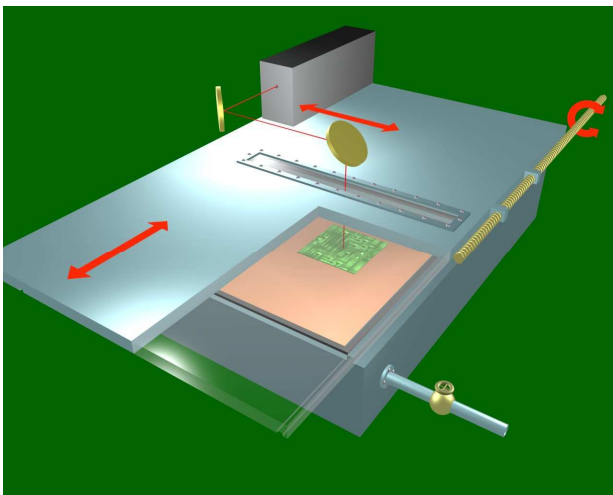


Bild 3 Mitbewegte Laserquelle

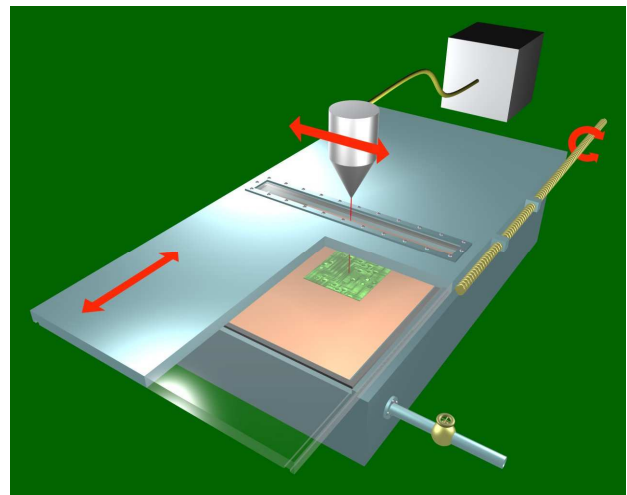


Bild 4 Fasergeführter Laserstrahl

Sollen Bearbeitungsverfahren realisiert werden, bei denen eine höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit/Beschleunigung erforderlich ist (z.B. Mikroschneiden), ist parallel zu der Fensterbewegungsachse noch eine Achse für den letzten Umlenkspiegel über die Breite des Einkoppelfensters (ca. 10-20 mm) zu realisieren. Mit einer solchen Konfiguration kann die Fensterbewegungsachse entweder ausschließlich zur Positionierung wie bei der Anordnung mit Scanner (Bild 6) oder im Parallelbetrieb mit der Achse des Spiegels verwendet werden.

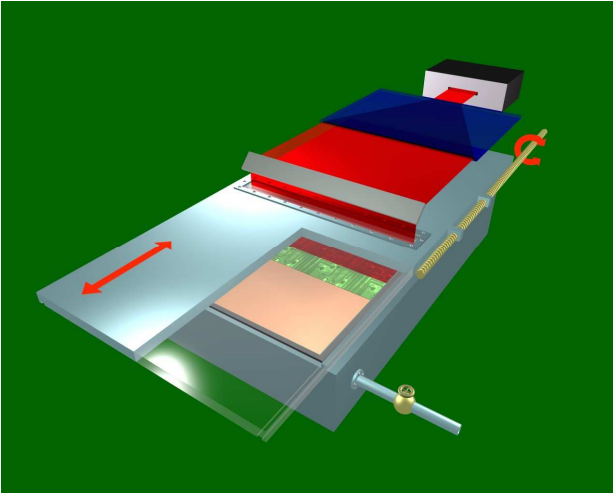


Bild 5 Oberflächenbearbeitung mit Breitstrahlquelle

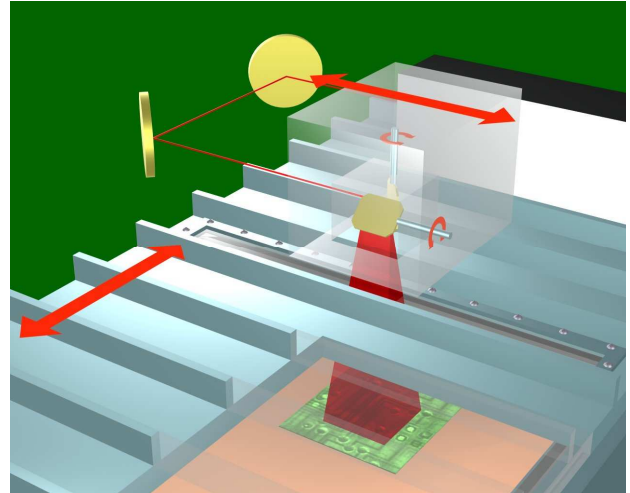


Bild 6 Mikrobearbeitung mit Scanner

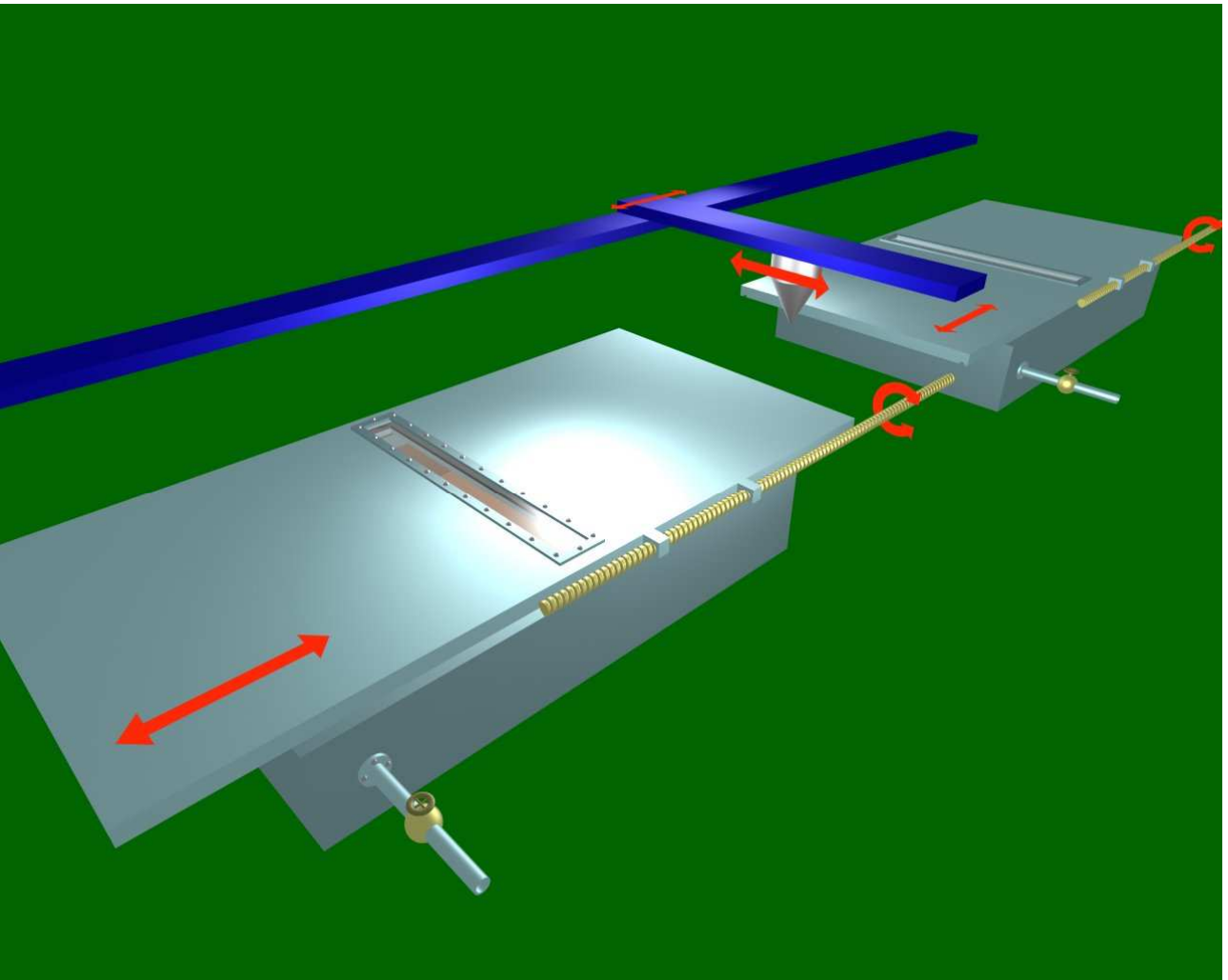


Bild 7 Doppelkammersystem und Portalanlage zur produktiven Laserbearbeitung im Vakuum

Mit den Kammern und den dazugehörigen Laserstrahlanordnungen (Bilder 3,4 und 6) lassen sich verschiedene Verfahren der Lasermikrobearbeitung auf großen Flächen realisieren:

- Laser CVD (Erzeugung von Leitbahnen und Durchkontaktierungen)
- Laserätzen
- Direktbelichtung im Vakuum
- Materialbearbeitung (Bohren, Schneiden, Strukturieren).

Für eine großflächig homogene Laserbearbeitung im Vakuum ist die Anordnung nach Bild 5 geeignet. Folgende Verfahren sind realisierbar:

- Laser CVD
- Oberflächenbearbeitung (z.B. Laser annealing für TFT-Bildschirme)
- Laserreinigen von Oberflächen.

Für die industrielle Anwendung der Laserbearbeitung im Vakuum ist eine Doppelkammeranlage mit Laserstrahlführungsportal geeignet (Bild 7). Hierbei findet in einer Kammer die Laserbearbeitung statt, während in der anderen Kammer das Beladen mit Substraten und die Evakuierung durchgeführt werden kann. Der Laserbearbeitung kann wechselseitig in beiden Kammern und bei voller zeitlicher Auslastung erfolgen, wodurch eine hohe Produktivität garantiert ist. Die Bewegung des Laserstrahles erfolgt über das Portal, die Bewegung der Deckplatte der Kammer muß entsprechend synchronisiert werden. Durch die Breite des Fensters ist allerdings vor allem bei Bewegungen mit kurzen Wegen keine exakte Synchronisation erforderlich.

#### 4. Zusammenfassung

Es wurden neuartige Kammern für die Laserbearbeitung vorgestellt. Mit Hilfe dieser Kammern kann die Laserbearbeitung großflächig unter definierter Gasatmosphäre oder im Vakuum durchgeführt werden. Es können neue Verfahrensvarianten der Laserbearbeitung realisiert werden.

#### Literaturnachweis:

1. G. Reißer, B. Keiper, S. Weißmantel, U.Falke: „Pulsed Laser Deposition and Modification of Diamondlike Carbon Films“, presented at the ”Fourth International Conference on Laser Ablation COLA 97”, July 21-25, 1997, Monterey, USA, Applied Surface Science 127-129 (1998) 500-506.
2. G. Reisse, R. Ebert; „Titanium nitride thin film deposition by Laser CVD“, presented at 2nd Int. Conf. on Photo-Excited Processes and Applications, 17-21 September 1995, Jerusalem, Israel, Applied Surface Science, Vol. 106 (1996) 268-274.
3. Ebert, R.; U.Illmann; G.Reißer; Anordnung und Verfahren zur flexiblen Erzeugung von Mikrostrukturen auf großen Flächen, Patentschrift DE 195 07 206 C2, Patentklasse C23C16/48, Priorität: 2.3.1995