

Strahlformungsmethoden für die Laserbearbeitung von dünnen Schichten

B. Wojakowski*, A. Schoonderbeek, O. Suttman, J. Düsing, R. Kling

*Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithalle 8, 30419 Hannover

mailto:b.wojakowski@lzh.de

Für die flächige Bearbeitung dünner Schichten mit einem Festkörperlaser wäre eine homogene Intensitätsverteilung zielführend. Dennoch wird in den meisten Fällen mit dem Gaußschen Strahlprofil gearbeitet. In dieser Arbeit werden daher zum Erreichen einer bestmöglichen Bearbeitungsqualität verschiedene Möglichkeiten zur Einstellung eines definierten Intensitätsprofils in der Praxis untersucht.

1 Einleitung

Für die Strukturierung von Dünnschichtsystemen hat sich der Festkörperlaser als ideales Werkzeug erwiesen. Zu seinen positiven Eigenschaften zählen berührungsloses Arbeiten, selektiver Schichtabtrag und kleinste erzielbare Strukturgrößen. Ein Nachteil besteht darin, dass oftmals ein Strahlprofil der TEM_{00} Mode vorliegt, welche einen gaußkurvenförmigen Verlauf hat.

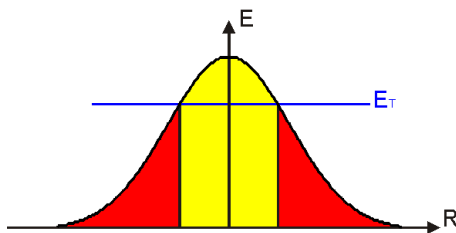


Abbildung 1 Gaußprofil eines Laserstrahls. E_T markiert die materialspezifische Abtragsschwelle. Rot/dunkel markiert: Energie, die nicht zum Abtrag beiträgt.

Diese Energieverteilung hat den Nachteil, dass bei der Laserbearbeitung nicht an allen Orten innerhalb des Strahlprofils die materialspezifische Abtragsschwelle erreicht wird. Die Energie wird dann allein in Form von Wärme in das Material eingetragen, infolge dessen es zur verstärkten Bildung von Schmelze oder Gefügeveränderungen kommt. Dies ist insbesondere bei der Nutzung ultrakurzer Pulse problematisch, bei der auf diese Weise der erwünschte Effekt des "kalten Abtrages"[1] aufgehoben wird.

Im Folgenden werden drei Methoden skizziert, mit denen eine Umformung des Gaußstrahles realisiert werden kann, um die Nachteile dieses Strahlprofils zu überwinden.

2 Vorstellung der Methoden

2.1 Maskenprojektion

In Abbildung 2 ist der schematische Aufbau für eine Maskenprojektion gezeigt. Hierbei wird der Gaußstrahl zunächst aufgeweitet und mit diesem aufgeweiteten

Strahl eine Blende mittig beleuchtet. Die Größe der Blende wird so gewählt, dass der Leistungsabfall zwischen Mitte und Rand der Öffnung etwa 10% beträgt. Im Gegensatz zu Abträgen mit unbehandelten Strahlen dient die nun folgende Linse nicht zur Erzeugung eines möglichst kleinen Abbildes des Ausgangsstrahls sondern zur Abbildung eines reellen Bildes der Blende auf das Werkstück.

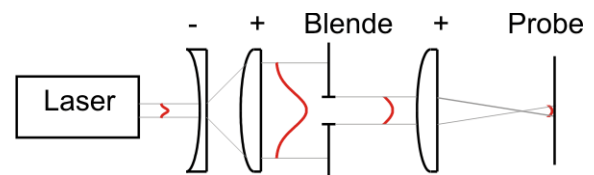


Abbildung 2 Schematischer Aufbau der Maskenprojektion.

Der Vorteil dieser Methode liegt in ihrer relativ einfachen Durchführbarkeit und der Nutzung kostengünstiger Standardkomponenten. Ein Nachteil ist die Beeinflussung des Abtrages durch Beugungseffekte am Rand der Blende. Zum Anderen wird durch das Abschneiden des Strahlprofils ein Großteil der verfügbaren Energie von der Blende absorbiert, was zum Einen eine Überdimensionierung der Strahlquelle und zum Anderen eine hinreichende Widerstandsfähigkeit der Blende selbst erfordert.

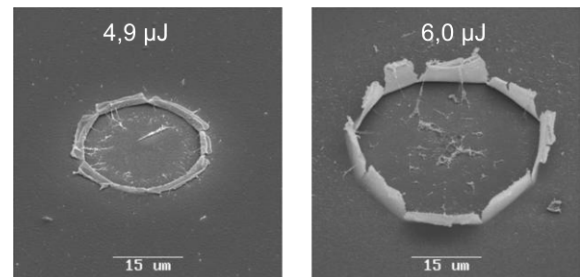


Abbildung 3 Punktabträge in einer Aluminiumschicht auf einem Polymersubstrat. $\lambda=532$ nm, $\tau=10$ ns.

Auf Abbildung 3 ist das Abtragsbild einer solchen Maskenprojektion zu sehen. Es wurde eine Aluminiumdünnschicht vom photoaktiven Polymer einer organi-

schen Solarzelle entfernt. Hierbei fällt neben der Homogenität des Abtrages auf, dass dennoch Abplatzungen der obersten Schicht im Randbereich auftreten. Dennoch erlaubt das veränderte Strahlprofil ein vergrößertes Prozessfenster gegenüber dem Rohstrahl[2].

2.2 Refraktive Strahlformung

Bei der refraktiven Strahlformung werden lichtbrechende optische Komponenten verwendet, um die Energie innerhalb des Strahlprofils umzuverteilen. Dies kann beispielsweise mittels eines Axicons oder mit Mikrolinsenarrays geschehen. Die Experimente zeigen eine hohe Empfindlichkeit der Strahlformmodule gegenüber Justagefehlern. Abbildung 4 zeigt Abträge in einem Palladiumfilm der Dicke 200 nm. Gut sichtbar ist eine Inhomogenität im Strahlprofil, die dafür sorgt, daß bei 2 µJ Pulsenergie punktuell die Schicht durchbohrt wurde, im Bereich des quadratischen Tophat sonst allerdings nur Anschmelzungen zu beobachten sind. Bei einer höheren Pulsenergie scheint das gesamte Profil oberhalb der Abtragsschwelle zu liegen, bei nochmals erhöhter Pulsenergie kommt es dann allerdings zu einer starken Schädigung des unterliegenden Substrates.

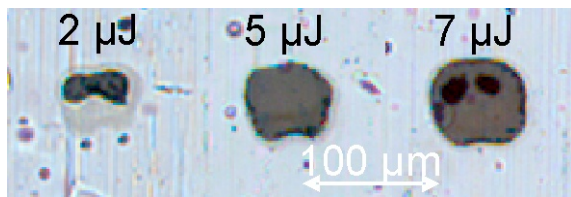


Abbildung 4 Abträge in einer 200 nm dicken Pd-Dünnschicht, $\lambda=532$ nm, $\tau=12$ ps.

2.3 Diffraktive Strahlformung

Eine dritte Möglichkeit besteht in der Ausnutzung von Beugungseffekten, um durch vorberechnete Interferenzmuster eine Umverteilung der Energie innerhalb des Strahlprofils zu erreichen. Wie auch bei der refraktiven Strahlformung ist bei diesem Verfahren eine genaue Positionierung des optischen Elementes wichtig, da schon leichte Abweichungen zu einer Verschiebung der Energiedichte führen. Bei dem hier verwendeten Gauß to Tophat Modul handelt es sich um ein Hybridelement, d.h. eine Plankonvexlinse, auf deren planer Seite ein transmittives diffraktives optisches Element aufgebracht ist. Als Konsequenz hiervon besitzt auch dieses Modul, wie auch der Aufbau zur Maskenprojektion zwei wesentliche Arbeitspunkte: zum einen der Fokus des refraktiven elements zum anderen der Arbeitsabstand, an dem die Beugungsbedingungen des Strahlformungsbildes für Amplitude und Phase erfüllt sind. Da die Leistungsdichte im Bereich des Tophats um den Faktor fünf niedriger als im Fokus ist, wird hierdurch die Suche nach dem Tophat Arbeitsabstand stark erschwert. Im auf Abbildung 5 gezeigten Beispiel sind an den Ecken des Quadratischen Tophat Pro-

files starke Leistungsüberhöhungen zu beobachten, die letztendlich auch dazu führen, dass die Leistung im Mittelteil des Profils für einen Abtrag nicht ausreicht. Zu bedenken ist jedoch, daß, wie auch beim refraktiven Formen, nahezu die komplette Leistung des Rohstrahls in den umgeformten Strahl konvertiert wird.

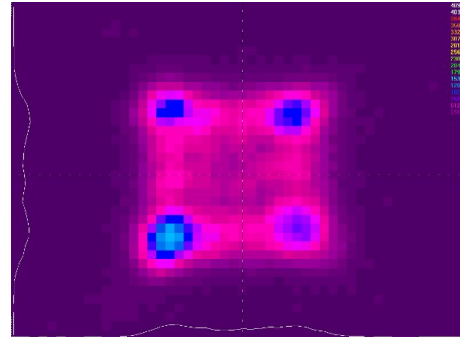


Abbildung 5 Profil eines Gauß to Tophat konvertierten Strahls. Die Kantenlänge des Quadrates beträgt 100 µm.

3 Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Arten der Beeinflussung der Leistungsverteilung im Strahlprofil eines Lasers gezeigt. Die Maskentechnik zeichnet sich durch einen sehr einfachen Aufbau aus hat jedoch als Nachteil die Absorption an der Maske selbst, der beim Aufbau Rechnung getragen werden muss, sowie der Verlust von Leistung im ungenutzten Teil des Profils.

Die refraktive sowie die diffraktive Strahlformung haben den Vorteil der nahezu kompletten Ausnutzung der Leistung der Strahlquelle. Beide Verfahren sind jedoch anfällig gegen Justagefehler und Abweichungen vom vorausgesetzten Eingangsstrahl.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die freundliche Unterstützung der Firma Laser Components GmbH in Olching.

Literatur

- [1] U.Klug, F. Siegel: "Laser Micro Processing using short Laser Pulses," in *Laser Technik Journal*(Nr. 1, S. 32-35, 2007)
- [2] A. Schoonderbeek, L. Richter, R. Kling, B. Muhsin, G. Gobsch, H. Hoppe: "Laser structuring of thin-films in organic electronics," in *Proc. LOPE-C 09, Frankfurt* (ISBN 978-3-00-028063-4, 2009)
- [3] F. Siegel, O. Haupt, R. Kling: "High throughput micro machining due to parallel laser processing," in: *PICALO - 4th Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics. Wuhan, China, 23.-25. März 2010*, (Paper M604, 2010)