

# Vergleich verschiedener physikalischer Modelle zur Beschreibung der polarisationsabhängigen Reflektometrie und Ellipsometrie

M. Olbrich<sup>1</sup>, M. Frank<sup>1</sup>, T. Pflug<sup>1</sup>, and A. Horn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Schillerstraße 10, 09648 Mittweida, Deutschland  
Email: molbrich@hs-mittweida.de

Die Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung ist für die Erzeugung von hochpräzisen Strukturen mit guter Qualität sehr wichtig und findet z. B. in der Solarindustrie oder der 3D-Strukturierung mit hoher Genauigkeit der abgetragenen Struktur tiefen und Qualität der Strukturkanten [1]. Bei der Bestrahlung von Metallen werden experimentell in Abhängigkeit von der Fluenz der Laserstrahlung zwei unterschiedliche Ablationsregime beobachtet, das sogenannte gentle- und strong-Abtragsregime [2]. Trotz der Forschungen der letzten Jahre ist der Ablationsprozess an sich nicht vollständig verstanden und die gewünschten Prozessparameter in den genannten Anwendungen werden hauptsächlich empirisch gefunden. Die ultraschnelle Pump-Probe-Messmethode [3] in Kombination mit numerischer Modellierung stellt die ideale Methode dar, um die unzureichenden Kenntnisse über den Ablationsprozess zu verbessern. In dieser Arbeit wird die klassische Ellipsometrie mit Pump-Probe-Aufbau kombiniert, wodurch der komplexe Brechungsindex und eine evtl. vorhandene Schichtdicke einer Materialoberfläche orts-, zeit- und spektroskopisch aufgelöst dargestellt werden können. Der konstruierte Pump-Probe-Aufbau ermöglicht zusätzlich ultraschnelle polarisationsabhängige Reflektometrie, Schattenphotographie und Brewster-Winkel-Mikroskopie. Zusätzlich werden theoretische Untersuchungen durchgeführt, um die experimentellen Daten korrekt interpretieren zu können. Wegen der großen Vielzahl der verfügbaren physikalischen Theorien und deren Abhängigkeit vom verwendeten Material und der Fluenz der Strahlung ist die Auswahl eines geeigneten Modells sehr herausfordernd. Deswegen werden in dieser Arbeit verschiedene Modelle zur Berechnung der Temperaturverteilung im Material mit verschiedenen Ansätzen für die thermophysikalischen Parameter [4-10] (Tab. 1) miteinander und mit den Ergebnissen der zeitaufgelösten Experimente verglichen. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass kein verwendetes Modell die experimentellen Ergebnisse ausreichend gut beschreibt (Abb. 1). Im Gegensatz dazu sagten frühere einfache Berechnungen der Temperaturverteilung die Abhängigkeit der Schwellfluenz für Ablation von der Pulsdauer der Laserstrahlung sehr gut voraus [9]. Um eine bessere Übereinstimmung mit den Experimenten zu erhalten, werden weitere Untersuchungen unter Berücksichtigung der thermischen Elastizität des Materials [11] sowie hydrodynamischer Ansätze [12] zur Darstellung der Dynamik des Ablationsprozesses durchgeführt.

Tab. 1. Übersicht der Modelle zur Berechnung der thermophysikalischen ( $C_e$ ,  $k_e$ ) und optischen ( $\epsilon$ ) Parameter

|                                   | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | <i>f</i> | <i>g</i> |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Volumenwärmekapazität $C_e$       | [6]      | [4]      | [6]      | [6]      | [6]      | [6]      | [6]      |
| Thermische Leitfähigkeit $k_e$    | [10]     | [10]     | [8]      | [5]      | [9]      | [9]      | [5]      |
| Dielektrische Funktion $\epsilon$ | [7]      | [7]      | [7]      | [7]      | [7]      | [9]      | [9]      |

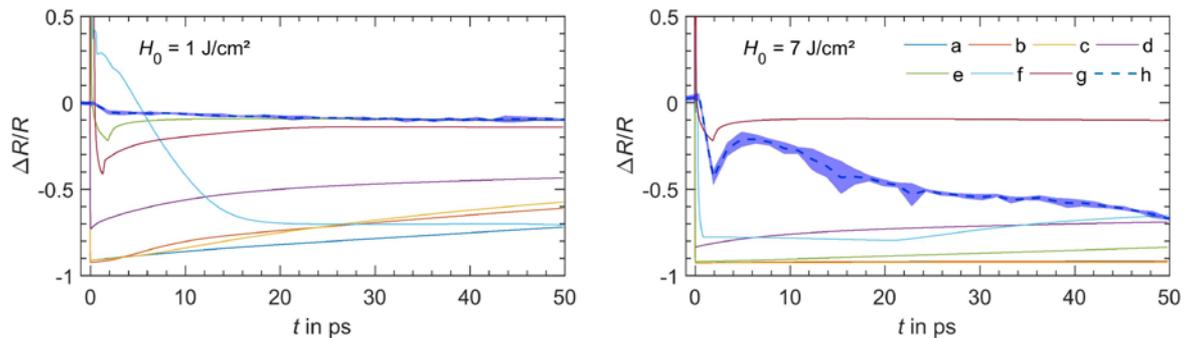


Abb. 1. Vergleich der numerisch erhaltenen relativen Reflektivitätsänderungen verschiedener Modelle (a – f) und den experimentell ermittelten relativen Reflektivitätsänderungen (h) für die Fluenzen  $H_0$  von 1 J/cm<sup>2</sup> (links) und 7 J/cm<sup>2</sup> (rechts); die Schwellfluenz für gentle-Abtrag beträgt  $H_{thr,gentle} = 1.22$  J/cm<sup>2</sup>

- [1] K. Sugioka, *Ultrafast Laser Processing: From Micro- to Nanoscale: From Micro- to Nanoscale* (CRC Press, Hoboken, 2013)
- [2] M. Olbrich, E. Punzel, R. Roesch, R. Oettking, B. Muhsin, H. Hoppe, A. Horn, *Appl. Phys. A* **122** (2016)
- [3] A. Horn, *Ultra-fast material metrology* (Wiley-VCH, Weinheim, 2009)
- [4] J.K. Chen, D.Y. Tzou, J.E. Beraun, *International Journal of Heat and Mass Transfer* **49**, 307 (2006)
- [5] C.A. Dold, *Picosecond laser processing of diamond cutting edges* (2013)
- [6] Z. Lin, L.V. Zhigilei, V. Celli, *Phys. Rev. B* **77** (2008)
- [7] Y. Ren, J.K. Chen, Y. Zhang, J. Huang, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 191105 (2011)
- [8] X.Y. Wang, D.M. Riffe, Y.-S. Lee, M.C. Downer, *Phys. Rev. B* **50**, 8016 (1994)
- [9] M. Olbrich, E. Punzel, P. Lickschat, S. Weißmantel, A. Horn, *Physics Procedia* **83**, 93 (2016)
- [10] S.I. Anisimov, B. Rethfeld, in *Nonresonant Laser-Matter Interaction*, ed. by V.I. Konov, M.N. Libenson (SPIE, 1997), p. 192
- [11] J.K. Chen, J.E. Beraun, C.L. Tham, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **4**, 650 (2002)
- [12] A.V. Mazhukin, V.I. Mazhukin, M.M. Demin, *Applied Surface Science* **257**, 5443 (2011)