

Untersuchung der dynamischen Prozesse bei Erwärmen und Abtragen dünner Goldschichten nach Anregung mit ultrakurz gepulster Strahlung

T. Pflug¹, M. Olbrich¹, M. Frank¹, E. Punzel¹, and A. Horn¹

¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences Mittweida, Schillerstraße 10, 09648 Mittweida, Deutschland
Email: tpflug1@hs-mittweida.de

Um die dynamischen Prozesse bei der Materialbearbeitung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung besser verstehen zu können, ist eine Messung mit großer zeitlicher Auflösung der prozesscharakterisierenden physikalischen Größen notwendig. Dafür wird die zeitliche und örtliche Veränderung des komplexen Brechungsindex \tilde{n} bei Bestrahlung mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung gemessen, indem ein Ellipsometer mit einem Pump-Probe-Aufbau (Abb. 1) kombiniert wird. Diese Arbeit beschreibt die Konstruktion und die Kalibrierung dieses Pump-Probe-Aufbaus, mit dem orts-, zeit- und spektroskopisch aufgelöste Brewster-Winkel-Mikroskopie, Reflektometrie, Ellipsometrie und Schattenphotographie möglich ist. Dadurch wird die zeitaufgelöste Messung der Brechzahl n , des Extinktionskoeffizienten k und der Schichtdicke d einer Materialoberfläche während des Ablationsprozesses ermöglicht [1]. Die verwendete Laserstrahlung (1) wird dabei in Pumpstrahlung (800 nm, 35 fs) und Probestrahlung (515 nm, 150 fs) geteilt. Der optische Weg der Pumpstrahlung kann zeitlich um 13,3 fs bis zu 6 ns mit einer Verzögerungsstrecke (3) verschoben werden.

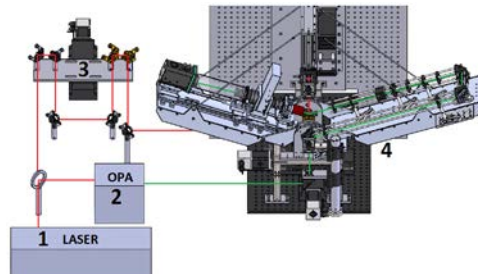


Abb. 1. Pump-Probe-Ellipsometer; 1) Laserstrahlungsquelle emittiert Pumpstrahlung mit $\lambda = 800$ nm; 2) Optisch parametrischer Verstärker emittiert Probestrahlung mit $\lambda = 515$ nm; 3) Verzögerungsstrecke variiert optischen Weg der pumpstrahlung; 4) Ellipsometer

Zur Validierung des konstruierten Ellipsometers werden die gemessenen optischen Eigenschaften verschiedener Dielektrika, Halbleiter und Metalle mit den Messergebnissen eines kommerziellen Ellipsometers (nanofilm_ep4, Accurion Inc.) verglichen. Die Abweichung ist dabei kleiner 10 %. Erste Messungen der Änderung des komplexen Brechungsindex von Gold (unbeschichteter Goldspiegel, $R_a < 3$ nm) bei der Wechselwirkung mit Pumpstrahlung unterhalb der Abtragschwelle für gentle-Abtrag ($H_{th,gen} = 1.22$ J/cm²) werden in einem Zeitbereich von 30 ps und einer zeitlichen Auflösung von 1,5 ps durchgeführt (Abb. 2). Der Zeitpunkt der ersten Änderung von Brechzahl und Extinktionskoeffizient wird als $t = 0$ ps definiert. Dabei ist ein abrupter Anstieg der Brechzahl und des Extinktionskoeffizienten innerhalb des ersten Messwertes nach $t = 0$ ps zu erkennen. Ursache dafür könnte eine sich ausbreitende Schmelze sein [2]. Nach dem abrupten Anstieg steigt die Brechzahl im betrachteten Zeitbereich kontinuierlich an. Der Extinktionskoeffizient sinkt bis etwa $t = 5$ ps und bleibt danach in etwa konstant. Eine Relaxation des komplexen Brechungsindex findet im betrachteten Zeitbereich von 30 ps nicht statt. Die physikalischen Vorgänge während der Bestrahlung mit ultrakurzgepulster Laserstrahlung sollen mit einem Modell beschrieben werden. Dafür wird die Dispersion des komplexen Brechungsindex von Substrat und einer sich eventuell ausbreitenden Schmelze mit mehreren Oszillatoren über das Drude-Lorentz-Modell und das Modell des effektiven Mediums berechnet [1].

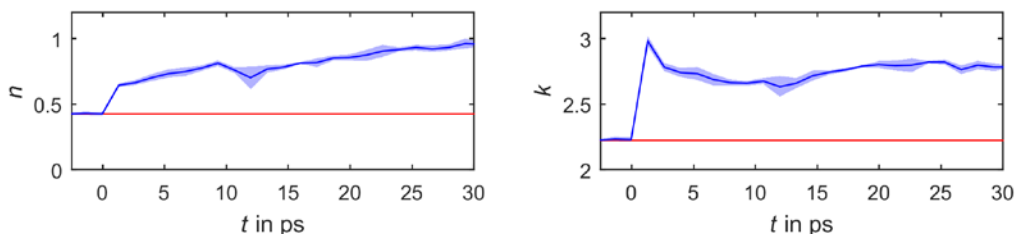


Abb. 2. Brechzahl n (links) und Extinktionskoeffizient k (rechts) von Au als Funktion der Zeit bei der Wellenlänge 515 nm der probestrahlung bei Bestrahlung mit ultrakurzgepulster Pumpstrahlung mit 800 nm Wellenlänge bei einer Fluenz von 60 % der $H_{th,gen}$ (rote Linien stellen n und k von Gold bei Raumtemperatur dar)

[1] H. Fujiwara, "Spectroscopic Ellipsometry", (John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Uk, 2007)

[2] M. Schmid, S. Zehnder, P. Schwaller, B. Neuenschwander, M. Held, U. Hunziker, and J. Zürcher, "Measuring optical properties on rough and liquid metal surfaces", ALT 12 Advanced Laser Technologies 2-6 (2012)