

A. Ergänzende Aufnahmen

An dieser Stelle wird eine Auswahl von weiteren Aufnahmen der im Rahmen der Ablationsmessungen geschossenen Löcher, Kap.(5)₈₇, gezeigt. Die Aufnahmen wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) gemacht.

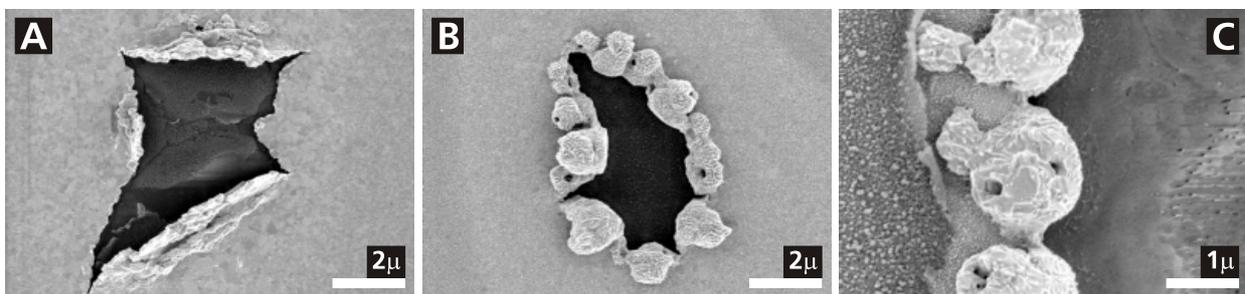


Abbildung A.1.: Ablations-SEM-Bilder von einem Gold-Film (#A: 100 nm, #B und #C: 500 nm), der auf einen 2 nm-Cr-Haftvermittler aufgebracht war. Es ist kein Unterschied in der Haftungsstärke zur Unterlage im Vergleich zu Abb.(5.7)₉₇ (ohne Cr-Schicht) zu erkennen.

In Abb.(A.1) werden Aufnahmen von Löchern gezeigt, die mit unterschiedlichen Fluenzen in einen Gold-Film geschossen wurden. Im Gegensatz zu den in Abb.(5.7)₉₇, Abb.(5.8)₉₈ und Abb.(5.9)₉₉ gezeigten Löchern wurde dieser Film auf einen Cr-Haftvermittler von 2 nm Stärke aufgebracht. Entgegen der Erwartung kann im Vergleich keine stärkere Haftung beobachtet werden. Siehe Diskussion auf Seite 108.

Um eine Anschauung von der Festigkeit der die Schussstellen umgebenden Ablagerungen zu geben, wurde eine Klebestreifen auf das Filmmaterial gedrückt und wieder abgezogen. Die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung sind für einen 700 nm-Molybdän-Film (hergestellt von Siemens) in Abb.(A.2)₁₂₈ exemplarisch gezeigt. Die Aufnahmen #A und #B zeigen das gleiche Loch im gleichen Maßstab vor und nach dieser Prozedur. Ein Kratzer, der über ein Loch hinweggeht (#D), ist in #E vergrößert dargestellt. Es zeigt sich, dass das Filmmaterial auch im Lochrandgebiet relativ stabil ist, während die Ablagerungen nur aufliegen. Sie sind nicht wieder mit dem Filmmaterial verschmolzen und lassen sich leicht ablösen.

In Abb.(A.3)₁₂₉ sind Aufnahmen an einem 500 nm-Molybdän-Film gezeigt, der ebenfalls von Siemens hergestellt wurde. Einzelne Aspekte sollen hier verdeutlicht werden, die in Kap.(5)₈₇ diskutiert wurden.

In #A, #B und #C ist zu erkennen, dass die sich ausbildende Korn- und Zapfenstruktur des spröden Mo-Films in Zusammenhang mit den *Ripples* steht. Der Ausrichtungsunter-

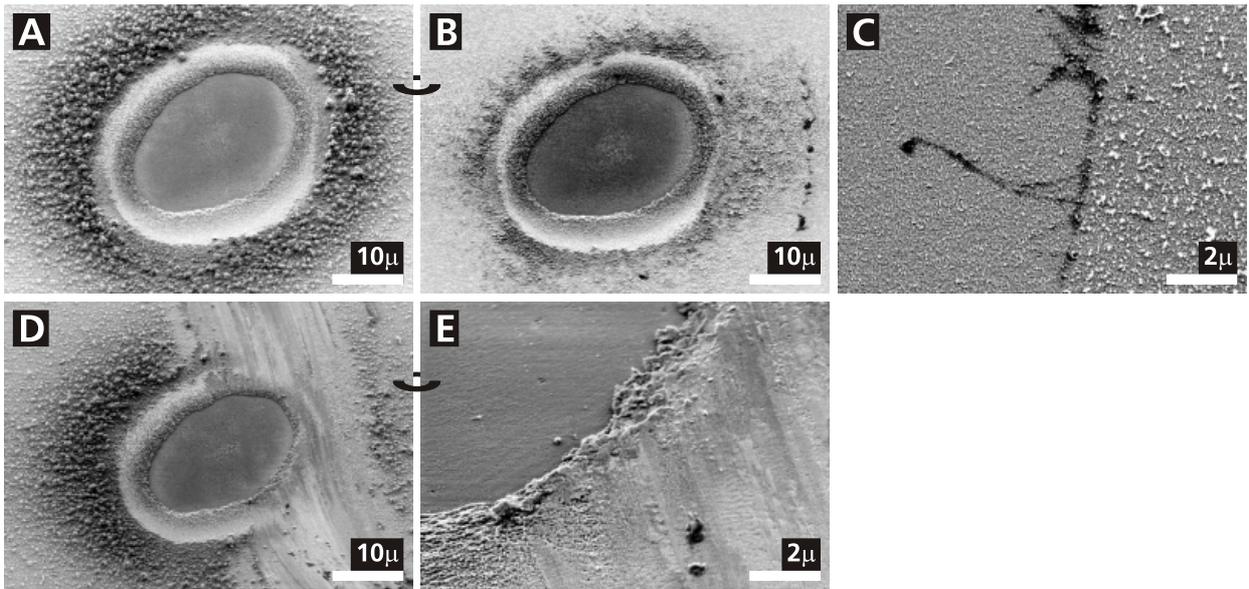


Abbildung A.2.: Überprüfung der Festigkeit der die Ablationslöcher umgebenden Anhäufungen von Material: ein Klebestreifen (Tesa) wurde leicht auf 700 nm Mo (Siemens) gedrückt, um einen möglichst gleichmäßigen Kontakt zu gewährleisten und wieder abgezogen. In näherer Umgebung eines Loches ist die Grenzfläche des Films zu erkennen (#C), schwarz ist Restklebstoff. In #A und #B ist das gleiche Loch vor und nach Abzug gezeigt. Eine (versehentlicher) Kratzer über den Film mit einer Pinzette zeigt in #D und #E die Festigkeit des Films und die dagegen leichte Ablösung der Ablagerungen.

schied zwischen #A und den anderen beiden Bildern ist technisch bedingt, die Ausrichtung der beiden Strukturen ist gleich. #D, #E und #F zeigen Abbildungen von Beschussstellen mit zunehmender Fluenz. Der Beginn der Oberflächenveränderung ist hier als Verfärbung der Oberfläche zu erkennen, was bei SEM-Aufnahmen als Änderung der elektrischen Leitfähigkeit interpretiert werden kann. In der Vergrößerung #G und #D ist zu erkennen, dass diese von dem Einsetzen der *Ripple*-Bildung begleitet wird. In #E sind bereits Löcher im Film vorhanden, die Zerstörungen lassen sich auch mit einem optischen Mikroskop (#H) deutlich beobachten.

Die Anordnung dieser zehn “Änderungsinselfn” ist vermutlich auf eine (auffällige) Mode des Laserstrahls zurückzuführen, die allerdings nie wieder beobachtet wurde. Thermodynamische Prozesse, die zu solchen Strukturen führen können [139, 147], haben hier keine Bedeutung, da es sich bei dem Material noch nicht um eine Schmelze handelt und die Aufnahmen die initialen Veränderungen zeigen.

Eine Kooperation mit Siemens sollte zur Untersuchung von zwei Molybdän-Filmen der Dicken 500 nm und 700 nm führen, deren genaues Herstellungsverfahren aber nicht bekannt gemacht wurde. Die Bestimmung der Ablationsschwellen sowie die Untersuchung der mittels der vorgestellten Verfahren geschossenen Löcher mit mikroskopischen Techniken zeigte keine Auffälligkeit im Vergleich zu den üblicherweise von uns verwendeten Filmen, siehe z.B. Abb.(5.26)₁₂₀ (Dreiecke). In diesem Rahmen wurden die Lochtiefen bei Siemens mit einem Profilometer vermessen, das Ergebnis ist in Abb.(A.4)₁₃₀ gezeigt. Leider wurden die Profile dabei nicht den vorgegebenen Lochnummern zugeordnet, außerdem die Löcher nicht

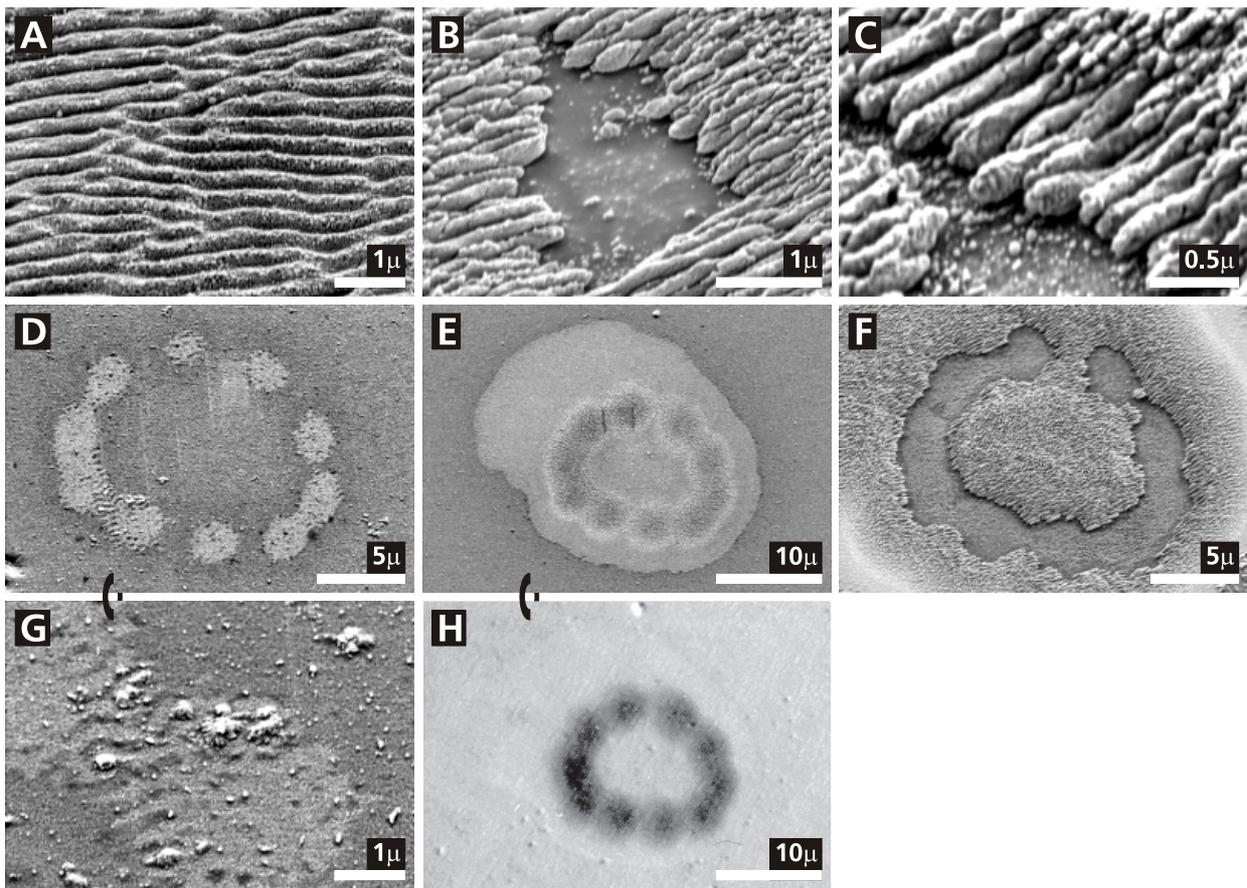


Abbildung A.3.: SEM-Aufnahmen von beschossenen Stellen auf einem 500 nm-Mo. Die *Ripples* in #A gehen über in die Bildung von Zapfen und Körnern, die ablatiert werden, #B und #C. Die sichtbare Materialveränderung beginnt mit der *Ripple*-Bildung, wie aus der Vergrößerung #G von #D zu erkennen ist. Bei dickeren Filmen wie dem gezeigten stellen sich komplexere Ablationsstrukturen ein, wie in #D, #E und #F (zunehmende Fluenz) zu erkennen ist. #H ist eine Aufnahme mit einem optischen Mikroskop der gleichen Stelle wie #E.

systematisch untersucht und auch nicht die mit dem Profilometer wesentlich bessere mögliche Auflösung (min. $\times 6$) benutzt. Über eine Integration hätten aus solchen Profilen leicht Schätzungen über Abtragsmengen gewonnen werden können, die eine sinnvolle Ergänzung zu den vorgestellten – nur in Bezug auf die äußeren Parameter wie Fluenz und Filmstärke quantitativen – Beobachtungen gewesen wären. Trotzdem geben die Profile eine Vorstellung von der Menge des abgelagerten Materials in der Lochumgebung. Soweit hieraus zu entnehmen, entspricht die kleinste konvexe Hülle um die Ablagerungen (nur diese wird von dem Profilometer in diesen Aufnahmen aufgelöst) bei den Profilen, in denen starke Ablagerungen zu erkennen sind, dem bis zu anderthalbfachen des Lochvolumens. Zusammen mit der in den mikroskopischen Aufnahmen zu beobachtenden lockeren Struktur der Ablagerungen kann daraus auf die Ablagerung eines großen Teils des ablatierten Materials in Lochnähe geschlossen werden.

Da die Grundhöhe des grauen Balkens im Profilmastab der angegebenen Filmstärke entspricht, folgt aus der Überhöhung der mittleren Serie am 500 nm-Film vermutlich nur, dass das Substrat nicht horizontal ausgerichtet worden ist.

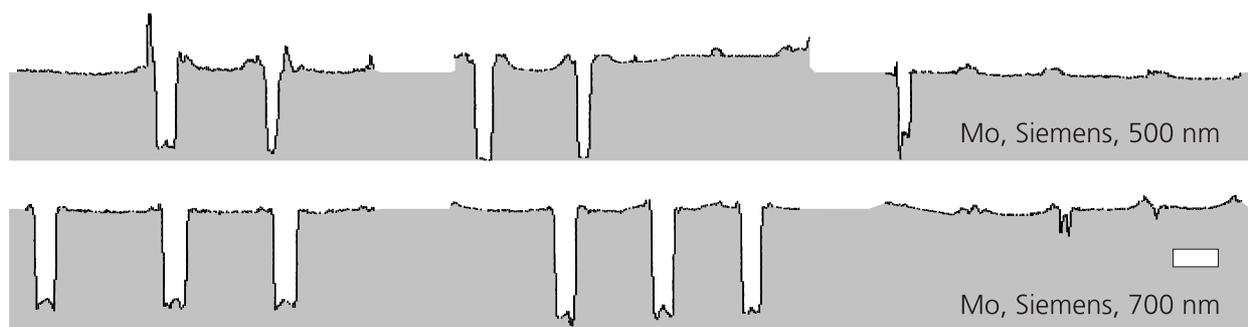


Abbildung A.4.: Tiefenprofile der in 500 nm- und 700 nm–Mo–Filme (hergestellt von Siemens) geschossenen Löcher. Der weiße Kasten rechts in dem 700 nm–Film hat in dem Profilmastab eine Breite von $50\ \mu\text{m}$ und eine Höhe von 100 nm – das Höhe/Breite–Verhältnis der Abbildung ist 1:200.