Die Vielseitigkeit des Sputter Coaters Patterning für die Grauwertkorrelation

E. Auerswald, FhI ENAS, Chemnitz, C. Kowol, ZfM TU Chemnitz, D. Rittrich, ZfM TU Chemnitz (2021)

Für eine sehr große Anzahl der Nutzer von Elektronenmikroskopen ist es notwendig elektrisch nichtleitende Materialien bzw. Proben zu besputtern bzw. zu bedampfen. Dabei kommt es insbesondere auf die Schichtdicke und die Eigenstruktur der aufgebrachten Schicht an. Für die hochaufgelöste Abbildung sind stabile Deckschichten notwendig, wobei diese die eigentlichen Strukturen, Oberflächen nicht verfälschen dürfen. Der Sputtercoater von Quorum Q150V ES Plus bietet dafür zahlreiche Prozessparameter, die sehr variabel den jeweiligen Aufgabenstellungen angepasst werden können. Eine Vielzahl an Targets sind beim Besputtern wählbar.

In letzten Jahren haben z.B. Belastungsmodule für die Rasterelektronenmikroskopie (REM) in-situ Verformungsanalysen möglich gemacht. Eine wichtige Rolle für die Bewertung der Ergebnisse spielt dabei die digitale Grauwertkorrelation (DIC). Auch Verfahren zu Eigenspannungsmessungen wurden etabliert.

Das am Fraunhofer IZM entwickelte Verfahren fibDAC (engl.: Focused-Ion-Beam based Deformation Analysis by Correlation) u.a. [1] zur Ermittlung von Eigenspannungen basiert auf dem Ansatz von Slot-(Trench)-Geometrien mit dem fokussierten Ionenstrahl (FIB) in einer zu analysierenden Probenstelle oder Region of Interest (ROI) zu millen (mittels FIB abtragen) und anschließend das Ausgangs-REM-Bild mit dem REM-Bild nach dem Millen zu korrelieren. Mit Hilfe der digitalen Grauwertkorrelation werden die experimentellen Verschiebungsfelder bestimmt (siehe Abbildung 1). Das Fraunhofer ENAS hat diese Methode übernommen bzw. weitergeführt und für die speziellen Anwendungen aus der Nanosystemtechnik angepasst.

In der Darstellung (Abbildung 1) liegen Druckeigenspannungen vor, d.h. die Slot-Öffnung wird im Vergleich zum spannungslosen Zustand kleiner. Im rechten Bild bedeutet rot eine positive Verschiebung (Slot-Kante bewegt sich nach rechts) und blau eine negative Verschiebung (Slot-Kante verschiebt sich nach links).

Die Quantifizierung kann in Abhängigkeit von der gemillten Geometrie mit verschiedenen Methoden erfolgen. Für das Millen von einem Single-Slot ist eine Quantifizierung der Eigenspannungen über den Vergleich von den experimentellen mit den numerischen Verschiebungsfeldern aus dem Finite-Elemente-Modell möglich. Das EU-Projekt "iSTRESS" hat die unterschiedlichen Einflussfaktoren, die einerseits in der Gerätetechnik (z.B. Stabilität der REM-Säule, Stage-Drift, Einzugsparameter und Scangenerator) liegen als auch die Vor- und Nachteile der verschiedenen Milling-Geometrien (Single Slot, Pillar, Double Slot) sehr ausführlich betrachtet [2].

Für die Slot-Geometrie sind in Abhängigkeit von der Schichtdicke die Parameter Slot-Breite und Slot-Tiefe zu wählen. So ergibt sich gerade bei sehr dünnen Schichten von 100 nm bis 200 nm eine große Herausforderung, das Verhältnis 1:1 bis max. 1:2 (Breite zu Tiefe) einzuhalten. Die Vergrößerung bzw. das FOV (engl.: Field of View) muss dementsprechend angepasst werden.

Ein wesentlicher Parameter für diese Methode ist das Patterning als Voraussetzung für die digitale Grauwertkorrelation. Generell muss für diese Anwendung eine zufällige Struktur vorliegen. Wenn keine geeignete Oberflächenstruktur vorhanden ist oder die Probe aus einem Isolator (z.B. SiN, SiO₂) aufgebaut ist, müssen andere Verfahren für das Patterning zum Einsatz kommen. Einige Arbeitsgruppen bevorzugen z.B. das Aufbringen von kleinen Dot's mit dem Gasinjektionssystem der FIB [2]. Häufig wird dafür der Prescursor Platin benutzt. Aber auch das Besputtern der Oberfläche mit Pt und das nachträgliche Patterning mit dem Ionen-Strahl durch langsames Einscannen des FIB-Bildes wird angewendet.







Abbildung 1: schematische Darstellung des fibDAC-Verfahrens



Quantum Design

Quantum Design GmbH Breitwieserweg 9 D-64319 Pfungstadt 

Die Vielseitigkeit des Sputter Coaters Patterning für die Grauwertkorrelation

E. Auerswald, FhI ENAS, Chemnitz, C. Kowol, ZfM TU Chemnitz, D. Rittrich, ZfM TU Chemnitz (2021)



Abbildung 2: Eigenstruktur von Au – konstante Schichtdicke 10 nm, variierender Sputterstrom

Wie in den Applikationsbriefen von Anna Walkiewicz (Quorum Technologies Ltd.) dokumentiert, entsteht beim Besputtern mit Gold eine gewisse Eigenstruktur. In diesem Zusammenhang wurde die Idee geboren, Versuche durchzuführen, um diese Eigenstruktur gezielt zu beeinflussen und für Anwendung der DIC im Rasterelektronenmikroskop zu validieren.

Es wurde der Sputter Coater Q150V ES Plus eingesetzt und vor allem die Parameter Schichtdicke und Sputterstrom ("Sputter Current") variiert. Als Proben kamen polierte, unstrukturierte 4"-Si-Wafer zur Anwendung, die zweifach gebrochen wurden. Es wurde mit dem Schichtdickenmonitor gearbeitet und als Probenbühne kam die rotierende Waferbühne zum Einsatz. Die Schichten wurden bei einem Basiskammerdruck von 10⁻⁵ mbar und einem Prozessdruck (eingestellt durch Argon) von 8x10⁻³ mbar hergestellt. Der Basisdruck wurde in diesem Fall absichtlich im höheren Bereich gewählt, damit eine sichtbare Körnung der Schicht als Patterning entstehen kann.

Für die hochauflösenden REM-Aufnahmen mit verschiedenen Vergrößerungen kam das Rasterelektronenmikroskop Supra 60 zum Einsatz. Ein Arbeiten mit dem FOV ist bei dieser REM-Generation nicht möglich. Zum besseren Verständnis sind in Tabelle 1 Vergrößerungen und die zugehörigen Bildpixelgrößen angegeben.

Vergrößerung	Bildpixelgröße Supra 60
100.000x	1,117 nm
50.000x	2,233 nm
25.000x	4,466 nm
15.000x	7,443 nm

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Vergrößerung und Bildpixelgröße (Supra 60)

Die Bilder wurden mit einer Beschleunigungsspannung von 3 kV in einem Arbeitsabstand von 4 mm mit dem InLens-Detektor aufgenommen.

Abbildung 2 zeigt eine Versuchsserie mit konstanter Schichtdicke und variierendem Sputterstrom. Zwischen 20 mA und 3 mA Sputterstrom ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Die Schicht wird strukturierter. Wird der Strom weiter um 1 mA verringert, zeigt sich keine markante Veränderung.

Deshalb wurden die nächsten Versuche mit verringerter Schichtdicke (5 nm) und kleinem Strom (2 mA und 1 mA) realisiert. Die Ergebnisse sind als Patterning für die Grauwertkorrelation sehr vielversprechend, wie Abbildung 3 zeigt.



Abbildung 3: Eigenstruktur von Au - konstante Schichtdicke 5 nm, Sputterstrom 2 mA und 1 mA



Quantum Design

Quantum Design GmbH Breitwieserweg 9 D-64319 Pfungstadt Please contact: Anne Kast ① +49 6157 80710-456, kast@qd-europe.com Find your local contact at www.qd-europe.com



Die Vielseitigkeit des Sputter Coaters Patterning für die Grauwertkorrelation

E. Auerswald, FhI ENAS, Chemnitz, C. Kowol, ZfM TU Chemnitz, D. Rittrich, ZfM TU Chemnitz (2021)



Abbildung 4: Vergleich der Korrelationskoeffizienten der Probe 5 nm Au bei 1 mA für verschiedene Vergrößerungen - Default

Die rein optische Begutachtung ist aufgrund subjektiver Einflüsse nicht ausreichend für die Bewertung, ob die Oberfläche für die Grauwertkorrelation geeignet ist. Deshalb kam als Testmethode folgende Vorgehensweise zum Einsatz. Es erfolgte die Aufnahme von zwei REM-Bildern mit einem definierten BeamShift-Versatz. Diese beiden Bilder wurden mit Hilfe der Software VEDDAC 7 der Chemnitzer Werkstoffmechanik GmbH (CWM Chemnitz) korreliert. Als Glättungsprozeduren kamen der Median- und Gaussfilter zur Anwendung. Generell ist nun für das Eigenspannungsmessverfahren von Bedeutung, bis zu welcher Vergrößerung die gute Eigenstruktur nutzbar ist, die beim Besputtern mit Gold im Q150V ES Plus erzeugt werden kann. Als Korrelationsmethode wurde zunächst der klassische Kreuzkorrelationsalgorithmus (Default) angewendet [3].

Es zeigt sich, dass mit abnehmender Vergrößerung der Korrelationskoeffizient sich ebenfalls verringert und die Streubreite wesentlich zunimmt (siehe Abbildung 4).

Die Software gestattet jedoch auch den Einsatz einer Haar-WaveLet-Korrelation (Noisy), wodurch die Streubreite des Korrelationskoeffizienten verringert werden kann (Abbildung 5).

Die Ergebnisse bei kleineren Vergrößerungen z.B. 15 kx oder 10 kx sind leider nicht mehr zielführend. Der Korrelationskoeffizient streut über einen Bereich von 0,95 bis 0,7 sehr stark. Zusammenfassend ist anzumerken, dass die Vielseitigkeit des Sputter Coaters Q150V ES Plus beim Patterning für die digitale Grauwertkorrelation eindrucksvoll nachgewiesen werden konnte. Durch das Variieren der Sputterparameter ist für eine Vergrößerung ab 25.000x eine Möglichkeit aufgezeigt, eine reproduzierbare Oberflächenstruktur zu erzeugen, die sich sehr gut für digitale Grauwertkorrelation eignet.

Bei allen Versuchen dieser Art dürfen natürlich die anderen, bereits erwähnten Einflussfaktoren auf die Eigenspannungsanalyse nicht außer Acht gelassen werden. Durch das sehr gute Patterning ist jedoch eine Minimierung des Messfehlers gegeben.

Weiterhin sind nun Versuche an realen Nanosystemen anzuschließen.

Referenzen

- [1] N Sabaté et al 2006 J. Micromech. Microeng. 16 254
- [2] Good Practice Guide No. 143, National Physical Laboratory. Hampton Road, Teddingenton, ISSN: 1368-6550
- [3] Handbuch VEDDAC 7,
 - Chemnitzer Werkstoffmechanik GmbH



Abbildung 5: Vergleich der Korrelationskoeffizienten für verschiedene Vergrößerungen - Noisy



Quantum Design

Quantum Design GmbH Breitwieserweg 9 D-64319 Pfungstadt Please contact: Anne Kast ① +49 6157 80710-456, kast@qd-europe.com Find your local contact at www.qd-europe.com

