

# **Einsatz eines Feldemissions-Rasterelektronenmikroskops zur Beurteilung von Resiststrukturen im Nanometer-Bereich**

**Andreas Bruckner**

**Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Elektronik, TU-Wien,  
1040 Wien**

Die grundlegenden Unterschiede in der Strahlerzeugung bei einem Rasterelektronenmikroskop mit thermionischer- und mit Feldemissionsquelle führen zu einer besseren Abbildungsqualität des Feldemissions-Rasterelektronenmikroskops (FE-REM). Anhand verschiedener Photographien von Resiststrukturen werden die speziellen Eigenschaften des FE-REM, wie zum Beispiel Begutachtungen zwischen einzelnen Prozeßschritten ohne Zerstörung der Proben, oder der geringe Aufwand bei der Probenpräparation, in der Resisttechnologie erläutert.

## **1. Einleitung**

Aufgrund der immer kleiner werdenden Strukturgröße in der Halbleitertechnik, ist die Begutachtung mit einem lichtoptischen Mikroskop nicht immer ausreichend. In diesen Fällen erlaubt ein Rasterelektronenmikroskop die entsprechende Beurteilung, allerdings nicht ohne Aufwand für die Probenpräparation. Die Verwendung eines FE-REMs erlaubt auch isolierende Proben ohne aufwendiger Probenpräparation damagefrei zu begutachten. Dies ist besonders bei der Entwicklung von neuen Resistmaterialien von Bedeutung, da an der Probe nach der Begutachtung weitergearbeitet werden kann. Weiters lassen sich die einzelnen Prozeßschritte kontrollieren, ohne den Bauteil zerstören zu müssen.

## **2. Vergleich von thermionischer- und Feldemissionselektronenquelle**

Bei einer thermionischen Quelle erfolgt die Emission der Elektronen dadurch, daß eine Wolfram- oder LaB<sub>6</sub>- Kathode beheizt wird, sodaß die Kathode Elektronen emittiert. Mit einer Anode werden die Elektronen beschleunigt. Die Stromsteuerung erfolgt mit einem "Wehneltzylinder". Im Gegensatz dazu erfolgt die Generierung eines Elektronenstrahls bei einem FE-REM mit einer kalten oder mit einer beheizten Wolfram-Einkristallspitze mit einem typischen Spitzenradius von 30nm - 300nm. Durch Anlegen eines elektischen Feldes, der sogenannten Extraktionsspannung, können Elektronen aus der Spitze emittieren und mit einer Anode beschleunigt werden. Der Vorteil der Feldemissionquelle liegt nun darin, einen Elektronenstrahl mit wesentlich geringerer Energieverschmierung (ca. 0.2eV) und geringerem Quelldurchmesser (ca. 5-20nm) als mit einer thermionischen Quelle (2-4eV, 10-20µm) zu erzeugen [1], [2], [3].

Aufgrund der geringeren Energieverschmierung und des geringeren Quelldurchmessers bei einem FE-REM kann auch der untere Beschleunigungsspannungsbereich (500V-5kV) bei guter Auflösung verwendet werden, sodaß schlecht oder nicht leitende Proben untersucht werden können, ohne eine leitende Schicht auf die Oberfläche aufzubringen. Aufgrund der geringeren Eindringtiefe weniger beschleunigten Elektronen können scharfe Ecken, Kanten und dünne Bereiche besser abgebildet werden [4].

Die Nachteile eines FE-REMs sind hauptsächlich in einem erhöhten Bedienungs- und Wartungsaufwand zu sehen. Zur Verhinderung von Hochspannungsüberschlägen in der Strahl-

quelle, was zu einer Zerstörung der Feldemissionsspitze führen würde, ist ein Vakuum von ca.  $1 \cdot 10^{-10}$  mbar erforderlich. Halbjährlich muß die Kanone ausgeheizt werden um Verunreinigungen zu entfernen. Wegen Gasionenadsorption auf der Spitze kann es in wenigen Betriebsstunden zur Zerstörung der Spitze durch einen Hochspannungsüberschlag kommen, deshalb muß mit einem sogenannten "Flash" (kurzzeitiges Aufheizen der Spitze mit einem Stromimpuls) die Spitze mindestens einmal täglich gereinigt werden. Dabei dampfen Verunreinigungen von der Spitze ab [3]. Aufgrund des kleineren Strahldurchmessers ist die Justage des Strahles wesentlich kritischer als bei einer thermionischen Quelle und mit besonderer Sorgfalt durchzuführen. Auch der Einfluß äußerer Störungen wie veränderliche Magnetfelder, oder Erschütterungen ist ungleich größer als bei thermionischen REMs.

### 3. Beurteilung von Resiststrukturen mit dem FE-REM

Anhand einiger Photos sollen die Möglichkeiten eines FE-REMs näher beschrieben werden: Die Abb. 1 bis 3 zeigen Resiststrukturen (PMMA EB250 von Merck) im Höchstauflösungsbereich bei niedrigen Beschleunigungsspannungen. Die Probe wurde für Versuche mit einer Goldschicht besputtert, die in den Bildern zu erkennen ist.



Abb. 1: Resiststrukturen (PMMA EB250) mit einer Breite von ca. 80nm. Beschleunigungsspannung 3kV.



Abb. 2: Resiststrukturen (PMMA EB250), wie Abb. 1. Beschleunigungsspannung 1.0kV.

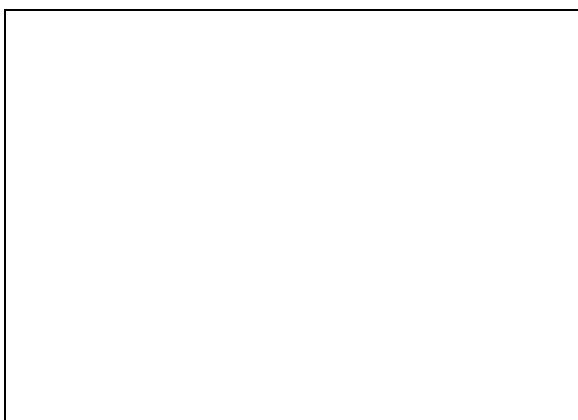


Abb. 3: Resiststrukturen (PMMA EB250) mit einer Breite von ca. 80nm. Beschleunigungsspannung 3kV (doppelte Vergrößerung wie Abb. 1).

Beim Übergang der Beschleunigungsspannung von 3kV (Abb. 1) auf 1kV (Abb. 2) läßt sich eine Verringerung der Auflösung erkennen, allerdings können die Strukturen auch auf Abb. 2

noch gut analysiert und vermessen werden. Im Gegensatz dazu ist auf Abb. 3 (doppelte Vergrößerung als Abb. 1) bei 100.000-facher Vergrößerung noch keine Verschlechterung der Abbildungsqualität zu erkennen.

Eine typische Anwendung für das FE-REM ist bei der Entwicklung von neuen Resistmaterialien zu finden. Hier kann ein Entwicklungsprozeß unterbrochen werden und die Probe im FE-REM, ohne leitender Oberflächenschicht untersucht werden. Der verwendbare Beschleunigungsspannungsbereich liegt in dieser Anwendung bei ca. 0.5kV-3kV, sollte aber je nach verwendetem Resist auf jeden Fall so niedrig wie möglich gewählt werden. Die Abb. 4 zeigt Strukturen, die noch nicht fertig entwickelt wurden und noch Resistreste um die Strukturen zu finden sind. In Abb. 5 sind diese Reste durch die nach der Begutachtung fortgesetzte Entwicklung verschwunden (Resist RAY 1005 Kalle Hoechst). Da die für die Ionenprojektionslithographie verwendeten Resistmaterialien auf Novolack-Basis empfindlich gegenüber Elektronen sind, führt eine Beobachtung mit dem REM zu einer Belichtung des Resists. Diese zusätzliche Belichtung stört eine weitere Entwicklung, deshalb sollte die Elektronendosis möglichst gering bleiben um Schäden zu vermeiden (kleinen Strom verwenden und die Probe nur kurz mit "slow scan" beaufschlagen). Die Abb. 6 zeigt einen solchen mit dem FE-REM "nachbelichteten" Abschnitt einer Probe.

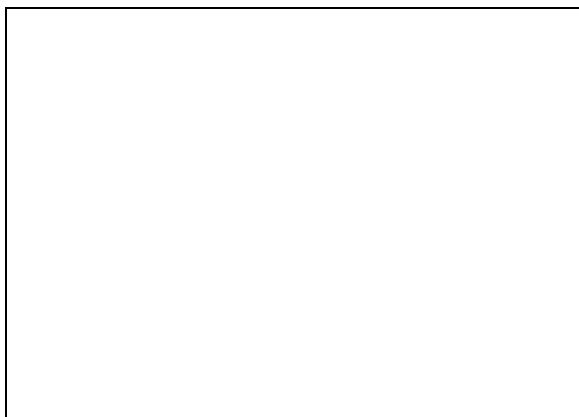


Abb. 4: Nicht durchentwickelter Resist (RAY-1005).

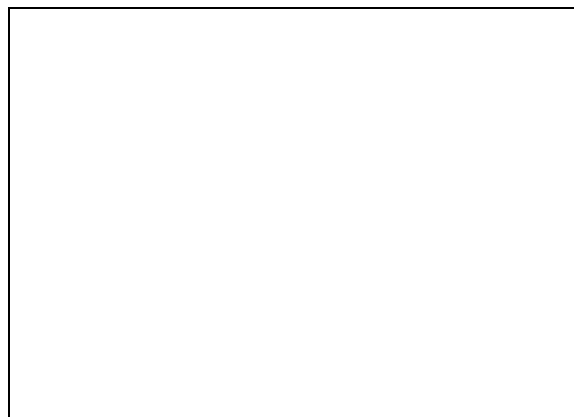


Abb. 5: Fertig entwickelter Resist (RAY-1005).

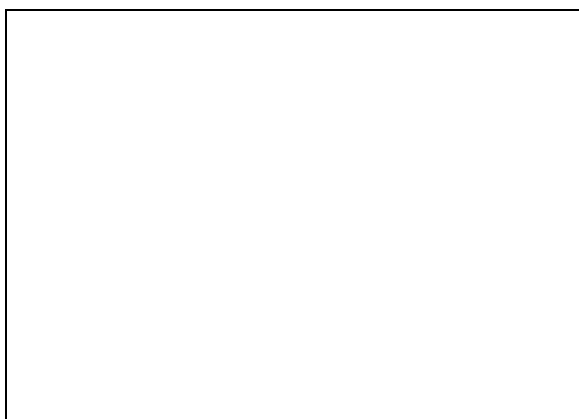


Abb. 6: Mit dem FE-REM nachbelichteter Abschnitt einer Probe.

Die Abb. 7 bis 10 zeigen noch nicht ganz durchentwickelte Resiststrukturen, die einmal unbesputtert (Abb. 7 und 9) und einmal mit Gold besputtert (Abb. 8 und 10) im FE-REM fotografiert wurden. Bei der besputterten Probe sind die dünnen Resistreste zwischen den Struk-

turen nicht mehr sehr deutlich zu sehen (gleicher Grauton wie der Untergrund) und können zu einer falschen Beurteilung führen. Der Grund liegt darin, daß verschiedene Materialien bei Elektronenbeschuß eine unterschiedliche Anzahl von Sekundärelektronen emittieren. Bei der Rasterelektronenmikroskopie führt das zu unterschiedlichen Helligkeiten am Bildschirm, sodaß sich die Materialien unterscheiden lassen. Bei einer mit Gold besputterten Probe entstehen je nach Eindringtiefe der Elektronen hauptsächlich Sekundärelektronen aus der Goldschicht; Kontrastunterschiede sind nur aufgrund der Topographie der Probe zu erkennen (konvex gekrümmte Oberflächen führen zur Emission einer größeren Anzahl von Sekundärelektronen [4] und somit zu einer größeren Helligkeit auf dem Bild).

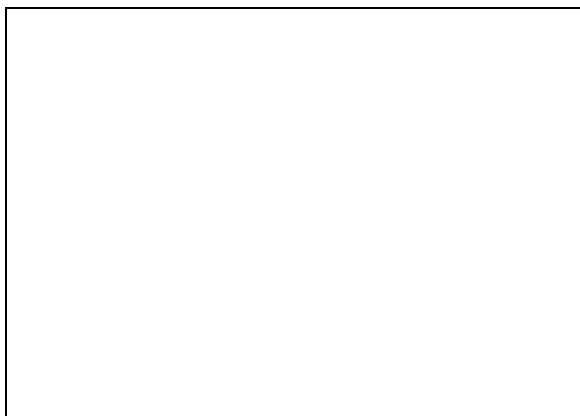


Abb. 7: Resiststrukturen (RAY-1005) unbesputtert.

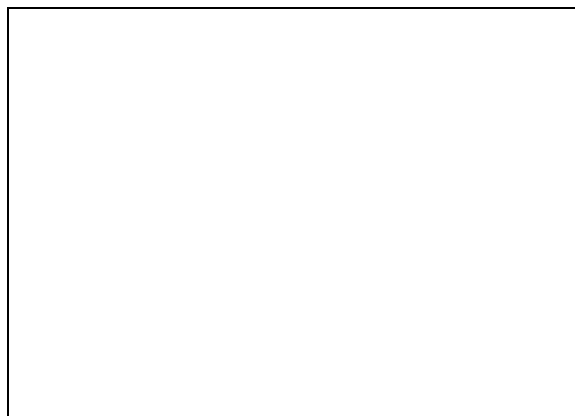


Abb. 8: Resiststrukturen (RAY-1005) mit Gold besputtert.

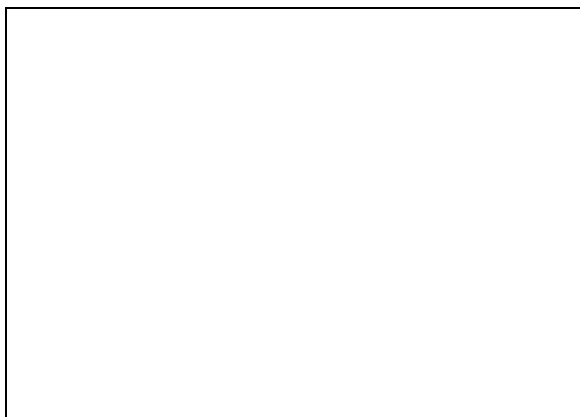


Abb. 9: Resiststrukturen (RAY-1005) unbesputtert.

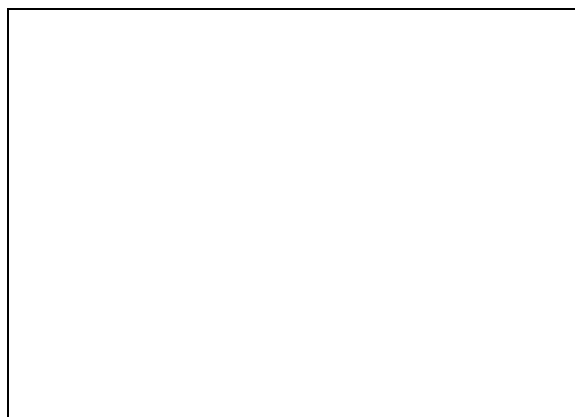


Abb. 10: Resiststrukturen (RAY-1005) mit Gold besputtert.

Die Abb. 11 und 12 zeigen plasmageätzte Strukturen in Silizium mit einer Breite von ca. 70nm. Die Probe in Abb. 11 ist unbesputtert und in Abb. 12 mit Gold besputtert fotografiert worden. Es sind keine Unterschiede in Kontrast und Helligkeit bei diesen Bildern zu erkennen, sodaß auf eine leitende Oberflächenschicht verzichtet werden kann. Vorteile kann aber eine Goldschicht bei Resistmaterialien bringen, bei denen die Ausbeute an Sekundärelektronen sehr gering ist (z. B. RAY-1005).

Anhand der gezeigten Beispiele konnten die Möglichkeiten eines FE-REMs für Entwicklungen neuer Halbleitertechnologien erläutert werden. Die Vorteile eines FE-REMs überwiegen die Nachteile, die hauptsächlich im erhöhten Bedienungs- und Wartungsaufwand zu sehen sind.

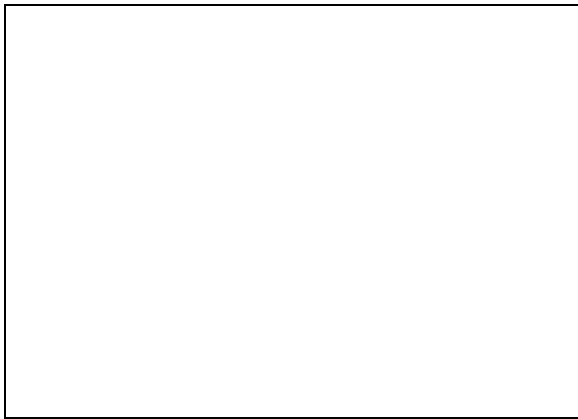


Abb. 11: Plasmageätzte Strukturen in Silizium mit einer Linienbreite von ca. 70nm; unbesputtert (Resist RAY-PF-E).

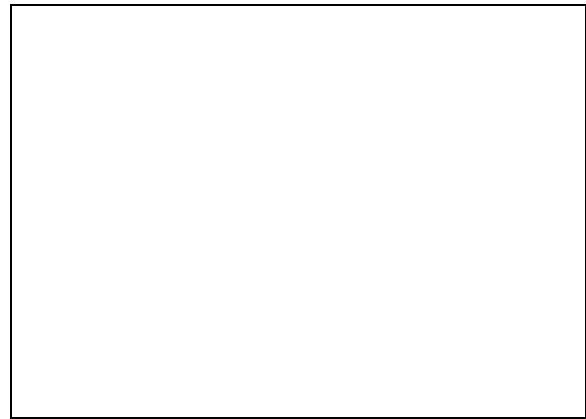


Abb. 12: Plasmageätzte Strukturen in Silizium mit einer Linienbreite von ca. 70nm; mit Gold besputtert (Resist RAY-PF-E).

### Literaturverzeichnis

- [1] J. F. Hainfeld, Understanding And Using Field Emission Sources; Scanning Electron Microscope, 1977 Vol. I p. 591-607. IIT Research Institute Chicago. Illinois 60616, USA.
- [2] S. Nakagawa, Electron Gun For SEM; Biomedical Scanning Electron Microscope, Vol.16, 9-3 (1987).
- [3] Fundamentals of FE Electron Gun, JEOL Technical Information T1-92005 SM01.
- [4] A Guide to Scanning Microscope Observation, JEOL LTD. 1-2 Musashino 3-chome Akishima Tokyo 196 Japan.