

Ein Überprüfen der REM-Kammer mit der Spiegelabbildung

1. Vorbemerkung: Im Rasterelektronenmikroskop (REM) sind im Betrieb möglichst alle Teile in der Probenkammer zu erden oder auf ein definiertes elektrisches Potential zu legen. Andernfalls laden der primäre Elektronenstrahl wie auch gestreute Elektronen die nicht geerdeten Teile auf mit einer merklichen Bildverschlechterung.
2. Versuchsanordnung: Entgegen dem üblichen Erden legen wir einen isolierenden Plastikdeckel auf die Probenbühne, pumpen ab und schalten den Primärstrahl ein. Nach einigen Augenblicken hat sich das Bild stabilisiert: Erwartungsgemäß sehen wir statt der Oberfläche des Deckels auf dem Bildschirm ein nebliges Grau, meist mit einem unscharfen dunklen Fleck in der Bildmitte.

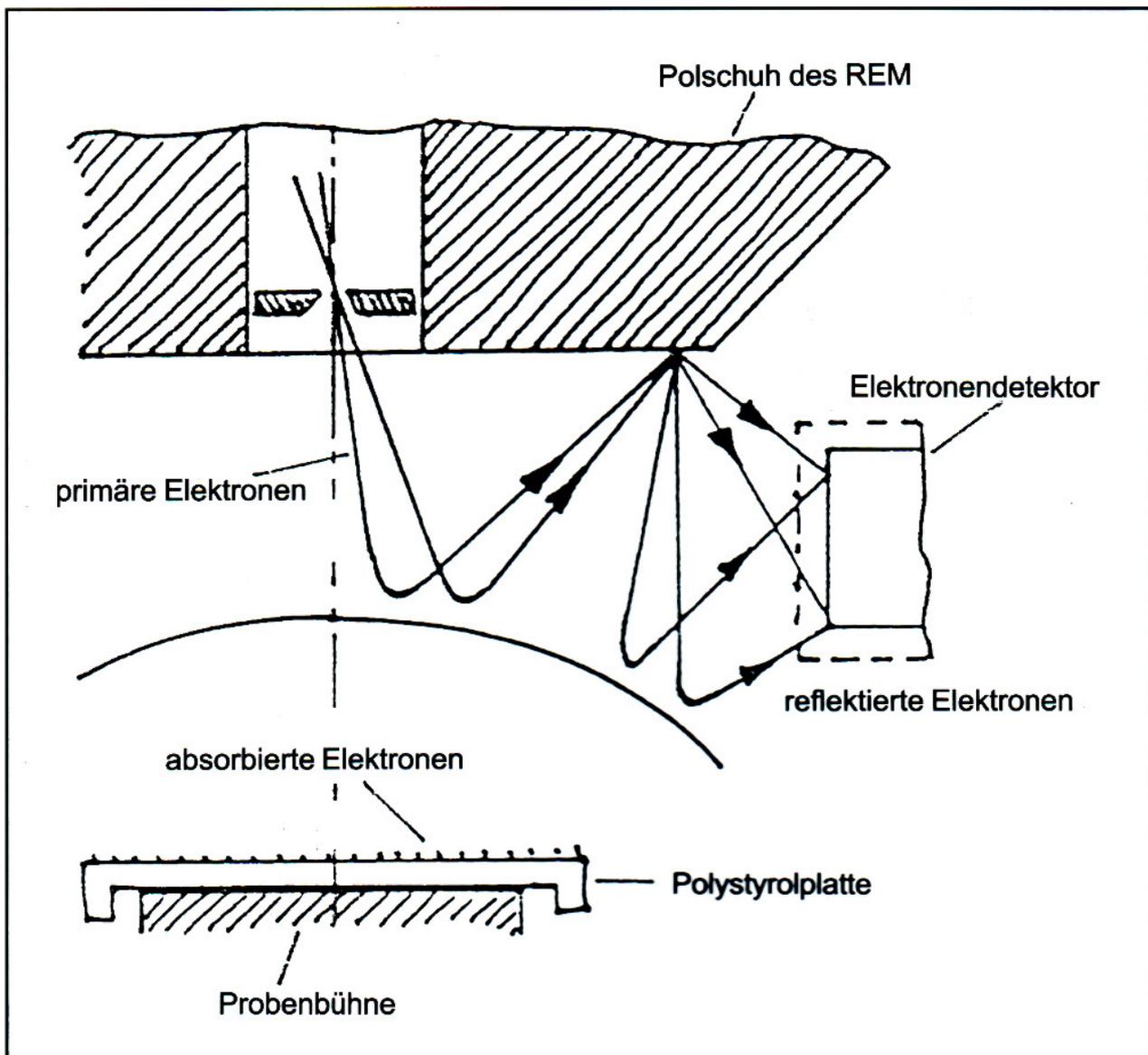


Bild 1: Die Versuchsanordnung: Ein isolierender Plastikdeckel auf der Probenbühne. Strahlengang beim Ladungsspiegel, schematisch.

Nun schalten wir die Strahlspannung herunter, z.B. von 20 auf 10 kV. Das Bild ist jetzt klar. Wir sehen die Probenkammer als große Halle mit dem Polschuh als Decke. Was ist geschehen? Die

Elektronen des 20-kV-Primärstrahls sind ca. einen Mikrometer tief in den Plastikdeckel eingedrungen und bilden dort ortsfeste Ladungen. Nach dem Herunterschalten der Strahlspannung werden die energieärmeren Elektronen des 10-kV-Primärstrahls von dem Deckel wie von einem Spiegel reflektiert.

Bild 2 zeigt die Gesamtaufnahme. Sehr hell sehen wir rechts oben den Elektronendetektor. Hell? Natürlich! Jedes Elektron das ihn erreicht trägt zum Signal bei. In der Bildmitte sehen wir großflächig den Polschuh. Dieser ist mit einem dünnen Kupferblech vor der Beschädigung durch Prüflinge geschützt. Das Kupferblech ist mit einer leitfähigen Elektronen schluckenden Farbe bestrichen, daher dunkel. Jetzt können wir mit den x,y-Kontrollen der Probenbühne die uns interessierenden Teile in die Bildmitte rücken und auch das Bild vergrößern.

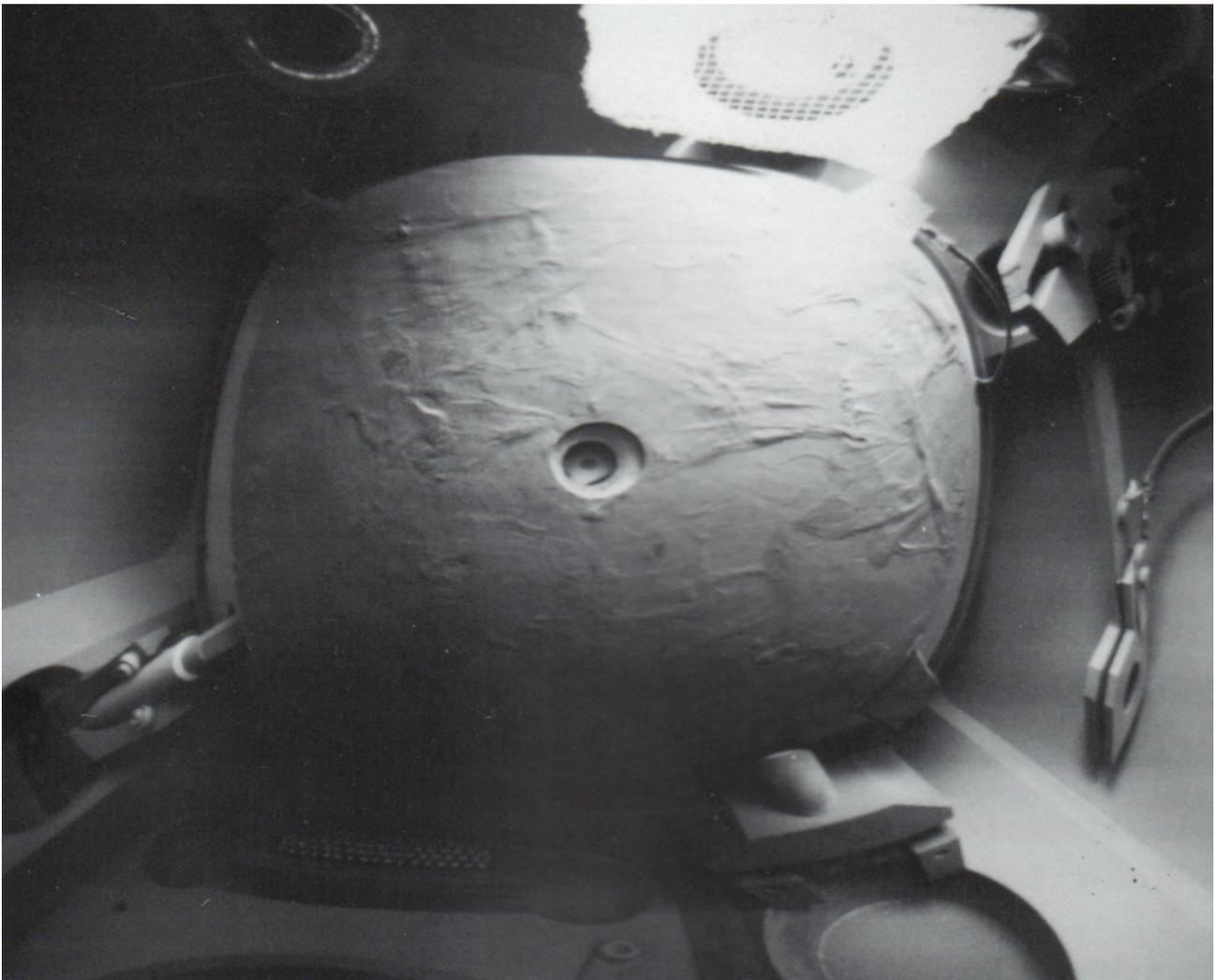


Bild 2: Spiegelung der Probenkammer an einem Polystyroldeckel. Bildmitte: Zentrale Öffnung des Polschuhs mit Aperturblende. Oben sehr hell der Detektor für Sekundärelektronen, rechts der Detektor für Rückstreuielektronen, weggeklappt. Links unten der von außen kontrollierbare Blendenwechsler, links oben die Stirnfläche des Röntgendetektors.

Bild 3 zeigt den Zentralbereich, die Aperturblende im Blendenwechsler. Aus der dunklen Öffnung (im Bild ca. 1 Millimeter Durchmesser) kommen die Elektronen des Primärstrahls. Sie kreuzen sich mit den zurückgespiegelten Elektronen ohne merkliche Bildverschlechterung.

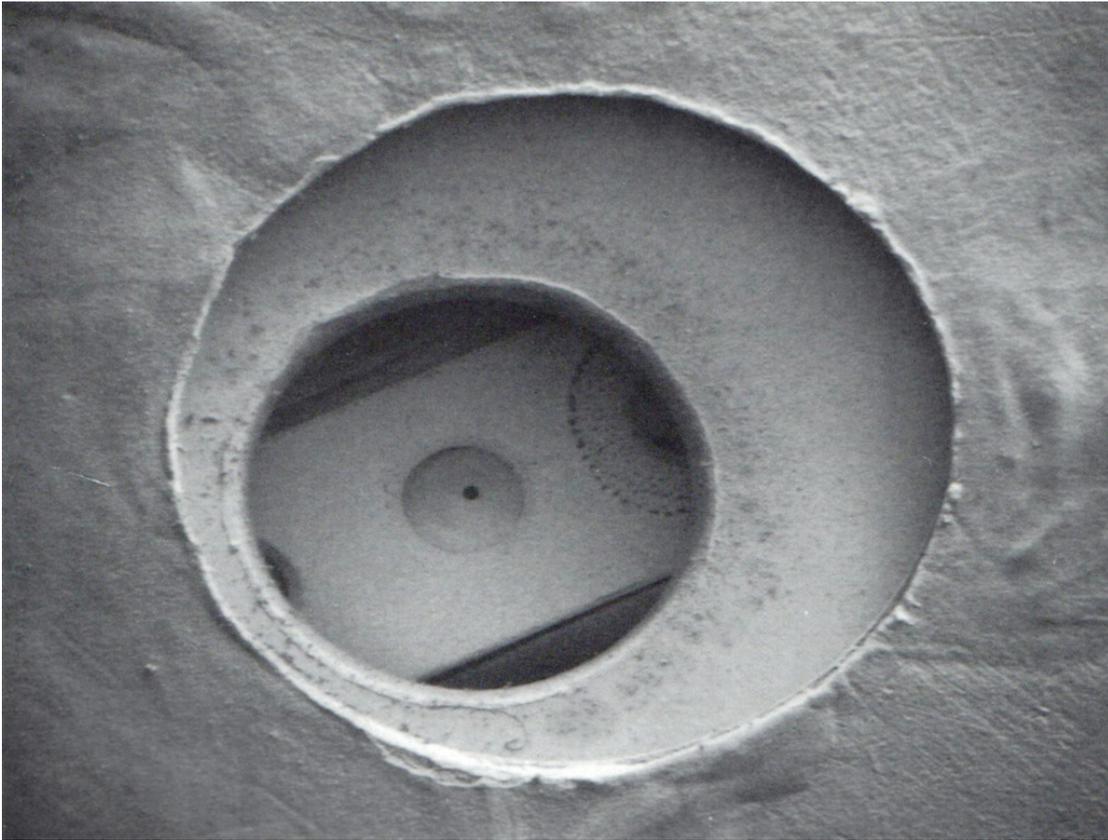


Bild 3: Aperturblende im Blendenwechsler. Strahlspannung 12 kV, Vergrößerung 5fach.

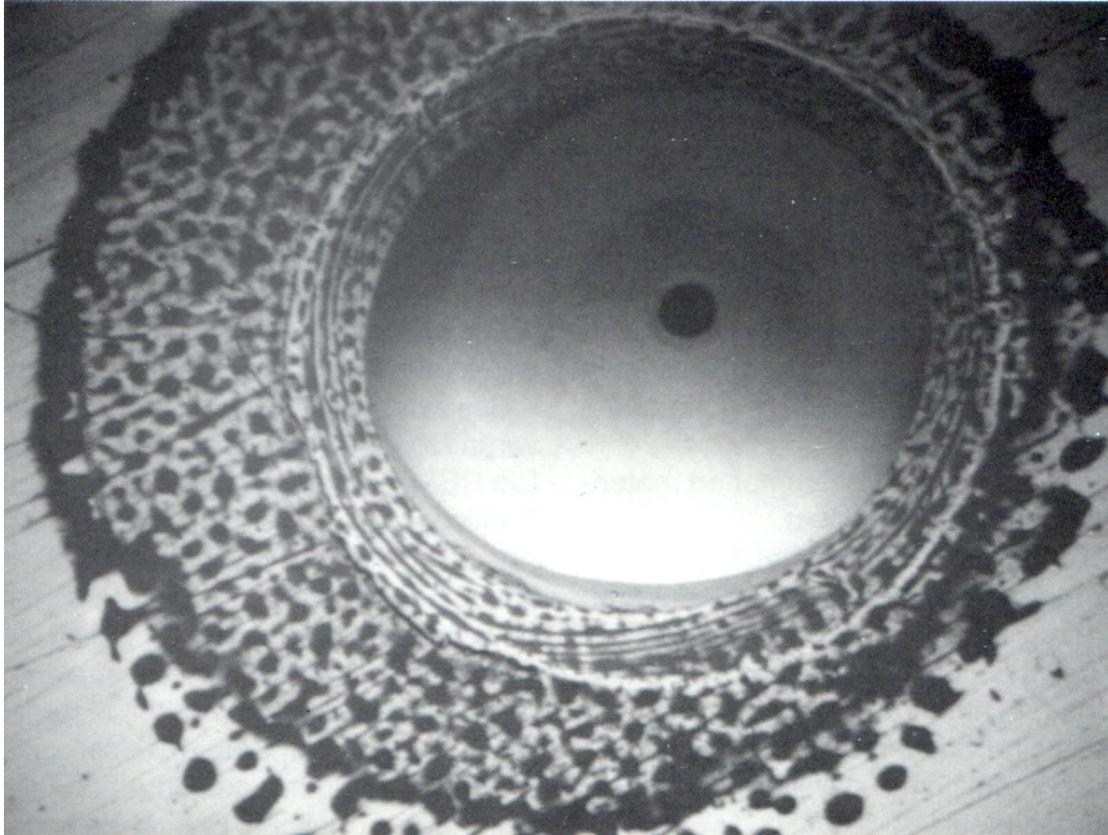


Bild 4: Eine andere Aperturblende im Blendenwechsler. Strahlspannung 7 kV, Vergrößerung 20fach.

Der Rand des Blendenwechslers in Bild 4 ist mit den Rückständen einer Reinigung mit Propanol

belegt. Bei einer Untersuchung am optischen Mikroskop sind solche Rückstände nur schwer zu entdecken.

Die Bilder 5 bis 7 zeigen die Stirnfläche des Röntgendetektors. Dieser, mit flüssigem Stickstoff gekühlt, trägt vorne wegklappbare Fenster. Bild 5 zeigt das äußere Fenster aus Berylliumfolie für Röntgenstrahlung von mehr als 1 keV, Bild 6 das dahinter liegende Fenster aus einer dünnen Plastikfolie. Diese lässt auch energieärmere Röntgenstrahlung von über 0,6 keV durch, muss jedoch beim Belüften der Probenkammer geschützt bleiben. Der korrekte Sitz und die Unversehrtheit dieses Fensters lassen sich mit der Spiegelabbildung unter Vakuum prüfen.

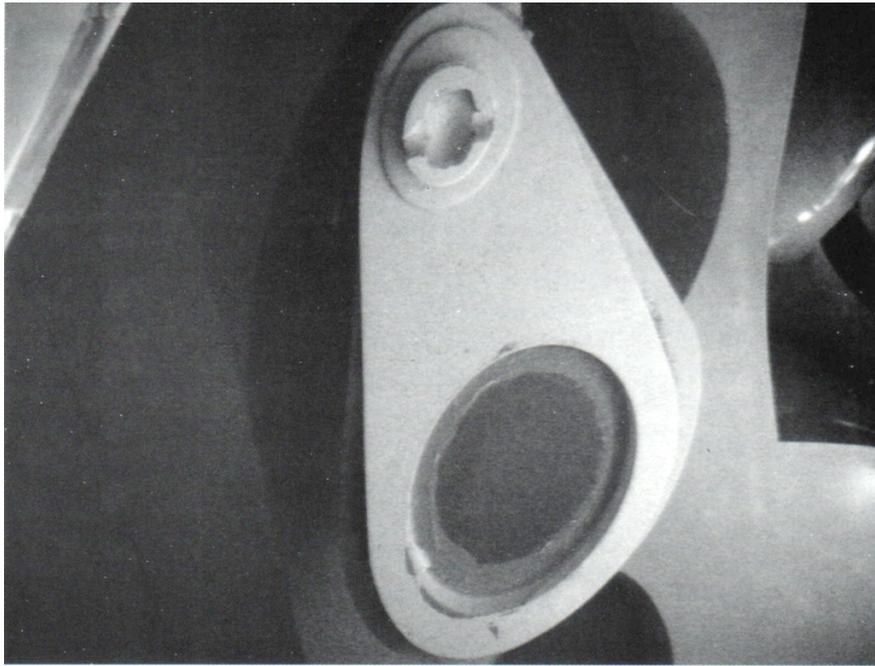


Bild 5: Röntgendetektor, Blick von vorn auf das Berylliumfenster, Vergrößerung 2fach.

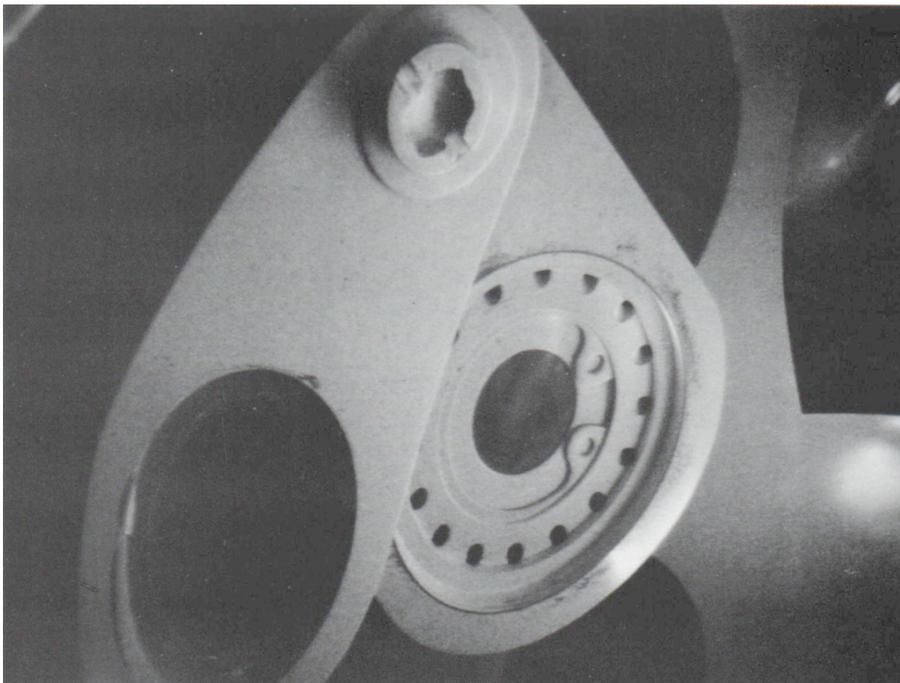


Bild 6: Das Berylliumfenster ist beiseite geklappt, das Folienfenster im Spannring ist zu sehen.

In Bild 7 lässt sich während des Betriebs prüfen, ob die Umgebung der mit flüssigem Stickstoff gekühlten Detektor-Stirnfläche frei ist von Wassereis und auch frei von Spuren von Pumpenöl. Beides würde die energiearme Röntgenstrahlung absorbieren.

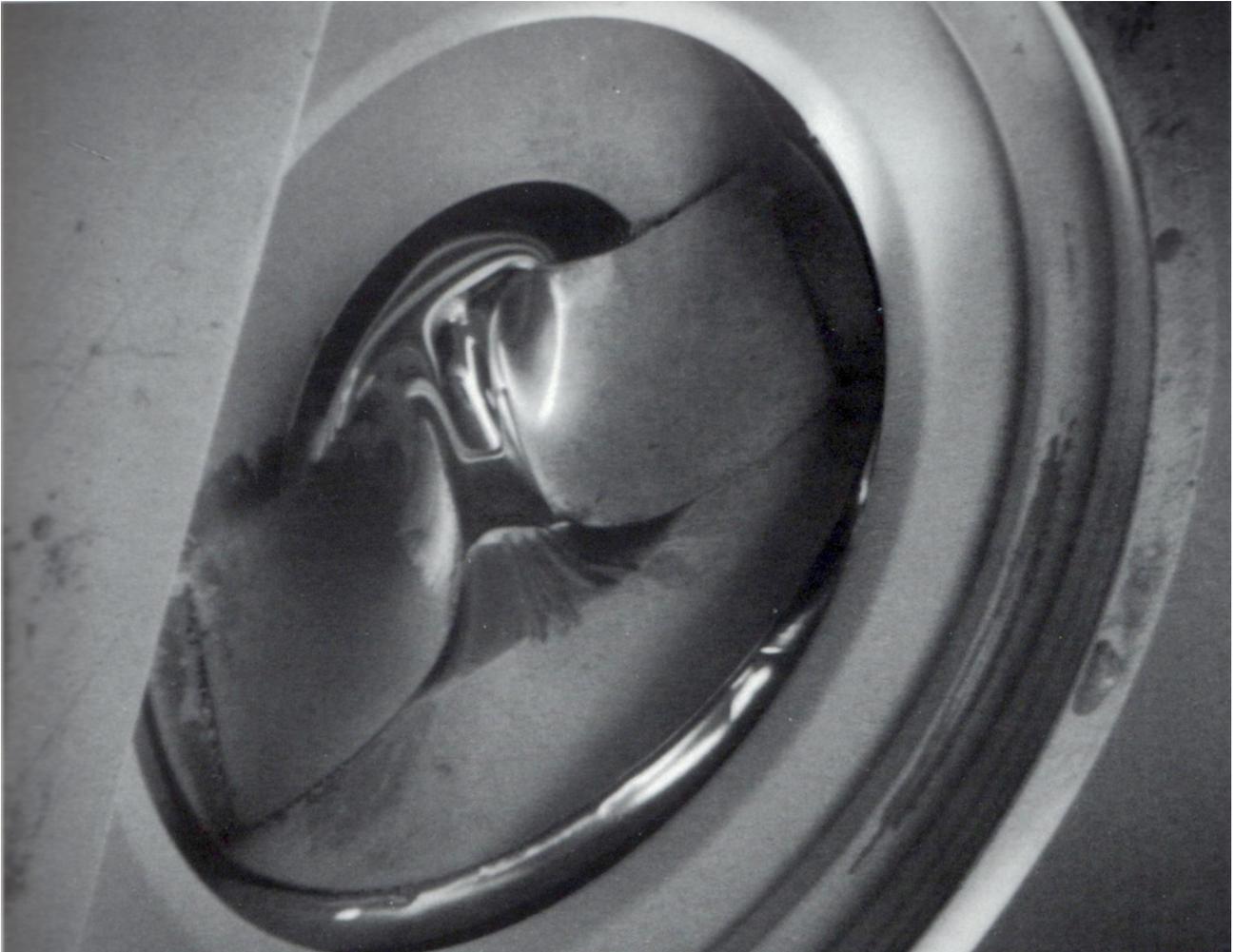


Bild 7: Röntgendetektor, Vergrößerung 10fach. Auch das Folienfenster ist weggeklappt, die Polschuhe des Schutzmagneten sind sichtbar. Zwischen den Polen des Magneten spiegelt sich der Polschuh des REM.

Die Bilder 8 bis 10 zeigen den Detektor für Rückstreuelektronen (Materialkontrast). Dieser ist für allgemeines Arbeiten weggeklappt, stört also nicht z.B. bei Aufnahmen mit Höchstvergrößerung.

Einzelheiten des Strahlengangs: Schalten wir am Käfig des Elektronendetektors die Saugspannung ab, so ändert sich an der Bildhelligkeit nur wenig. D.h. die bilderzeugenden Elektronen sind nicht wie sonst die energiearmen Sekundärelektronen sondern überwiegend die an den Kammerwänden gestreuten Elektronen des Primärstrahls. Dies deckt sich mit dem für eine rauscharme Abbildung benötigtem stärkeren Strahlstrom von ca. 3 nA statt der sonst benötigten 0,3 nA. Damit diese rückgestreuten Elektronen aber den Elektronendetektor erreichen, bedarf es einer weiteren Reflexion an dem Ladungsfeld der Polystyrolplatte. Dies ist im rechten Teil von Bild 1 dargestellt.

Andere Anordnungen: Wird statt des leicht zugänglichen Polystyrols ein anderer Isolator verwendet, z.B. eine Platte aus Teflon, so lädt sich diese gleichfalls unter Elektronenbeschuss auf. Beim Zurückschalten der Strahlspannung ist aber keine Bildverbesserung zu erkennen. Isolatoren wie Glas haben meist ein zu geringes Isolationsvermögen, sie benötigen einen isolierenden Träger. Auch

hier ist ein einfacher Polystyroldeckel vorzuziehen. Eine Variante ist, über den Isolator ein Kupfer- oder Aluminiumblech zu legen. Hier ist die Aufladung gleichmäßig über das leitfähige Material verteilt. Eine solche großflächige Aufladung zeigt weniger Randverzerrungen. So wäre hier die Abbildung evtl. noch besser. Jedoch ist dann nach dem Zurückschalten der Strahlspannung die Beobachtungszeit verkürzt: Zum einen nehmen Staubpartikel einen Teil der Ladung auf und fliegen davon, zum anderen kann der Außenrand des Blechs mit Sprühentladung einen Teil der Ladung an die Kammerwände abgeben. Das gilt auch für halbleitendes Material wie Siliziumwafer, wie in Bild 8 bis 10 verwendet.

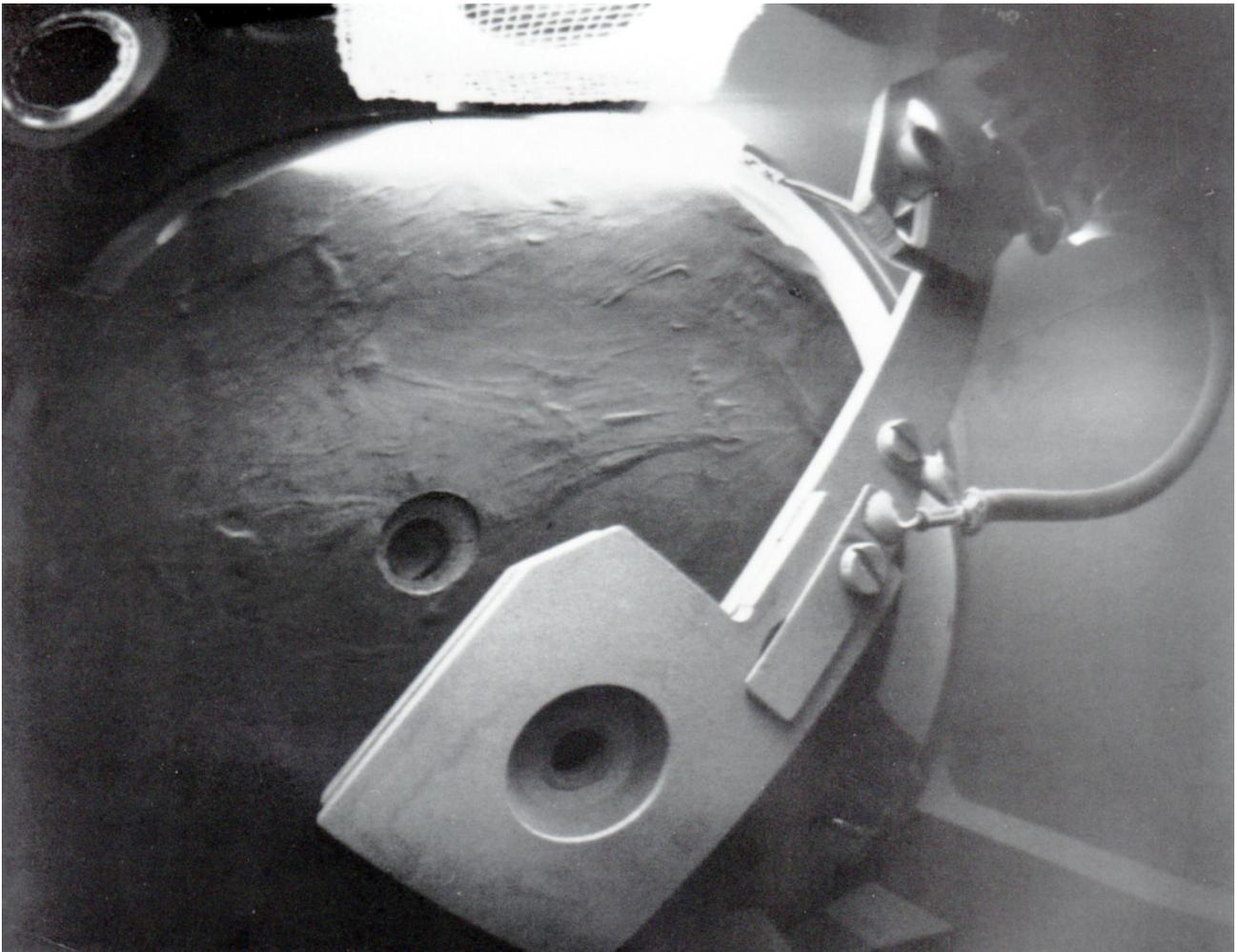


Bild 8: Ringdetektor auf Schwenkarm, gespiegelt an Siliziumwafer auf Teflonisolator. Der Ringdetektor wird soeben in Position gedreht.

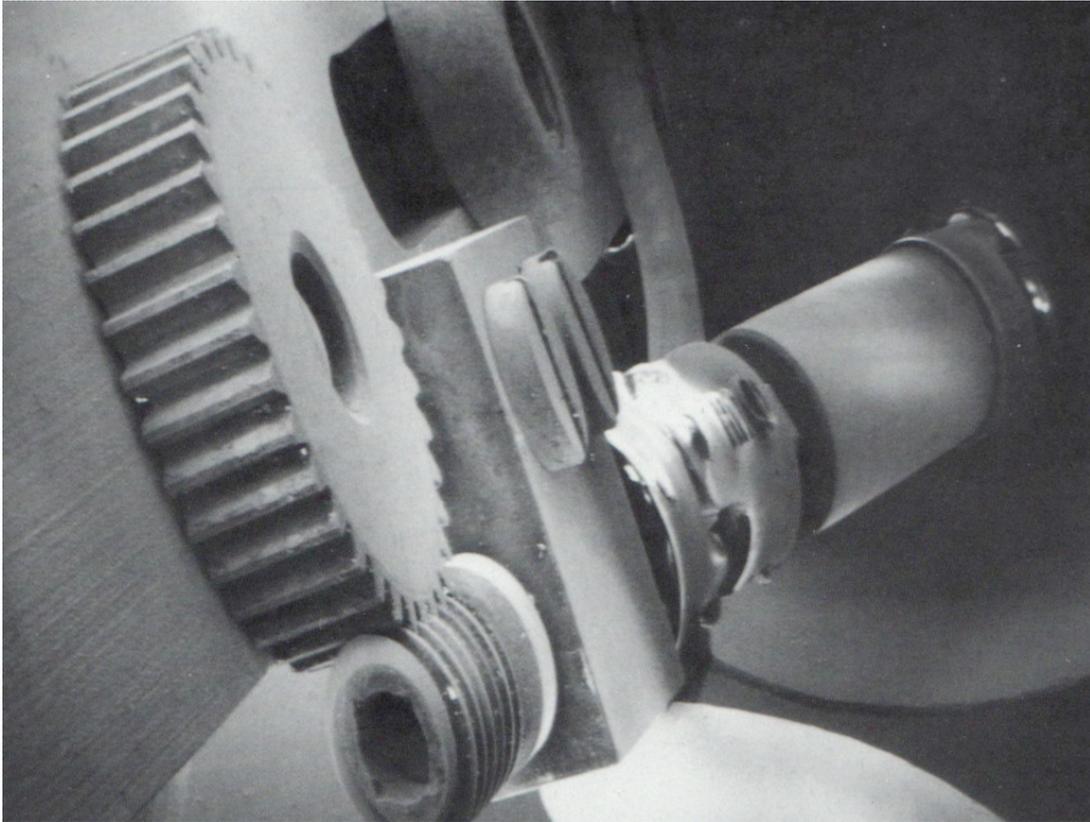


Bild 9: Getriebe zum Einschwenken des Ringdetektors (in Bild 8 oben rechts).
Vergrößerung 6fach.



Bild 10: Zahnrad mit Partikeln, Vergrößerung 60fach.

Literatur:

R. Eckert, Inspecting the SEM chamber with a charged polystyrene mirror, SCANNING Vol. 14, 73-75. Hier auch weitere Literatur.

R. Eckert, Buch "Sehen heißt wissen" (1998), Seiten 26-28, 54-57 und 62-63.