

(Mitteilung aus dem Laboratorium für Elektronenoptik der
Siemens & Halske A.-G. Berlin.)

Über Fortschritte bei der Abbildung elektronenbestrahlter Oberflächen.

Von E. Ruska und H. O. Müller.

Mit 4 Abbildungen. (Eingegangen am 13. Juli 1940.)

Während die Mikroskopie dünner von schnellen Elektronen durchstrahlter Objekte^{1) 2)} durch die Entwicklung einsatzfähiger Geräte³⁾ in den letzten Jahren in rasch steigendem Ausmaß auf den verschiedensten Arbeitsgebieten sich als nützlich erwiesen hat, ist bisher die mikroskopische Beobachtung von Oberflächen mittels schneller Elektronen⁴⁾ kaum angewandt worden. Die Schwierigkeiten dieser Methode liegen in der starken Geschwindigkeitsstreuung, der die von der Oberfläche zurückgestreuten Elektronen unterliegen, sowie darin, daß die zurückgestreute Strahlung sich auf einen sehr großen Winkelbereich verteilt, im Gegensatz zu dem äußerst feinen bestrahlenden Elektronenbündel. Der erste Umstand verursacht Bilder mit starken „chromatischen“ Fehlern, da die Elektronenlinsen nur Strahlen einheitlicher Geschwindigkeit zu scharfen Bildern vereinigen können. Der zweite Umstand verringert die erreichbare Bildheiligkeit erheblich, da bei der äußerst kleinen Abbildungsapertur der Elektronenlinsen mit der weitgehenden Zerstreuung des engen bestrahlenden Elektronenbündels ein sehr erheblicher Intensitätsverlust verbunden ist.

Bei den früheren Versuchen⁴⁾ wurden bestrahlte Oberflächen in etwa achtfacher Vergrößerung in einer Abbildungsstufe auf einem Leuchtschirm abgebildet und dort photographisch festgehalten. Dabei betrug die Auflösung etwa 20 bis 30 μ . Entsprechende Versuche wurden neuerdings fortgesetzt und dabei die technischen Verfahren der Übermikroskopie benutzt (Einschleusung von Objekt und Platte ins Vakuum; Glühkathoden zur Bestrahlung; besondere Kondensorlinse und zweistufige Abbildung). Zu den Versuchen wurde das früher für Durchstrahlungsversuche beschriebene Gerät⁵⁾ so umgebaut, daß der Bestrahlungsteil senkrecht zur Abbildungsachse liegt. Eine nach dem Prinzip der damals erprobten Schiffschleuse⁵⁾

¹⁾ M. Knoll u. E. Ruska, Ann. d. Phys. **12**, 607, 1932; ZS. f. Phys. **78**, 318, 1932. — ²⁾ B. v. Borries u. E. Ruska, ZS. f. Phys. **83**, 187, 1933. —

³⁾ B. v. Borries u. E. Ruska, Naturwissensch. **27**, 577, 1939; ZS. f. wiss. Mikr. **56**, 317, 1939. — ⁴⁾ E. Ruska, ZS. f. Phys. **83**, 492, 1933. — ⁵⁾ B. v. Borries u. E. Ruska, Wiss. Veröff. Siemens-W. **17**, 99, 1938.

arbeitende Objektschleuse mit der Möglichkeit einer axialen Objektbewegung wurde mit der Objektivspule fest zusammengebaut (Fig. 1). Wir

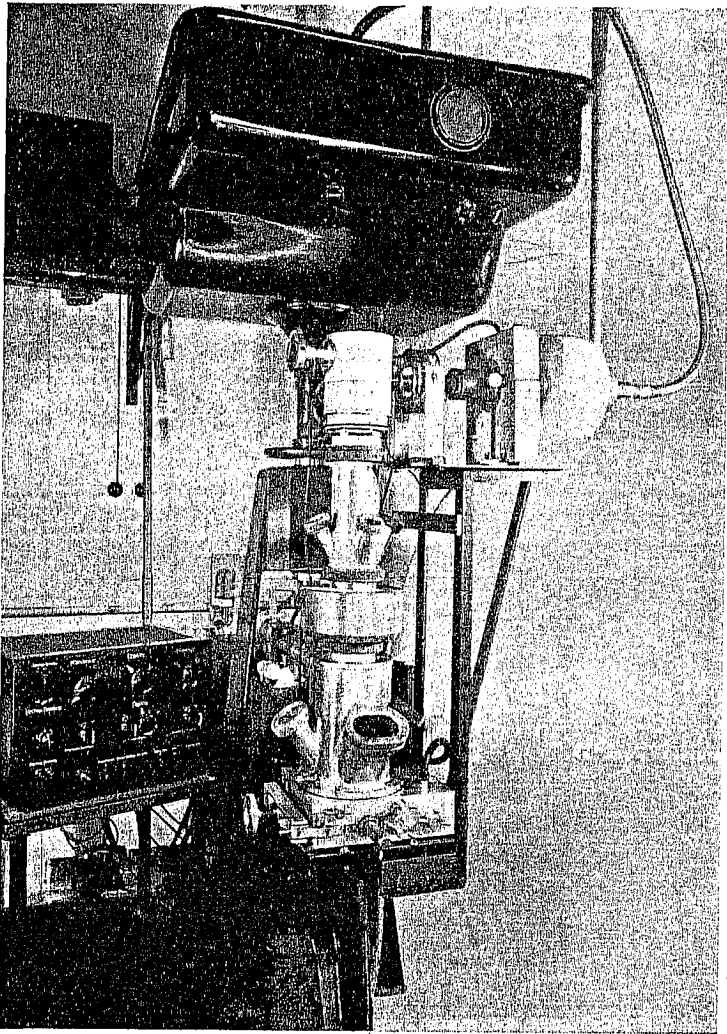


Fig. 1. Versuchsanordnung.

erhielten mit diesem Gerät bis 800fach elektronenoptisch vergrößerte Bilder von Metalloberflächen mit einem Auflösungsvermögen von 1 bis $2 \mu^*$).

*) Inzwischen sind $0,5 \mu$ erreicht.

Fig. 2 zeigt eine unter 5° bestrahlte angeätzte Messingoberfläche mit dem zugehörigen Lichtbild, Fig. 3 eine geätzte Eisenfläche. Bei den Aufnahmen von Oberflächen verschiedenen Materials bei verschiedener Oberflächen-

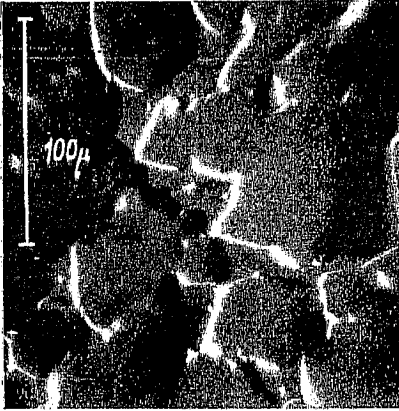


Fig. 2. Messing geätzt.
Bestrahlungswinkel 5° , Strahlspannung 40 kV,
Elektronenoptisch 200 : 1.

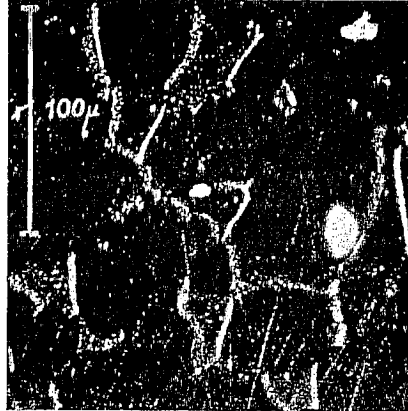


Fig. 3.
Lichtbild zu Fig. 2. Lichtoptisch 200 : 1.

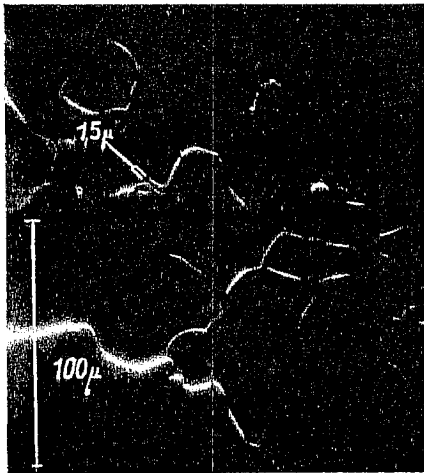


Fig. 4. Eisen geätzt. Bestrahlungswinkel 5° ,
Strahlspannung 40 kV, Elektronenoptisch 330 : 1.

behandlung (Eisen, Kupfer, Messing; geschliffen, durch Sandstrahl aufgeraut, angeätzt) zeigte sich, daß das Relief der Oberfläche durch den scharf gebündelten Strahl infolge der Schlagschattenwirkung gut wiedergegeben wird, insbesondere zeigen sich die Grenzen der verschieden tief

abgeätzten Kristalle. Aber auch sehr flache strichartige Schleifmulden sowie einzelne kleine erhabene oder vertiefte Stellen zeigen sich deutlich im Bestrahlungsbild. Für den Wert der Auflichtmikroskopie mit Elektronen wird es wichtig sein, ob Unterschiede in der stofflichen Zusammensetzung der einzelnen Kristalle auch bei ebener Oberfläche infolge verschieden über den Winkelbereich verteilter Rückstreuung zu Bildkontrasten führen, so daß sich Struktureinzelheiten des Objektes und nicht nur lediglich Unebenheiten der Oberfläche abbilden. Die Deutung solcher Oberflächenbilder muß dann im einzelnen noch ausgearbeitet werden.

Der unmittelbaren¹⁾ Abbildung mittels schneller rückgestreuter Elektronen zugänglich sind beliebige Oberflächen, insbesondere aus dem Gebiet der Metallographie. Ein Vorteil der Methode gegenüber der elektronenoptischen Emissionsbeobachtung²⁾ liegt in dem Umstand, daß sie bei allen Temperaturen anwendbar ist und keine besondere Präparation verlangt, um die Oberflächen elektronenemittierend zu machen. Nach den üblichen metallographischen Verfahren angeätzte Schiffe können daher bei Zimmertemperatur und bei den Gefügeumwandlungstemperaturen betrachtet werden, wobei die letztere Beobachtung lichtoptisch nicht möglich ist.

¹⁾ Eine mittelbare Abbildung von Metalloberflächen mit schnellen Elektronen im Durchstrahlungsmikroskop hat kürzlich H. Mahl (Metallwirtschaft 21, 488, 1940) gezeigt. Hierbei werden Filme auf der Oberfläche erzeugt bzw. auf ihr abgedrückt, die nach ihrer Ablösung von der Oberfläche deren Reliefstruktur im Durchstrahlungsbild wiedergeben. — ²⁾ E. Brüche u. H. Johannson, ZS. f. techn. Phys. 14, 487, 1938.