Die Untersuchung von Festkörperoberflächen mit dem Photoemissionselektronenmikroskop

Autor(en): **Wegmann, Lienhard**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bericht über die Tätigkeit der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **79 (1963)**

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-832774

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

DIE UNTERSUCHUNG VON FESTKÖRPEROBERFLÄCHEN MIT DEM PHOTOEMISSIONS-ELEKTRONENMIKROSKOP

Übersichtsvortrag an der
Frühjahrstagung 1969 der Schweiz. Physikalischen Gesellschaft
in Bern

LIENHARD WEGMANN

Durch die Forschungserfolge, die im Laufe der letzten Jahre mit dem Rasteremissions-Elektronenmikroskop erzielt wurden, ist dem Elektronenmikroskopiker klar geworden, daß auch ein Elektronenmikroskop mit einer Auflösung von «nur» einigen hundert Ångström von großer Bedeutung für die Forschung sein kann, sofern damit eine *Direktabbildung von Festkörper-Oberflächen* möglich ist. Die faszinierenden Ergebnisse des Raster-Elektronenmikroskops beruhen auf der plastischen Wiedergabe der Oberflächentopographie von Objekten, die mit Hilfe der Replicatechnik im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop nur schwierig oder gar nicht zu beherrschen sind.

Seit ganz kurzer Zeit gesellt sich zu den Methoden der elektronenmikroskopischen Direktabbildung eine neue hinzu, deren Ergebnisse auf einer ganz anderen Ebene liegen, jedoch ebenso faszinierend sind. Die *Photoemissions-Elektronenmikroskopie* ist an sich nicht neu; sie geht auf die ursprünglichen Arbeiten von Brüche (1933) zurück. Daß die Photoemission während der folgenden 25 Jahre in der Elektronenmikroskopie kaum beachtet wurde, ist wesentlich zwei Ursachen zuzuschreiben: Erstens gaben die von verschiedenen Forschern konstruierten Photoemissionsmikroskope eine sehr schwache Elektronen-

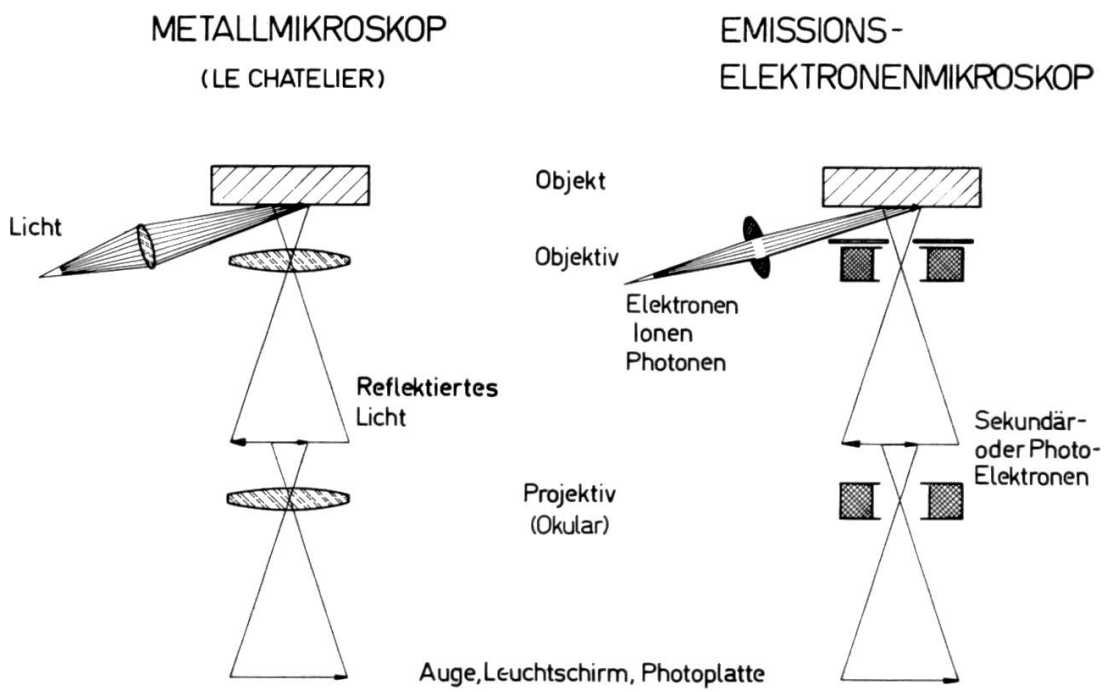

Abb. 1 Vergleich des Strahlenganges eines Metall-Lichtmikroskops und eines Emissions-Elektronenmikroskops.

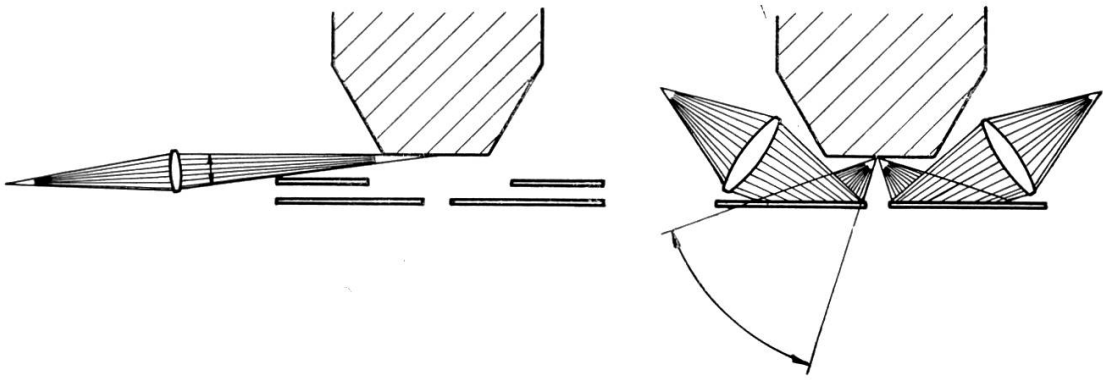

Abb. 2 Verschiedene Arten von Objektbeleuchtung mit ultraviolettem Licht. Oben Objekt, unten Anode (rechts als Spiegel benützt). Strahlengang des UV-Lichtes mit Quarzlinsen.

ausbeute, welche nicht einmal die im Lichtmikroskop erreichbaren Vergrößerungen zuließen. Zweitens aber ist für die Photoemissionsmikroskopie eine ausgefeilte Vakuumtechnik notwendig, welche bis vor kurzer Zeit nicht zur Verfügung stand.

Die gegenwärtige Entwicklung bahnte sich an, als ENGEL[1] 1966 das Problem der Bildhelligkeit in Photoemission löste. Der schematische Strahlengang eines Photoemissions-Elektronenmikroskops ist in Abb. 1 (rechte Hälfte) dargestellt. Die normalerweise polierte Festkörperoberfläche des Objektes wird durch ultraviolettes Licht angestrahlt. Durch den äußeren Photoeffekt werden dabei Elektronen freigesetzt, welche ins Vakuum austreten. Ein starkes elektrisches Feld zwischen der Objektoberfläche und der in einigen Millimetern Abstand folgenden Anode beschleunigt die freigesetzten Elektronen in Richtung auf die Anode zu. Durch eine Bohrung in der Anode gelangt das Elektronenbündel mit der Endgeschwindigkeit von etwa 50 keV in ein normales Elektronenmikroskop mit zwei oder drei elektromagnetischen Linsen, welche ein vergrößertes Emissionsbild auf den Leuchtschirm oder direkt auf die im Vakuum befindliche Photoplatte projizieren. Dieser Strahlengang gleicht demjenigen eines Metallmikroskops (Abb. 1, links), wobei anstelle der Lichtreflexion die Elektronenemission zur Abbildung der Objektoberfläche benützt wird. In Abb. 2 ist die Partie von Objekt und Anode in größerem Maßstab dargestellt. In früheren Ausführungen von Photoemissionsmikroskopen wurde, wie in Abb. 1 links dargestellt ist, ein Wehnelt-Zylinder verwendet, wobei das UV-Licht durch den wenige Millimeter breiten Spalt zwischen Objekt und Wehnelt seitlich eingestrahlt wurde. ENGEL konnte wegen der Verwendung einer nach-

folgenden elektromagnetischen Objektivlinse den Wehnelt-Zylinder weglassen und spiegelt das UV-Licht mehrerer Quarzlampen an der polierten Anodenoberfläche. Auf diese Weise erhält er sowohl einen bedeutend größeren Öffnungswinkel als auch einen steileren Einfall des UV-Lichtes. Die damit erzielte höhere Bildintensität läßt direkte elektronenoptische Vergrößerungen bis 10000× zu, und es gelang ENGEL nachzuweisen, daß Photoemissionsbilder von Metalloberflächen mit Grenzauflösungen bis zu 120 Å hinunter aufgenommen werden können.

Damit trat die Photoemission erstmals ins Blickfeld als interessante Methode der elektronenmikroskopischen Direktabbildung von Festkörperoberflächen mit einer das Lichtmikroskop weit übertreffenden Leistungsfähigkeit. Durch frühere Arbeiten, insbesondere von HUGUENIN [2] und KOCH [3], war bekannt, daß die Photoemission auch sehr viel kontrastreichere Bilder liefern konnte als das Lichtmikroskop; ebenso war aber auch bekannt, daß diese Kontraste meist durch Belegung der Oberfläche im Vakuum mit Fremdschichten verlorengingen. Ein für die Anwendung in der Metallkunde und Mineralogie geeignetes Photoemissionsmikroskop muß deshalb Möglichkeiten enthalten, das Objekt im Vakuum des Mikroskops zu präparieren, insbesondere von Fremdschichten zu reinigen; zudem muß der Druck in der Objektkammer so tief sein, daß nicht eine rasche Wiederbelegung stattfindet. Dieses Problem hat die Abteilung für Korpuskularstrahlgeräte der Firma *Balzers* in Angriff genommen, und es gelang uns, ein Gerät zu entwickeln, welches diese Probleme der Photoemissionsmikroskopie beherrscht. Abb. 3 zeigt einen Schnitt durch das Photoemissionsmikroskop nach GRABER, GRIBI, HÄUSLER und WEGMANN [4, 5]. Die Besonderheit dieses Gerätes ist die an die Objektkammer angebaute Präparationskammer (8), in welche das Objekt (3) durch Schwenken des Objekthalters (2) eingeführt werden kann. In dieser Stellung (9) wird die Festkörperoberfläche nach dem Einschleusen des Objektes einem kurzen Bombardement von langsamen Edelgasionen mit senkrechtem Einfall ausgesetzt. Diese Behandlung reinigt die Oberfläche von Fremdschichten, u. a. auch von Oxiden, da das Objekt sich während der Ionenreinigung im Innern einer Kühlfalle (10) befindet. Das Vakuum in der Objektkammer beträgt 10^{-7} Torr, der Sauerstoffpartialdruck 5.10^{-8} Torr. Diese Werte wurden kürzlich noch verbessert durch Einbau einer Kryopumpe mit flüssigem Helium in den Objektraum.

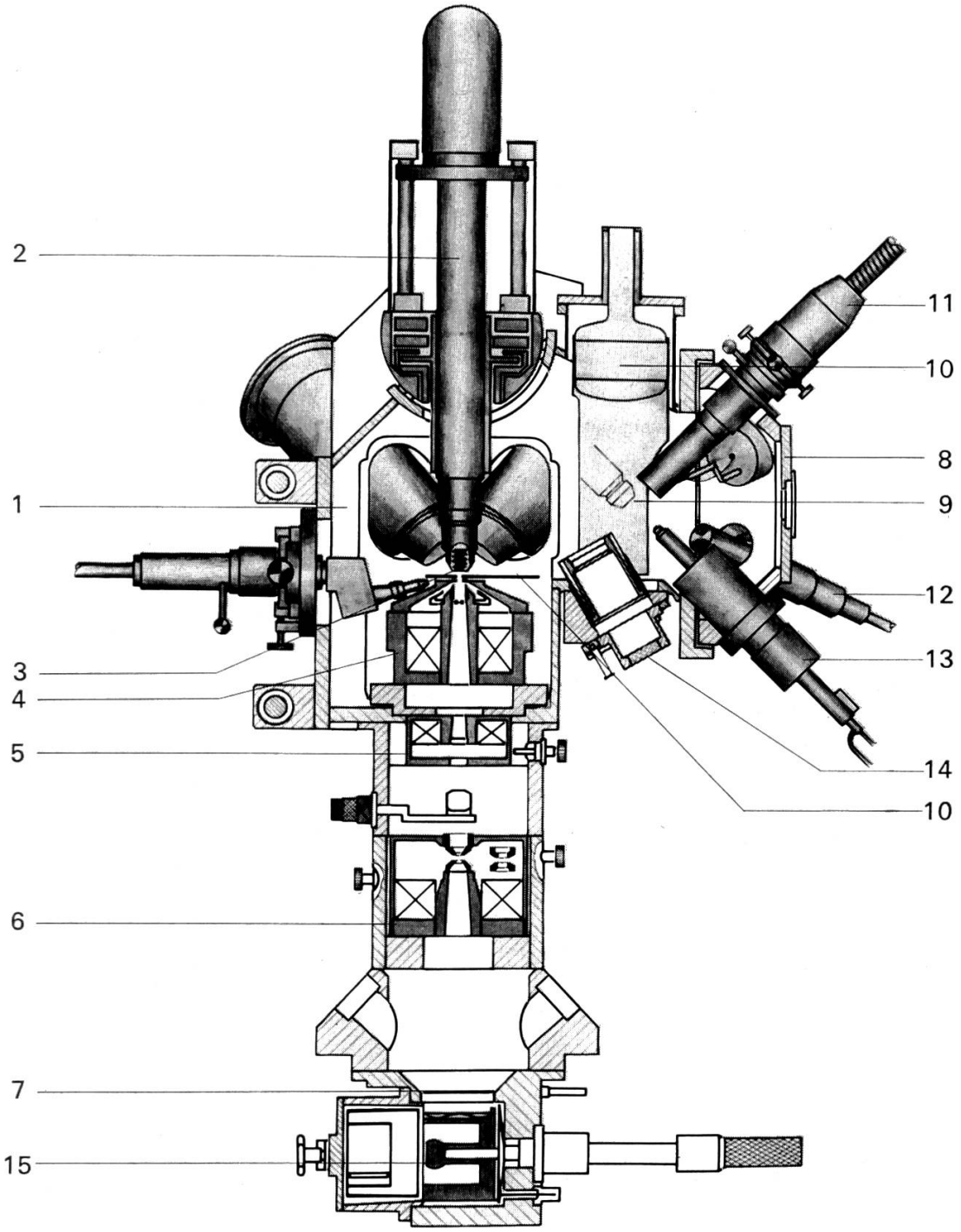

Abb. 3 Schnitt durch das Photoemissions-Elektronenmikroskop.

1 Objektkammer
2 Objekthalter mit Objektheizung und Temperaturmessung
3 Objekt
4 Objektivlinse, elektromagnetisch
5 Zwischenlinse
6 Projektivlinse
7 Leuchtschirm
8 Präparationskammer
9 Objektstellung bei ausgeschwenktem Objekthalter
10 Anode
11 Ionenreinigungsvorrichtung
12 Aufdampfvorrichtung
13 Abschreckvorrichtung
14 Objektschleuse
15 Photoplattenkassette oder Filmkamera

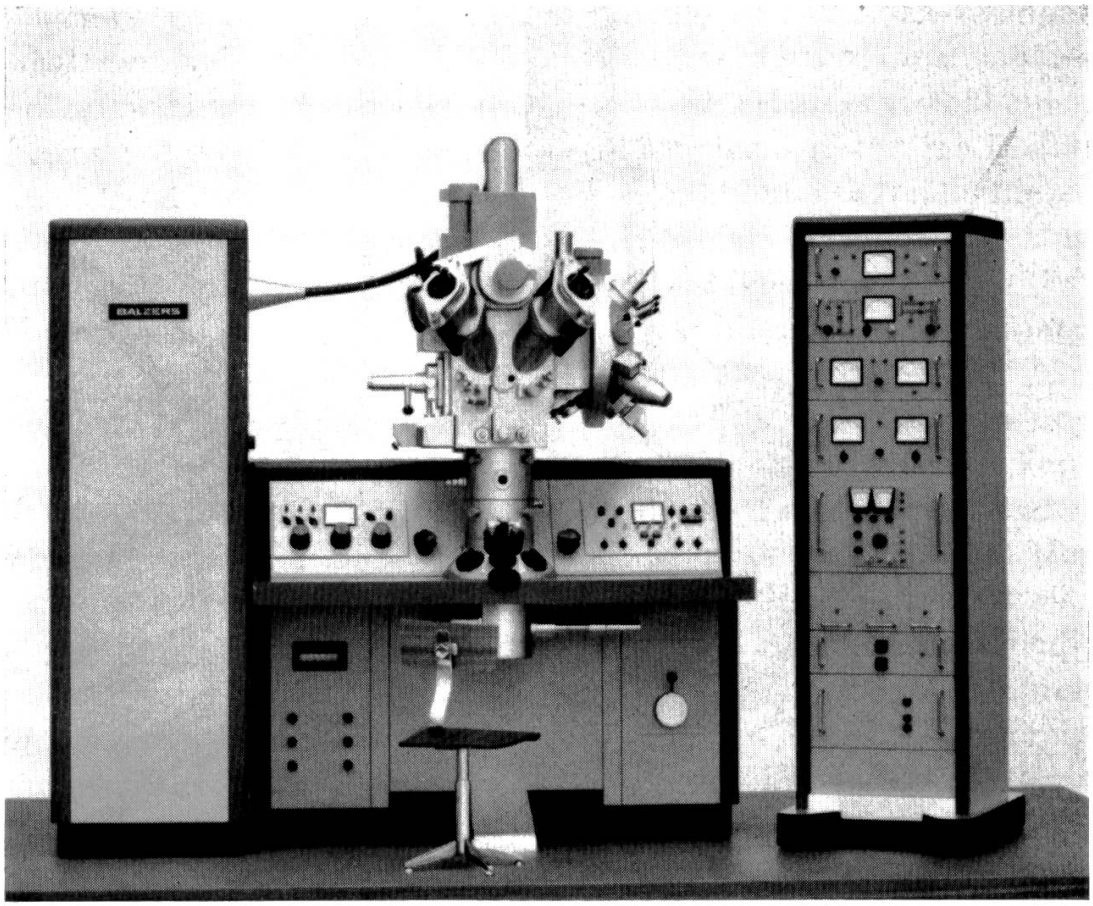

Abb. 4 Photoemissions-Elektronenmikroskop *Balzers Metioskop KE 3.*

Dank den ausgezeichneten Kontrasten, welche die Photoemission erlaubt, eignet sich das Gerät speziell auch als Heiztisch-Elektronenmikroskop mit Objekttemperaturen bis zu 2000 °C, wobei bei höheren Temperaturen die Photoemission automatisch in die thermische Elektronenemission übergeht. Unser Photoemissionsmikroskop ist deshalb mit einer Reihe von Vorrichtungen ausgestattet, welche speziell der Heiztischmikroskopie und der dabei notwendigen Objektpräparation im Mikroskopinnern dienen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Einrichtungen und ihrer Funktion findet sich bei WEGMANN[6]. Die für ein Elektronenmikroskop recht ungewöhnliche äußere Form des Gerätes, welche durch die große Präparationskammer und die schräg angebrachten UV-Beleuchtungssysteme mit Quarzoptik verursacht ist, kommt in Abb. 4 zum Ausdruck.

Das beschriebene Gerät hat uns im Laufe des vergangenen Jahres Gelegenheit gegeben, die Wirkungsweise und die Möglichkeiten des Photoemissionsmikroskops sehr viel eingehender zu untersuchen, als

Abb. 5 Photoemissionsaufnahme eines Sphärogusses. In der Mitte der Sphärolit, darum herum die Ferritzone, außen Perlit. Vergrößerung 1800×.

das bis anhin der Fall sein konnte. Hier soll speziell behandelt werden, was wir über die *Kontrastentstehung* in der Photoemission bis heute wissen. Dabei haben wir zwischen verschiedenen Kontrastarten zu unterscheiden, welche normalerweise in einem Photoemissionsbild überlagert erscheinen. Abb. 5 zeigt die Photoemissionsaufnahme eines Sphäroliten im Sphäroguß. Vorerst fällt die *Materialdifferenzierung* auf: Der Graphitkörper des Sphäroliten erscheint grau und hebt sich deutlich von dem ihn umgebenden Ferritring ab. Der Ferritring selbst ist in verschiedene schwarze, weiße und graue Bereiche aufgeteilt: dies sind die verschieden orientierten Ferritkörper, die im *Orientierungskontrast* unterschieden werden. Dieselbe Orientierungsdifferenzierung erkennt man im den Ferrit umgebenden perlitischen Bereich. Diesen Kontrasten überlagert ist der *Topographiekontrast*, der deutlich die durch das Schleifen der Probe entstandenen Kratzer erkennen läßt, aber auch die Wölbung des Sphäroliten und des Ferritringes. Es ist erstaunlich, wie das Auge diese Fülle von Kontrasten in einem Bild durch Hinzunahme morphologischer Information spielend ordnet und so die verschiedenen Kontrastarten unterscheidet. Obwohl der Grauton des Sphäroliten zwischen den Helligkeiten

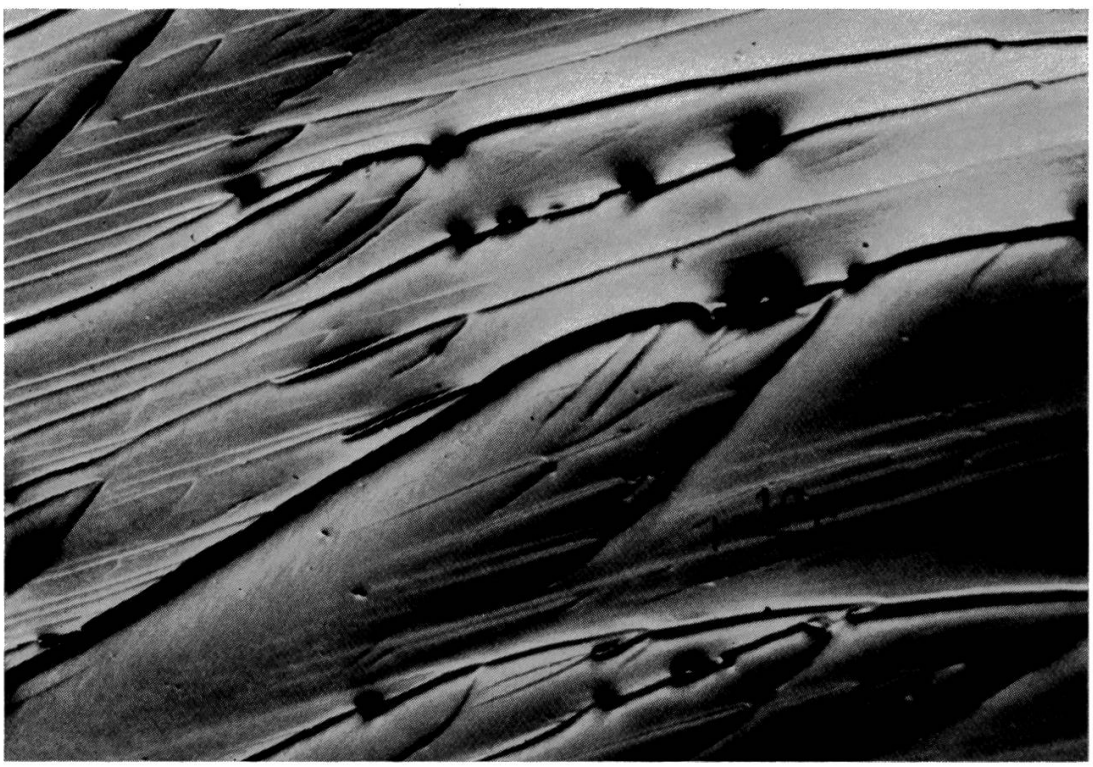

Abb. 6 Photoemissionsbild eines Spaltbruches durch einen Wolframkristall. Vergrößerung 1700×.

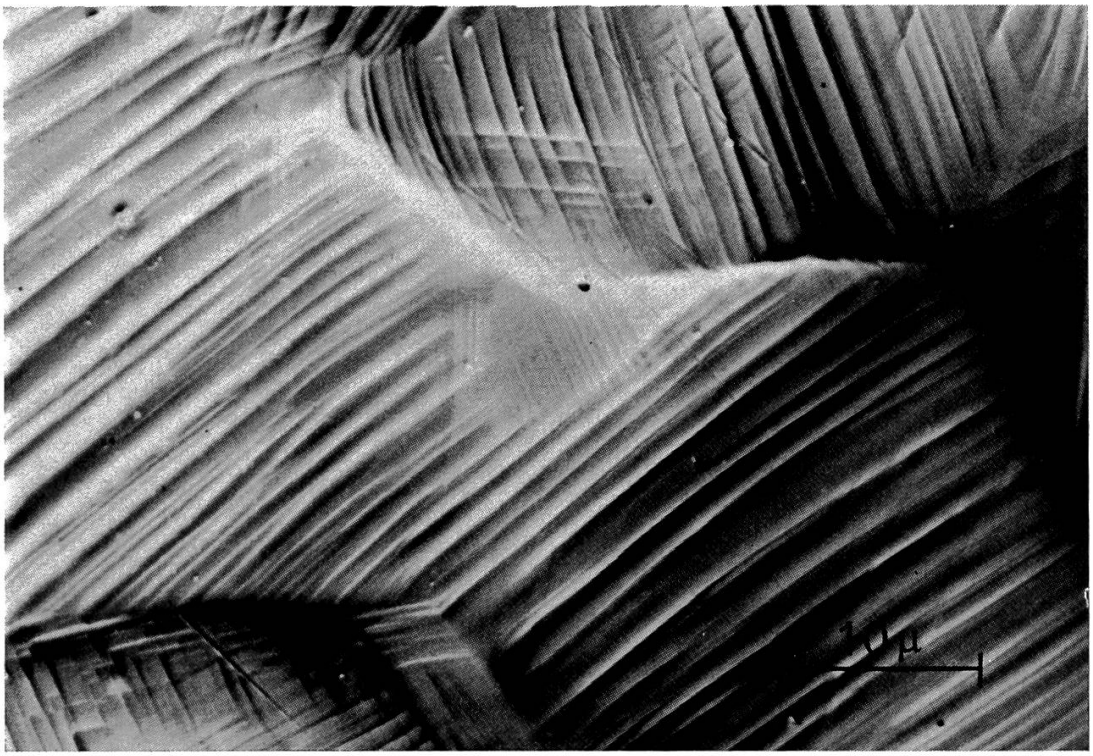

Abb. 7 Gleitliniensystem auf einer vorerst polierten, dann gezogenen Stahloberfläche. Vergrößerung 2000×.

der Ferritkörner liegt, wird er dank der topographischen Feinstruktur der Oberfläche sofort als etwas anderes erkannt. Die perlitische Zone wird trotz ähnlicher Orientierungskontraste von der ferritischen durch die Perlitlamellen unterschieden. Und da in den Material- und Orientierungskontrasten in einem solchen Bild keine fließenden Übergänge vorkommen, werden alle kontinuierlichen Helligkeitswechsel sofort als topographische Unterschiede erkannt. Es hat sich allgemein gezeigt, daß die Interpretation photoemissionsmikroskopischer Bilder in diesem Sinne keine Schwierigkeiten bereitet.

Es ist nun möglich, die verschiedenen Kontraste in speziell präparierten Objekten praktisch einzeln zu erhalten. Abb. 6 zeigt einen rein topographischen Kontrast am Spaltbruch durch einen Einkristall. Diese Aufnahme bestätigt eine neuere Theorie von Seiler und Lenz[8], wonach für die Entstehung dieser Art Kontrastes ähnlich wie im Raster-Elektronenmikroskop nur die Neigung der verschiedenen Oberflächenelemente zur optischen Achse des Mikroskops maßgebend ist. Die erhebliche Schärfentiefe solcher Photoemissionsaufnahmen ist dort von großer Bedeutung, wo das Objekt durch willkürliche Einwirkung von Temperatur oder Deformationskräften

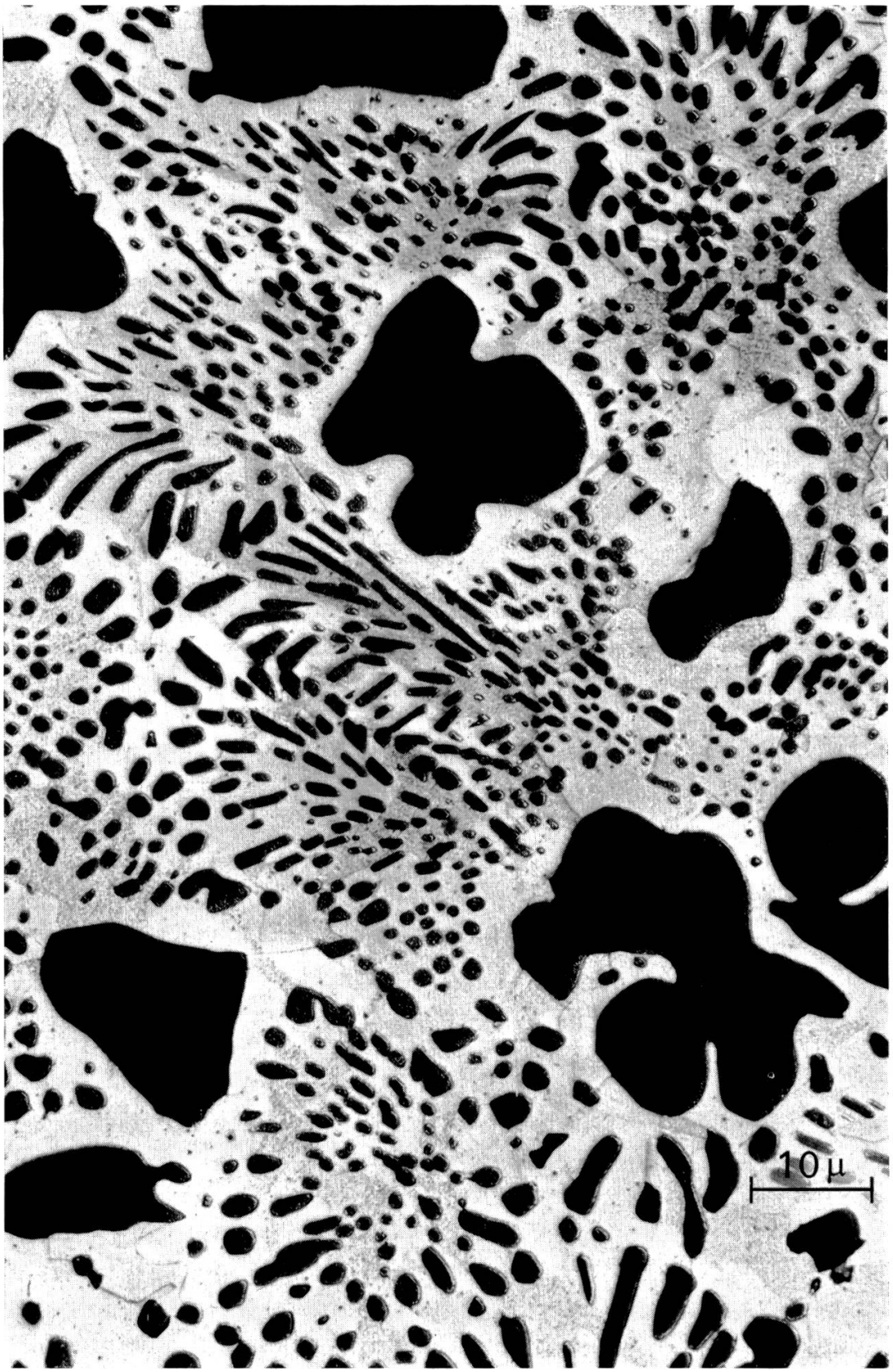

Abb. 8 Photoemissionsaufnahme von Ausscheidungen in einem Silberlot. Vergrößerung 1500×.

Abb. 9 Photoemissionsaufnahme einer Kupferoberfläche. Das Objekt wurde im Mikroskop bei 800° C rekristallisiert und nach Abkühlung auf 200° C aufgenommen. Vergrößerung 4800 ×.

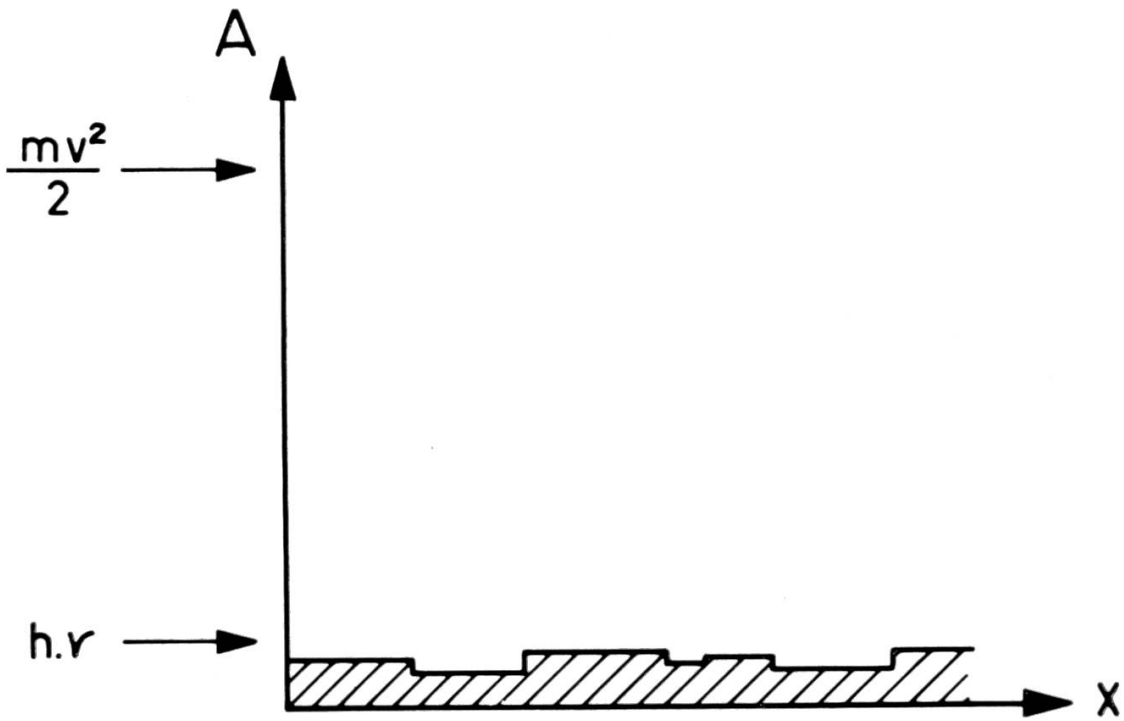

Abb. 10 Austrittsarbeit A verschiedener längs der x-Achse aufgereihter Körner und Vergleich mit der Quantenenergie hv des eingestrahlten UV-Lichtes.

ein Relief erhalten hat. Abb. 7 zeigt beispielsweise ein Gleitliniensystem, das auf einer polierten Stahloberfläche durch Zug entstanden ist. Solche Versuche sind im Lichtmikroskop wegen seiner geringen Schärfentiefe nicht mehr durchführbar. Andererseits sind Objekte mit sehr starkem Tiefenprofil, wie sie das Raster-Elektronenmikroskop abbilden kann, im Photoemissionsmikroskop wegen der Feldverzerrung in der Kathodenlinse nicht mehr zu bewältigen (WEGMANN[9]). Die eigentliche Bedeutung des Photoemissionsmikroskops liegt deshalb nicht auf diesem Gebiet, sondern auf demjenigen der *kristallinen Kontraste*. Wir nennen den Material- und Orientierungskontrast im Gegensatz zum Topographiekontrast kristallin, weil die ersten beiden Kontraste durch die Kristallstruktur der Oberfläche gegeben sind. Abb. 8 zeigt einen typischen Fall von reinem Materialkontrast: die Ausscheidungen aus einem Silberlot erscheinen schwarz auf einer weißen Matrix. Abb. 9 zeigt dagegen einen reinen Orientierungskontrast; das Objekt ist ein bei 800 °C im Mikroskop rekristallisiertes Kupfer. Die materialmäßig einheitlichen Körner zeigen eine zur Objektoberfläche verschiedene kristallographische Orientierung und erscheinen deshalb in verschiedener Helligkeit der Photoemission. Beide Arten von kristallinem Kontrast kom-

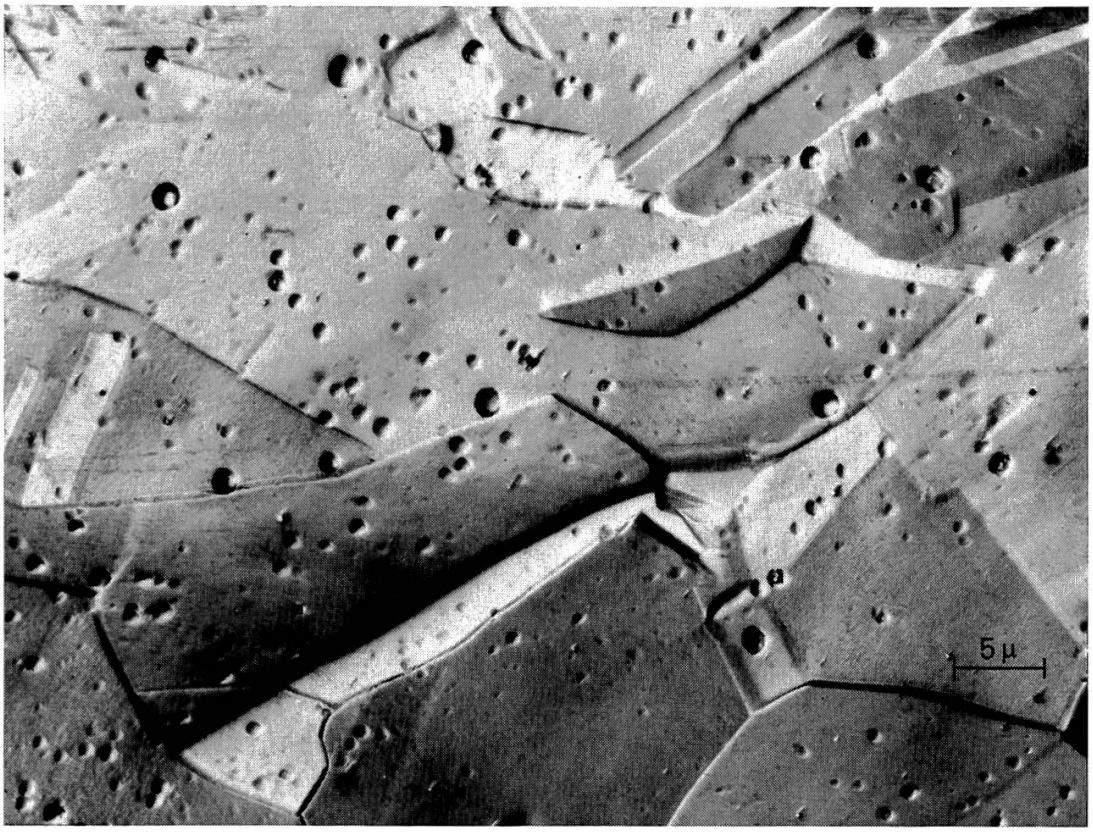

Abb. 11 Photoemissionsaufnahme einer elektrolytisch polierten Kupferoberfläche bei Raumtemperatur. Vergrößerung 1800×.

men im wesentlichen durch die verschiedene Austrittsarbeit für Elektronen zustande. Abb. 10 illustriert diese Kontrastentstehung. Längs der Abszissen sind verschiedene Materialien bzw. verschieden orientierte Körner desselben Materials aufgereiht, in der Ordinate sind die zugehörigen Austrittsarbeiten A in der Größenordnung von einigen eV aufgetragen. Das eingestrahlte UV-Licht der Quecksilber-Hochdrucklampen besitzt die Quantenenergie $h\nu$, und die energiereichsten Quanten dieses Spektrums liegen gerade in der Größenordnung der Austrittsarbeiten A der meistuntersuchten Metalle. Für $h\nu < A$ ist die Elektronenausbeute nach dem Einsteinschen Gesetz Null, für $h\nu > A$ nimmt sie mit der Einstrahlungsenergie zu (HUGUENIN [2]). Durch die Tatsache, daß die Quantenenergie wenig über den Austrittsarbeiten liegt, wird die Photoemissionsmikroskopie außerordentlich empfindlich auf kleine Unterschiede in der Austrittsarbeit, was die extrem guten Kontrastverhältnisse erklärt. (Ob diese noch durch eine unterschiedliche Elektronenproduktion infolge verschiedener Übergangswahrscheinlichkeiten verstärkt werden, ist

bis heute nicht geklärt.) Frühere Versuche, mit der Energie $\frac{mv^2}{2}$ eingestrahlter Elektronen oder Ionen Emissionsmikroskopie zu betreiben, scheiterten hauptsächlich an den prekären Kontrastverhältnissen, da die eingestrahlte Energie weit über den Austrittsarbeiten liegt. Zwar kommen dabei andere Kontrastentstehungsarten zur Wirkung (Channeling-Effekte), jedoch sind sie nicht immer und unter allen Verhältnissen realisierbar. Gerade dies ist aber unbedingte Voraussetzung, wenn das Emissionsmikroskop als Heiztischmikroskop Anwendung finden soll, denn Objektveränderungen wie Korngrenzenwanderung, Kornwachstum, Diffusion usw. werden meist nur im Orientierungs- und Materialkontrast sichtbar. Dies zeigen an einem einfachen Beispiel die Abb. 11 und 12. In Abb. 11 ist das Photoemissionsbild einer elektrolytisch polierten Kupferoberfläche wiedergegeben. Die Korngrenzen werden sowohl durch die Schwarz-Grau-Weiß-Töne des Orientierungskontrastes sichtbar wie auch durch den topographischen Kontrast der schwachen Ätzung. Diese beiden Informationsarten stimmen nicht mehr überein, wenn das Objekt im Mikroskop auf 350 °C erhitzt wird: Die Oberflächen-

Abb. 12 Aufnahme derselben Objektstelle wie Abb. 11 nach Aufheizen des Objektes auf 350° C. Sichtbarwerden der Rekristallisation in Photoemission bei unverändertem Oberflächenrelief.

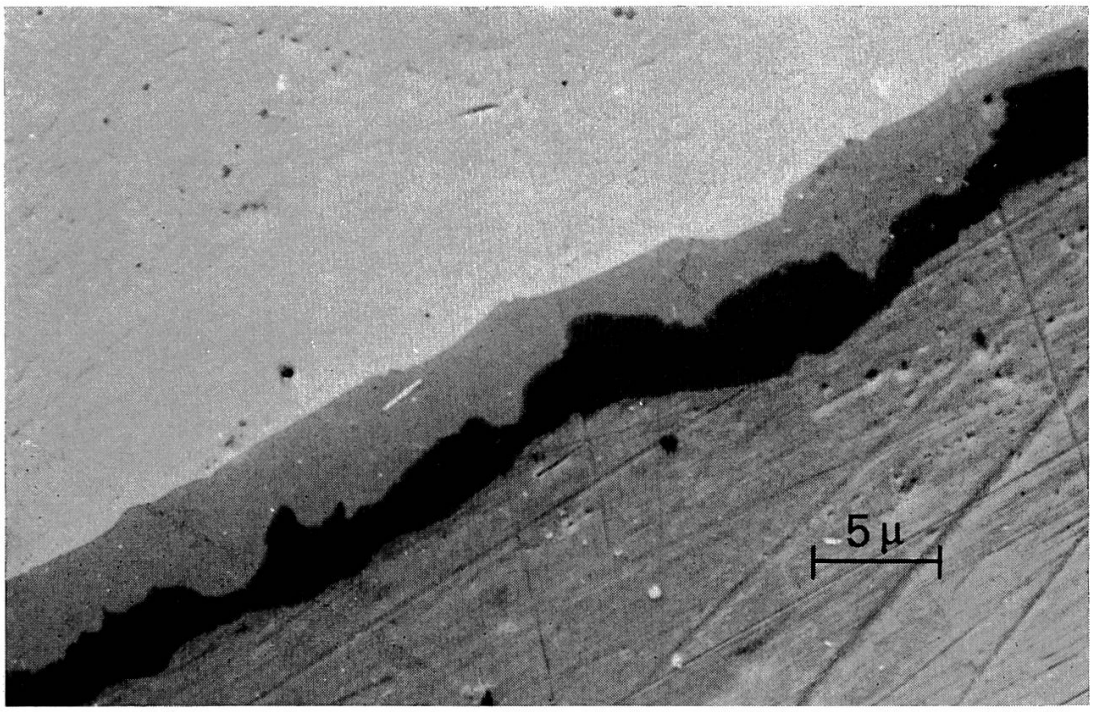

Abb. 13 Photoemissionsaufnahme einer Diffusionszone zwischen Eisen (grau) und Titan (hell). Vergrößerung 2500×.

topographie hat sich trotz der Umkristallisation nicht verändert; eine Beobachtungsmethode, welche nur die Tropographie wiedergibt, würde keine Veränderung des Objektes aufzeigen. Der Austrittsarbeitskontrast der Photoemission zeigt jedoch ganz klar die neue Anordnung der Körner, welche teils durch die alten Korngrenzen hindurchgewachsen sind (ZAMINER[10]). Es ist hier beizufügen, daß die neue Struktur des Kupfers auch im Lichtmikroskop nicht sichtbar werden würde, da der Reflexionskoeffizient nur für nichtkubische Kristalle anisotrop ist. Abb. 13 zeigt eine Diffusionszone zwischen Eisen (dunkel) und Titan (hell) mit zwei intermetallischen Phasen, deren Verlauf sehr schön sichtbar wird. Anwendungsbeispiele finden sich bei AUWÄRTER et al.[11] und ZAMINER et al.[12], GINDRAUX und FORM[13] sowie SCHWEIZER und FORM[14].

Auch Halbleiter lassen sich im Photoemissions-Elektronenmikroskop in den gleichen Kontrastarten abbilden (WEGMANN[15]). Eine besondere Kontrastart zeigt Abb. 14. Auf den ersten Blick vermutet man eine gestufte Oberfläche; die durchgehenden Kratzer machen jedoch klar, daß es sich um eine flachpolierte Oberfläche handelt. Die kontrastiert abgebildeten Zonen sind ferroelektrische Domänen in einem WO_3-Kristall. Abb. 15 zeigt die schräg zur Oberfläche ge-

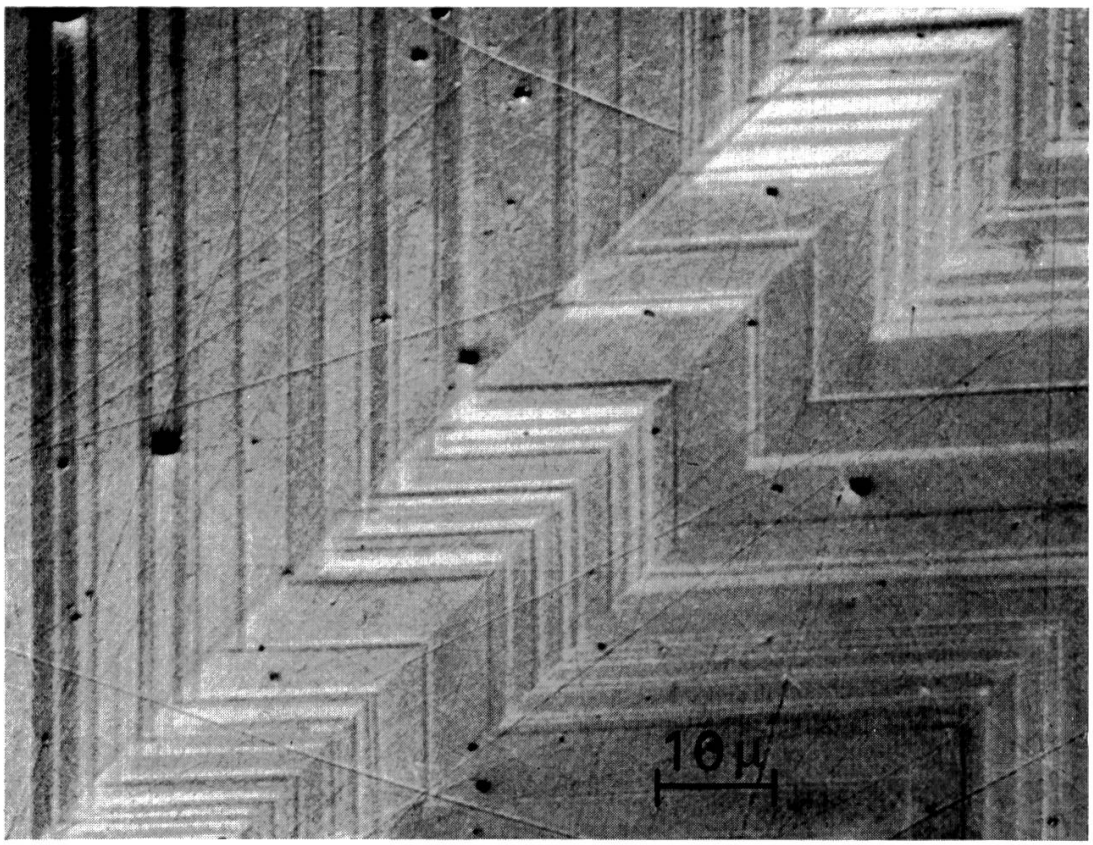

Abb. 14 Photoemissionsbild von ferroelektrischen Domänen in einem WO_3-Kristall. Vergrößerung 1200×.

richtete Anordnung der antiparallel polarisierten Domänen. Das Bild kann eine Erklärung dieser Kontrastart geben, wenn man beachtet, daß die resultierende elektrische Feldstärke an der Oberfläche je einen positiven oder negativen Beitrag zur Austrittsarbeit gibt.

Oberflächen von Isolatoren können im Photoemissionsmikroskop oft ebenfalls ohne besondere Maßnahmen aufgenommen werden. Ein Beispiel dafür gibt die Basaltaufnahme Abb. 16. Sind die Oberflächen extrem isolierend, so müssen sie oft zur Vermeidung von Aufladungen mit einer dünnen leitenden Schicht bedampft werden. Da solche Schichten eine Mindestdicke von etwa 30 Å haben müssen, ist ein Austrittsarbeitskontrast nicht mehr möglich, denn die Austrittsarbeit wird nun auf der ganzen Oberfläche vom aufgedampften

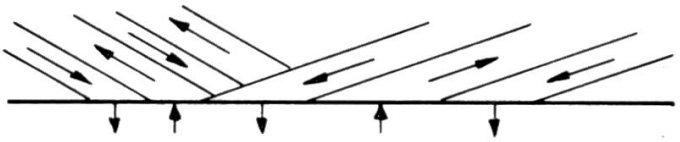

Abb. 15 Beeinflussung der Austrittsarbeit durch ferroelektrische Domänen.

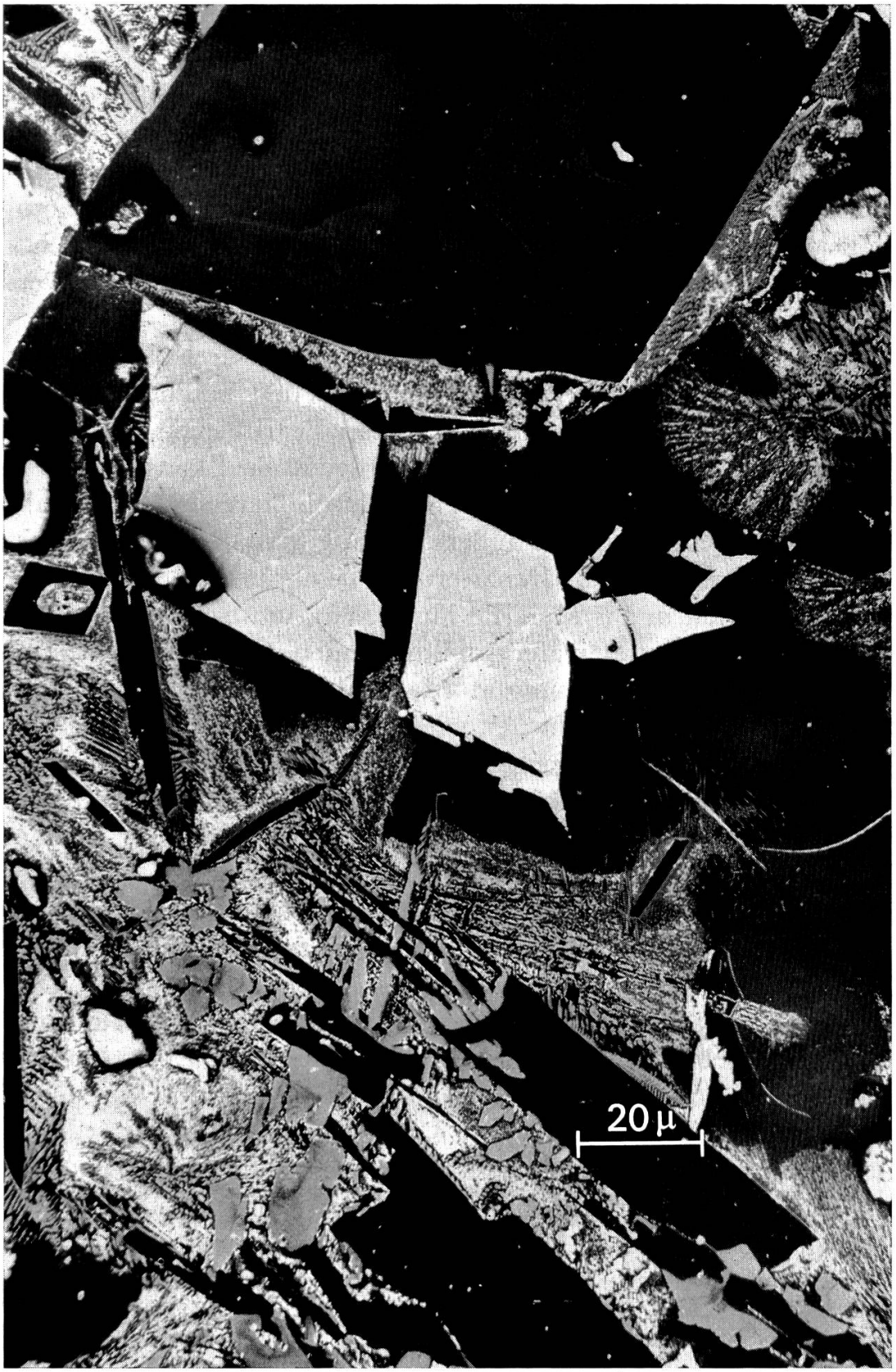

Abb. 16 Photoemissionsbild eines Basalt-Anschliffes mit klarer Unterscheidbarkeit der verschiedenen Gesteinskomponenten im Materialkontrast. Vergrößerung 760×.

Material bestimmt. Trotzdem ist, wie WEGMANN[9] gezeigt hat, sowohl ein Materialkontrast wie wahrscheinlich auch ein Orientierungskontrast sichtbar. Hier ist die Kontrastentstehung durch die unterschiedliche Absorption des UV-Lichtes in den verschiedenen Isolatoren und die damit verbundene unterschiedliche Elektronenproduktion zu erklären. Es wird damit deutlich, daß in den in Photoemission betrachteten Objekten meist ein sehr komplizierter Mechanismus der Kontrastentstehung herrscht, bei welchem sich die verschiedensten Effekte überlagern (WEGMANN[16]).

Daß Materialkomponenten durch eine 30 Å dicke Kohlenschicht hindurch differenziert werden können, zeigt, daß die Photoemission eine gewisse *Informationstiefe* besitzt. Dieser Begriff spielt in der Anwendbarkeit der Methode eine sehr wichtige Rolle. Einerseits ist eine minimale Informationstiefe notwendig, um isolierende Objekte abzubilden, andererseits ist es äußerst wichtig, daß die Informationstiefe nach ihrem oberen Grenzwert hin beschränkt ist. Wenn man nämlich zu weit in das Material hineinsieht, so überlagern sich die Oberflächenstrukturen in der Abbildung mit tiefer liegenden Details, und die erzielbare Auflösung im Material- oder Orientierungskontrast auf polierten Oberflächen wird dadurch stark beeinträchtigt. Einfache Überlegungen zeigen, daß die so erreichbare Grenzauflösung in der Größenordnung der Informationstiefe liegen muß. Dies bewirkt tatsächlich einen entscheidenden Unterschied zwischen dem Raster- und dem Photoemissions-Elektronenmikroskop. In Photoemission liegt die Tiefeninformation in der Gegend von 100 Å, und deshalb ist die Grenzauflösung, welche je nach Material 150 bis 300 Å beträgt, auf polierten Oberflächen erreichbar (ENGEL[1]). Dies ist nicht der Fall im Raster-Elektronenmikroskop, dessen Informationstiefe erheblich höher liegt und insbesondere für die für Material- und Orientierungsdifferenzierung meist benötigten Rückstreuelektronen weit über 1000 Å beträgt. Die Grenzauflösung mit kristallinem Kontrast ist im Rasteremissions-Elektronenmikroskop erst dann wieder erreichbar, wenn durch Ätzung ein synchron überlagerter Topographieeffekt erzeugt werden kann (PFEFFERKORN[17]).

Die hochauflösende Photoemissionsmikroskopie ist ein sehr junger Zweig der Elektronenmikroskopie. Obwohl aus diesem Grunde noch viele Fragen der Bildentstehung der Aufklärung harren, hat sie doch schon ihre außerordentliche Bedeutung für die Metallkunde und die Mineralogie unter Beweis gestellt.

LITERATUR

1 ENGEL, W.: Emission Microscopy with different kinds of Electron Emission. Sixth Intern. Congr. for Electron Microscopy, Kyoto, 217–218 (1966).

2 HUGUENIN, E.-L.: Sur le Microscope Electronique à Photoémission, Thèse. Fac. des Sc. de l'Université de Paris (1956).

3 KOCH, W.: Zur Kontrastentstehung im Photoelektronen-Emissionsmikroskop. Optik **25**, 535–550 (1967).

4 GRABER, R., GRIBI, M., HÄUSLER, F., und WEGMANN, L.: Ein hochauflösendes Photoemissions-Elektronenmikroskop für metallographische Untersuchungen bei mittleren und hohen Temperaturen. ZAMP **19**, 537–539 (1968).

5 GRABER, R., GRIBI, M., und WEGMANN, L.: A high Resolution Photoemission Microscope with Facilities for high Temperature Metallography. Fourth Europ. Reg. Conf. on Electron Microscopy, Rom, 111–112 (1968).

6 WEGMANN, L.: Auf dem Weg zum Metall-Elektronenmikroskop. Prakt. Metallogr. **5**, 241–263 (1968).

7 WEGMANN, L.: Photoemissions-Elektronenmikroskopie. In MÜLLER, E. A. W.: Handb. der zerstörungsfreien Materialprüfg. Oldenbourg, München 1969, im Druck.

8 SEILER, H., und LENZ, F.: Zur Entstehung des Reliefkontrastes ausgedehnter Flächen im Elektronen-Emissions- und Elektronen-Raster-Mikroskop. Optik **27**, 438–441 (1968).

9 WEGMANN, L.: Kontrastentstehung im Photoemissions-Elektronenmikroskop, Beiträge zur elektronenmikroskopischen Direktabbildung von Oberflächen **2**, Remy, Münster, im Druck.

10 ZAMINER, CH.: Observations of Crystal Growth with the Photoemission Electron Microscope. Fourth Europ. Reg. Conference on Electron Microscopy, Rome, 123–124 (1968).

11 AUWÄRTER, M., PULKER, H. K., und ZAMINER, CH.: Beobachtungen von Diffusionsprozessen im Schichtensystem Silber-Zinksulfid mit dem Photoemissions-Elektronenmikroskop, Z. f. Phys. 1969, im Druck.

12 ZAMINER, CH., GRABER, R., und WEGMANN, L.: Observations of Reactions in Solids and Formation of Surface Layers with the Emission Electron Microscope. Vacuum Science **36** (1969), im Druck.

13 GINDRAUX, G., und FORM, G. W.: L'observation directe de la cinétique de transformations civiles. Revue de Métallurgie, im Druck.

14 SCHWEIZER, M., und FORM, G.W.: Observation in situ of the recrystallization kinetics. J. of the Institut of Metals, im Druck.

15 WEGMANN, L.: Photoemission Electron Microscopy. Proc. des 5. Intern. Kongresses für Röntgenoptik und Mikroanalyse, Tübingen 1968, im Druck.

16 WEGMANN, L.: Ungeklärte Kontrastphänomene in der Emissions-Elektronenmikroskopie. Z. angew. Phys. 1969, im Druck.

17 PFEFFERKORN, G.: Vergleich der Abbildung von Oberflächen im Photoemissions-Elektronenmikroskop und im Raster-Elektronenmikroskop. Beiträge zur elektronenmikroskopischen Direktabbildung von Oberflächen **2**, Remy, Münster, im Druck.

Adresse des Verfassers:
Dr. phil. dipl. phys. Lienhard Wegmann
c/o Firma BALZERS AG
für Hochvakuumtechnik und Dünne Schichten, Balzers FL
Abt. für Korpuskularstrahlgeräte
9477 Trübbach