

daß nicht andere Ursachen für den Unterschied verantwortlich sind).

Man kann nun die Frage stellen, welche der durch α -Bestrahlung erzeugten Störstellen des Gitters für die löschend wirkenden tiefegelegenen Traps verantwortlich sind. Betrachten wir das Ergebnis der Rechnung in Abschn. 5, so sehen wir, daß die Anzahl der aus den Gitterplätzen herausgeschlagenen Schwefelatome bzw. S^{2-} -Ionen etwa 2-mal größer ist als die Zahl der herausgeschlagenen Zn^{2+} -Ionen. Da eine S^{2-} -Fehlstelle zweifelsohne als tiefliegender Trap für

Elektronen fungieren kann, könnte man versucht sein, die löschende Wirkung in α -zerstörten ZnS-Phosphoren auf die durch die Bestrahlung erzeugten Schwefellücken zurückzuführen²⁶.

c) Schließlich sei noch auf die außerordentlich starke zerstörende Wirkung der α -Bestrahlung auf die Lumineszenzfähigkeit des ZnO-Phosphors (Abb. 6) hingewiesen. Vom Standpunkt der Bändertheorie der Phosphore ist dies insofern nicht überraschend, als hier der Aktivatorterm sehr nahe am Valenzband liegt, so daß hier von vornherein eine stärkere Auswirkung strahlungsloser Übergänge auf die Lumineszenzfähigkeit erwartet werden könnte. Jedoch ist es keineswegs sicher, daß diese Erklärungsmöglichkeit ausreichend ist.

Wir danken Herrn H. BRADATSCHE für Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

²⁶ Neuerdings haben B. A. KULP u. R. H. KELLEY (J. Appl. Phys. 31, 1057 [1960]) gefunden, daß bei CdS die Verlagerungsenergie E_V für Schwefel nur 8,7 eV beträgt und nicht 25 eV. Sollte auch bei ZnS der Wert von E_V für Schwefel kleiner als 25 eV sein, so würde die Wahrscheinlichkeit der S-Fehlstellen-Erzeugung noch mehr die der Zn-Fehlstellen-Erzeugung überwiegen.

Elektronenmikroskopische Beobachtungen an schnell gewachsenen Spinell-Einkristallen

Von E. BRÜCHE und K.-J. SCHULZE

Aus dem Physikalischen Laboratorium Mosbach *

(Z. Naturforsch. 16 a, 20—24 [1961]; eingegangen am 10. Oktober 1960)

Herrn Prof. Dr. W. Hanle zum 60. Geburtstag gewidmet

1. Am Beispiel des synthetischen Spinells $MgAl_2O_4$, der sich für Untersuchungen dieser Art besonders gut eignet, wird die Anwendung der elektronenmikroskopischen Beobachtungsmethode zu kristallographischen Studien sehr kleiner Objekte gezeigt.

2. Bei Spinellproben von Degussit SP 23 wird im Vergleich mit anderen Proben die Oberflächenstruktur einzelner Gefügekörner von 0,2 bis 0,5 mm Größe untersucht.

3. Unter Bezug auf den bekannten Aufbau dieser kubisch-hexakisoktaedrischen Kristalle und in stetem Vergleich mit der „Kristallkugel“ werden die Polgebiete des Oktaeders und des Würfels aufgesucht und in ihren Eigenschaften studiert.

4. Neben den Terrassen-Gebieten und Formen, die von $\{100\}$ - und $\{111\}$ -Ebenen gebildet werden, werden die Übergänge zwischen den Polen, insbesondere die $\{110\}$ -Gebiete, demonstriert.

Seit 1927 HAUSER und SCHOLZ¹ Einkristall-Kugeln aus Kupfer von 5 und mehr Zentimetern Durchmesser hergestellt und die Wirkungen chemischer Ätzmittel und andere Beeinflussungen auf ihre Oberfläche untersucht haben, ist die „Methode der Kristallkugel“ vielfach angewandt worden. Sie erlaubt an der verschiedenen Modellierung der Kugelober-

fläche durch Anätzung, Oxydation usw. die Symmetrie des Kristallgitters unmittelbar abzulesen. Durch Oberflächenangriff bilden sich mehr oder minder ausgeprägte und nach der Lage des Gitters orientierte Stufungen, die bei geeigneter Beleuchtung der Kugel als kleine Spiegel wirken und so durch ihr Aufleuchten in Bändern und Bezirken

* Angeschlossen der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen. (V. 72/60.)

¹ K. W. HAUSER u. P. SCHOLZ, Wiss. Veröffentl. Siemens-Konzern 3, 144 [1927].



Aussagen erlauben. KOSSEL² hat diese Methode zum Strukturstudium empfohlen und MENZEL³ sowie andere⁴ haben sie weiter ausgebaut.

Diese makroskopische Methode der Kristallkugel-Untersuchung hat durch die Feldemissions-Elektronen- bzw. Ionenmikroskopie eine Ergänzung bei sehr kleinen Dimensionen gefunden. Hier markieren sich die Pole und Bänder einer nur tausendstel Millimeter im Durchmesser messenden Wolframkugel durch Feldemission stark vergrößert auf einer Leuchtschirmkugel, in deren Zentrum die sehr kleine Kristallkugel (oder eine Kalotte) angeordnet ist. Es zeigen sich in großer Klarheit die Durchstoßpunkte auch hochindizierter Richtungen, während für die makroskopischen Kristallkugeln neben den Polen niedriger Indizierung die Großkreise die Hauptrolle spielen.

Bei Untersuchungen über keramisches Material⁵ beobachteten wir Körner von mehr oder minder ausgeprägter Kugelform, auf denen die Pole bei der Erstarrung durch GRAFSche Terrassen deutlich geworden waren. In Degussit SP 23 fanden wir dann ein Material, dessen ausgeprägte Aufbaustrukturen die Lücke zwischen den KOSSELSchen und MÜLLERschen Kristall-Kugel-Untersuchungen in gewissem Sinne schließen. Die Untersuchung mit dem Abdruckverfahren unter Ausnutzung der Schärfentiefe des Elektronenmikroskops erschien uns auch insofern interessant, als der Spinell trotz seines komplizierten Aufbaus zu der hexakisoktaedrischen Klasse des kubischen Kristallsystems gehört, die sich durch den höchsten Grad der an einem kristallographischen Polyeder möglichen Symmetrie auszeichnet.

1. Das Versuchsmaterial

Der reine Spinell, das Magnesiumaluminat MgAl_2O_4 , hat das molare Mischungsverhältnis 1 : 1 der Komponenten MgO und Al_2O_3 . Es gehört zu den zahlreichen R_3O_4 -Verbindungen, zu denen u. a. auch der Magnetit Fe_3O_4 zählt. Die Kristalle dieser isomorphen Gruppe sind kubisch-hexakis-

oktaedrisch (kubische Holoedrie)⁶, d. h. es handelt sich um Kristalle, bei denen der Würfel {100} (Hexaeder), das Oktaeder {111} und der Rhombendodekaeder {110} eine wichtige Rolle spielen und damit auch die äußere Form bestimmen werden. Abb. 1 bringt diese Grundformen in Erinnerung und stellt ihnen in Abb. 2 die Kristallkugel mit den Durchstoßstellen der Spitzen von Würfel und Oktaeder gegenüber.

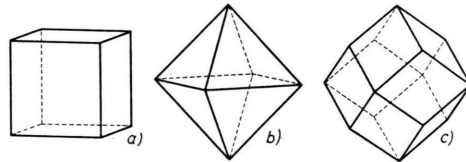


Abb. 1. Die Grundformen des Spinellkristalls: a) Würfel, b) Oktaeder, c) Rhombendodekaeder.

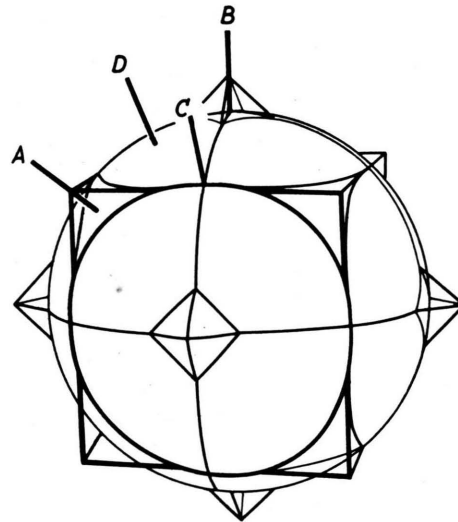


Abb. 2. Die Kristallkugel mit den Durchstoßflächen {111} und {100} des Würfels und Oktaeders im Innern.

Der Spinell MgAl_2O_4 kann als kubisch-flächenzentriert mit eingebauten Mg -Ionen aufgefaßt werden. Die Elementarzelle enthält 21 O-Ionen, die in kubisch dichtester Packung angeordnet sind. Von den 64 tetraedrischen Zwischenräumen werden 8

² W. KOSSEL, Ann. Phys., Lpz. 33, 651 [1938]; Phys. Bl. 8, 162 [1952].

³ E. MENZEL, Ann. Phys., Lpz. 5, 163 [1949]; Optik 10, 407 [1953]; Photogr. u. Wiss. 2, 3 [1953]. — E. MENZEL u. M. OTTER, Photogr. u. Wiss. 8, 9 [1959]. — F. W. YOUNG, J. Appl. Phys. 26, 644 [1955]. — M. OTTER, Z. Naturforsch. 14a, 355 [1959]. — E. BRÜCHE u. H. POPPA, Z. Metallkde. 49, 17 [1958].

⁴ Neuere Literatur vgl. F. W. YOUNG u. A. T. GWATHMEY, J. Appl. Phys. 31, 225 [1960].

⁵ Über ältere Keramikuntersuchungen (Sinterwerkstoffe) mit dem Elektronenmikroskop vgl. z. B. H. PFISTERER, Siemens-Z. 29, 199 [1955].

⁶ Vgl. P. RAMDOHR, Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie, Fr. Enke Verlag, Stuttgart 1948, und P. GROTH, Phys. Kristallographie, Verlag W. Engelmann, Leipzig, 4. Auflage, 1905.

von Mg, und von den 32 oktaedrischen werden 16 von Al ausgefüllt, so daß die Mg-Ionen ein Gitter vom Diamanttyp bilden.

Der natürliche Spinell bildet kleine Kristalle mit scharf ausgebildeten Flächen, deren Kanten jedoch bei den gefundenen Kristallen meist gerundet sind. Die häufigsten, charakteristischen Flächen sind $\{111\}$; oft wird $\{110\}$ und $\{311\}$ ausgebildet, seltener $\{100\}$.

Zu unseren Untersuchungen standen Spinelle verschiedener Herstellung und Reinheit zur Verfügung. Die Aufnahmen wurden aber vorwiegend an Degussit SP 23 gewonnen, einem Sinterspinell, der fast restlos aus MgAl_2O_4 besteht, wie es auch RÖNTGEN-Aufnahmen zeigten. SP 23 besteht aus einem Korngefüge, das lückenlos zusammengesintert ist (Abb. 3 *).

Von SP 23 hatten wir Proben von verschiedenen Lieferungen zur Verfügung, die bereits visuell eine voneinander abweichende Oberfläche zeigten. Im Lichtmikroskop ergaben sich verschiedene grobe und auch sonst nicht ganz gleichartig erscheinende Gefüge von Kristalliten von 0,2 mm bis 0,5 mm Größe. Im Elektronenmikroskop wurden die Unterschiede, die durch die verschiedene charakteristische Ausprägung der Formen bedingt sind, verständlich. Ergänzungsweise wurden auch Gefüge von Körnern mit gekrümmter Oberfläche, die offenbar ohne Pressung in einer Form zusammengesintert waren, und von einigen Schmelzbirnen untersucht, die nach dem VERNEUILSchen Verfahren hergestellt worden waren.

2. Würfel-Pol

Nachdem durch Kenntnis des Kristallaufbaus und Betrachtung der Kristallkugel der nach dem VERNEUILSchen Verfahren hergestellten Schmelzbirnen ein Eindruck gewonnen war, wurde die Oberfläche der Kristallite genauer mit dem Ziel untersucht, einfache Formen zu finden, die sich bei zufällig günstiger Lage der Kristallachsen zur makroskopischen Begrenzungsebene des Präparats zeigen werden. Infolge der Unebenheit der Oberfläche treten dabei im Kristall-Oberflächenengebirge verschieden schräge Flächen auf, deren Gesamtheit um die „Schnittebene“ in ihrer Lage schwankt. So wird es möglich, verschiedene Kristallflächen mit ihren charakteristischen

Strukturen auf ein und derselben Aufnahme zu beobachten und beim Übergang von einem Bild zum anderen bereits Beobachtetes wiederzufinden, was für die Orientierung nützlich ist.

Von den charakteristischen Formen um die Pole zeigt zunächst Abb. 4 ein Gebiet am Würfelpol. Die Schnittebene hat eine $\{111\}$ -Ebene getroffen, in der sich zahlreiche Dreiecke bzw. Sechsecke mehr oder minder vollständig ausgebildet haben. Die Sicht erfolgt nach Abb. 2 aus der Richtung A. Abb. 5 zeigt in höherer Vergrößerung zwei Dreiecks-Pyramidenstümpfe. Die Seitenwände stellen die Flächen einer abgesetzten Pyramide dar. Nur gelegentlich beobachtet man einen Pyramidenstumpf, bei dem wenigstens eine Seite keine Stufung, sondern eine einheitliche Ebene ist (Abb. 5 b). Wir werden später sehen, daß es sich hier wahrscheinlich um die Fläche $\{110\}$ handelt, die bei günstigen Bedingungen ausgebildet wird.

Bei diesen Dreieck- oder Sechseck-Figuren auf der $\{111\}$ -Ebene wurden niemals vollständig ausgebildete Pyramiden mit einer Spitze beobachtet. Jedoch zeigten Aufnahmen gelegentlich relativ tiefe sechsseitige Gebilde, die einer Pyramide mit Spitze nahekommen (s. später).

Die $\{111\}$ -Ebene ist Grundebene im Spinell, die am leichtesten ausgebildet wird (Außenfläche des Oktaeders). Sie erscheint im Elektronenbild meist sehr glatt und ist daher leicht zu erkennen, auch wenn keine Dreiecks- oder Sechsecksformen auszumachen sind. Ein Beispiel gibt dafür Abb. 6, das ein Terrassengebiet mit den strukturarmen $\{111\}$ -Ebenen zeigt, auf deren einer sich ein Dreieck ausgebildet hat.

3. Oktaeder-Pol

Die zweite „Grundfläche“ ist die Würfelebene $\{100\}$. Sie soll nach der Literatur selten sein und trat auch auf den Kristallbirnen kaum hervor. Im Gefüge war sie gelegentlich deutlich an den charakteristischen Strukturen von Rechtecken und Quadraten, die den Schnitt der Oktaederspitze anzeigen, nachzuweisen (Abb. 2, Sicht B).

Ein charakteristisches Beispiel von Quadraten in einer sehr flachen Mulde der $\{100\}$ -Ebene gibt Abb. 7. Bei einer schwach geneigten $\{100\}$ -Ebene bilden sich häufig kleine quadratische Vertiefungen aus.

* Abb. 3–15 auf Tafel S. 24 a, b.

Während über der $\{111\}$ -Ebene keine überzeugenden drei- oder sechseitigen Pyramiden ermittelt wurden, fanden sich mehrfach *vierseitige* Pyramiden (Abb. 8), die gut ausgebildet waren und fast die Spitze erreichten. Die Annahme, daß sie auf der $\{100\}$ -Ebene liegen, ist durch die weitere Umgebung mit dem Netz der Rechteck-Strukturen wahrscheinlich gemacht.

4. Übergang zwischen den Würfel-Polen

Nachdem die charakteristischen Figuren auf der $\{111\}$ -Ebene und der $\{100\}$ -Ebene ermittelt sind, wird man nun einerseits nach dem Übergang zwischen den Polgebieten und damit nach der $\{110\}$ -Ebene fragen, die nach der Literatur neben der $\{111\}$ -Ebene am häufigsten auftritt.

Dazu betrachten wir in Abb. 9 a bei einem Kristallkorn den Großkreis, der von einem Würfelpol zum anderen führt. Die Abbildung zeigt ein fast kugeliges Korn mit je einem Pol auf beiden Seiten des Bildes. Darunter ist in Abb. 9 b in der Projektion der Übergang ohne Einzelheiten skizziert. Die sechseckigen Polplateaus bauen sich auf einer Anzahl von Scheiben ähnlicher Umrandung auf. Leuchtet ein Pol bei geeigneter Beleuchtung der Kristallkugel auf, so ebenfalls alle zur Polebene parallel liegenden Stufen bis zum Abfall der anderen Polebene.

Bemerkenswert sind die – auf Abb. 9 a nicht deutlich erkennbaren – „Säulenaufbauten“ auf dem Großkreis zwischen den Polen. Sie bestehen aus stäbchen- oder prismen-artigen Gebilden mit Flächen parallel zu den Stufen und sind an den Enden „schräg“ abgeschnitten. Diese Strukturen (Sicht C von Abb. 2) wurden auf den ebenen Kristalliten des Sinterspinells SP 23 aufgesucht. Abb. 10 zeigt den Aufbau der „Stäbchen“ auf einer entsprechend gelegenen Kristallitfläche.

Zwei Begrenzungen der Stäbchen in der Längsrichtung sind, wie wir sahen, $\{111\}$ -Ebenen; die dritte liegt, wenn sie als strukturlose Fläche ausgebildet ist, in der Tafelebene und wird als $\{110\}$ -Ebene angesehen. Die Stirnflächen sind dem Eindruck nach $\{100\}$ -Ebenen. Abb. 11 entspricht dieser Auffassung. Hier bauen sich die Stäbchen unmittelbar auf den Terrassen von $\{100\}$ -Ebenen auf. Die $\{110\}$ -Ebenen sind teilweise klar ausgebildet. Sie werden von einem anderen System abgeschnitten, das ebenfalls als $\{110\}$ -Ebenen anzusprechen ist.

Bisher wurde nur von dem Übergang zwischen zwei Würfelpolen gesprochen. Schon die Beobachtung, daß bei Abb. 9 der die Facetten in der Mitte durchdringende Großkreis, der zwei Oktaederpole verbindet (vgl. Abb. 2), sich nicht auswirkt, deutet darauf hin, daß die Verhältnisse beim Oktaeder-Pol anders liegen. Um die Unterschiede kennen zu lernen, aber auch um die teilweise ohne eingehende Begründung mitgeteilten Angaben über die Flächen zu belegen, seien nun zwei Mulden (bzw. Buckel) vorgeführt, an deren Wänden die Pole eng zusammengedrückt sind.

Abb. 12 zeigt ein nach unten auf dem Bild abfallendes Terrassengebiet der $\{100\}$ -Ebenen, in das sich V-förmig vom oberen Bildrand – also die Höhe haltend – ein Keil einschiebt. Man erkennt das Plateau der $\{100\}$ -Ebene, darunter einige Stufen und dann das Sechseck einer $\{111\}$ -Ebene. Von den oberen Seitenkanten dieses Sechsecks – also des Würfelpols – gehen die bereits behandelten Facetten der $\{110\}$ -Ebenen aus, die hier zumeist schmale Schichten sind, wie sie auch Abb. 10 beherrschen.

Entsprechend ist Abb. 12 zu deuten, die die Teilansicht einer Vertiefung zeigt. Unten die $\{111\}$ -Ebene, an beiden Seiten sich gegen den Beschauer öffnend die unausgeglichene Terrassenbauten der $\{110\}$ -Ebene. Gegen die Deutung der Bilder könnte eingewendet werden, daß die Sechsecke möglicherweise nicht auf $\{111\}$ -Ebenen, sondern auf $\{110\}$ -Ebenen liegen. Dann würden die Neigungswinkel zwischen den großen Rechtecken und den Sechsecken nicht $54,72^\circ$, sondern 45° betragen. Wollte man das annehmen, würden sich schwer lösbare Konsequenzen für die Deutung anderer Einzelheiten der Aufnahmen ergeben, wenn auch nicht mit voller Sicherheit zugunsten der vorgeschlagenen Deutung entschieden werden kann.

5. Übergang zum Oktaederpol

Betrachtet man den Übergang vom Würfel- zum Oktaederpol auf allen diesen Aufnahmen (Abb. 2, Sicht D), so erkennt man, daß der Übergang zwischen diesen verschiedenen Polen in ausgeprägten Stufen ohne die oben beschriebenen „Säulenaufbauten“ erfolgt, die, wie man an Hand Abb. 2 leicht übersieht, sich natürlich beim Fortschreiten direkt auf den Oktaederpol zu nicht auszubilden vermögen.

Auch durch Aufnahmen grober Terrassen wird bestätigt, daß hier kleine, die $\{110\}$ -Ebene anstrebende Strukturen vorhanden sein können. Wie der Übergang erfolgt, dafür gibt Abb. 13 ein Beispiel, auf der zwei benachbarte Gebiete von Würfelpolen zu erkennen sind, von denen die sechs teils nicht ausgebildeten Großkreise von jedem Pol deutlich wechselnd verschiedene Facetten-Stufenfolgen einleiten. Der Übergang von den sichtbaren Würfelpolen auf der $\{111\}$ -Ebene zu den (nicht erkennbaren) Oktaedern erfolgt in glatten Stufen ohne Zwischenbauten.

Bei enger Nachbarschaft der Pole auf einem Korn (Abb. 14) erkennt man deutlich, wie die Schichtungen der beiden Pole zusammenlaufen und Stufen mit entsprechend gezackter Begrenzung die Krümmung der Fläche ausgleichen.

Das Gebiet der Oktaederspitze wird durch nahezu ebene Gestaltung mit einer vierseitigen, achtseitigen oder in Entartung auch (scheinbar) sechsseitigen oder abgerundeten Umrandung ausgezeichnet (Abb. 15).

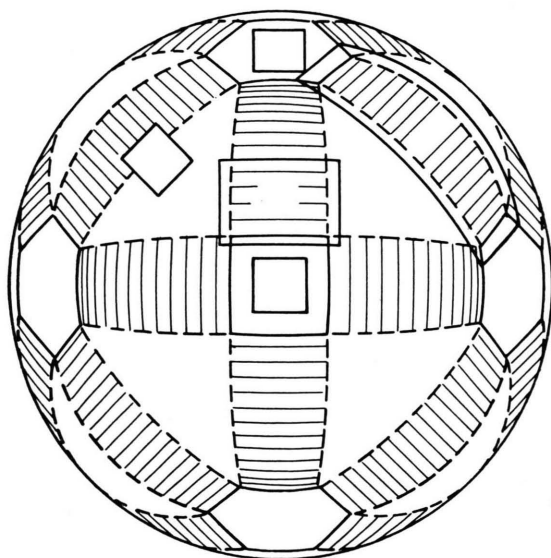


Abb. 16. Projektion der Kristallkugel bei senkrechter Sicht auf die $\{100\}$ -Ebene mit Eintragung der Pole und der untersuchten Gebiete.

Die Kenntnis ist in dem Schema der Abb. 16 zusammengefaßt, die die Projektion der Kristallkugel Abb. 2 wiedergibt, wenn man genau auf die $\{100\}$ -Ebene, d. h. also die Oktaederspitze schaut. Die

Lage einiger der vorgeführten Aufnahmen ist mit Abbildungsnummern eingetragen.

6. Terrassenaufbau

Mit dem besonderen Hinweis auf den bemerkenswerten Terrassenaufbau, der bei manchen unserer Spinellproben eine dominierende Rolle spielte, sei der Bericht abgeschlossen. Die interessante Form des „Sternes“, den wir als relativ seltene Kristallisationsform beobachtet haben, wird in einer späteren Mitteilung beschrieben werden.

Bei der Lage der $\{100\}$ -Ebene nahe der Schnittrichtung des Kristalls bildeten sich die gestuften Terrassenbänder aus, bei denen der Auftritt der Stufe durch ein rechteckiges Stück der $\{100\}$ -Ebene gebildet wurde.

Bei allen diesen Aufnahmen laufen die einzelnen Treppen zwischen jeweils zwei parallelen $\{111\}$ -Ebenen in gleicher Richtung, obwohl die „Setz-Stufen“ einem anderen System von $\{111\}$ -Ebenen angehören, das ebenfalls zu Treppeneingrenzung befähigt wäre. Offenbar hängt die Bevorzugung des einen Systems von der Neigung der mittelbaren Schnittfläche des Kristalls ab. Man wird also auch Aufnahmen erwarten, bei denen infolge wechselnder Neigung der Schnittfläche – auch die Richtung der Treppen von dem einen System der $\{111\}$ -Ebenen zu dem anderen wechselt, was sich in hier nicht wiedergegebenen Aufnahmen zeigen läßt.

Wir haben in dieser Arbeit vorausgesetzt, daß die großen glatten Ebenen $\{111\}$ -Ebenen sind. Als sichergestellt kann diese Aussage jedoch nicht gelten. Sollte die erste Version nicht die richtige sein, was wir allerdings nicht glauben, so würde sich auch die Zuordnung anderer Flächen ändern. Die röntgenographische Entscheidung dürfte bei der Kleinheit der Kristallflächen von Bruchteilen eines Quadratmillimeters schwierig sein.

Wir haben zu danken: Herrn Prof. Dr. JAGODZINSKI, Karlsruhe, für zahlreiche Ratschläge, Literaturhinweise und eine röntgenographische Reinheitsuntersuchung des Versuchsmaterials; Herrn Prof. Dr. EPPLER für die Herstellung von Spinellen verschiedener Zusammensetzung nach dem VERNEUIL-Verfahren; der Degussa, Frankfurt, für Degussit-Proben verschiedener Art. – Ferner gilt unser Dank der Arbeitsgemeinschaft für Elektronenoptik, den Wirtschaftsministerien des Bundes und Landes Baden-Württemberg sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihre Unterstützung.

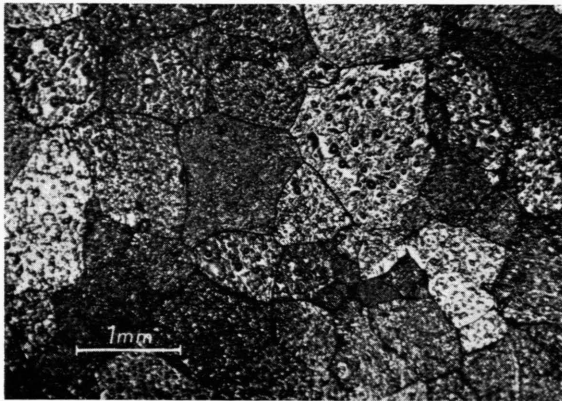


Abb. 3. Gefüge eines Spinells Sp 23.

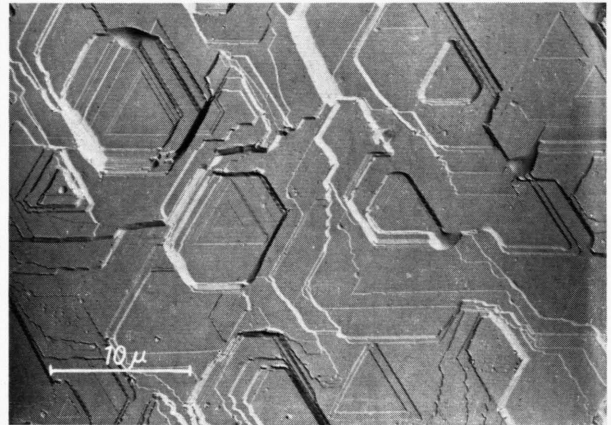
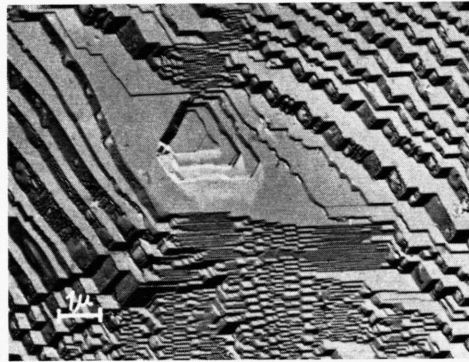
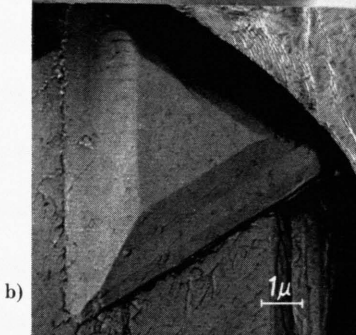
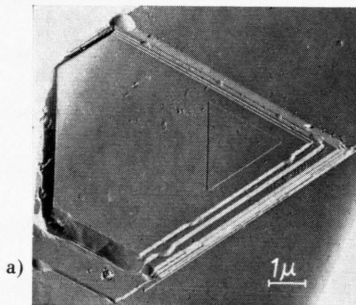


Abb. 4. Gebiet des Würfelpols auf der Kristallkugel mit 3- und 6-eckigen Pyramiden-Ansätzen. Lage A von Abb. 2.



▲ Abb. 6. Markierung einer $\{111\}$ -Ebene in einem Terrassenfeld durch das Dreieck des Würfelpols.

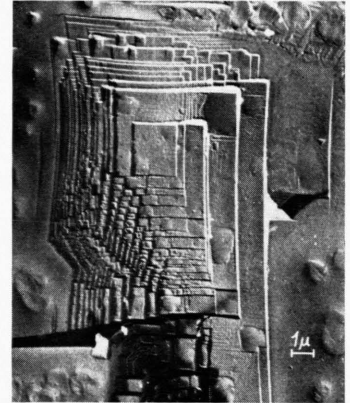


Abb. 7. $\{100\}$ -Ebene mit quadratischen Strukturen beim Durchtritt der Oktaederspitze. Lage B von Abb. 2.

◀ Abb. 5. Zwei Pyramiden-Ansätze wie bei Abb. 4 in hoher Vergrößerung, davon die unten liegende mit ausgebildeten Pyramidenflächen.

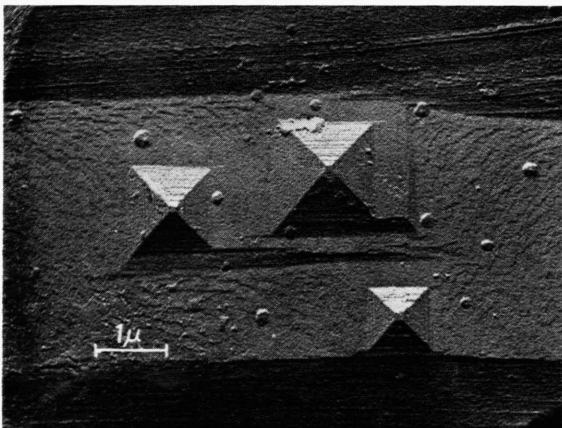


Abb. 8. Gut ausgebildete vierseitige Pyramiden.

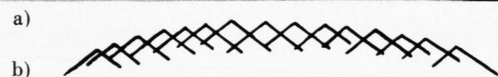
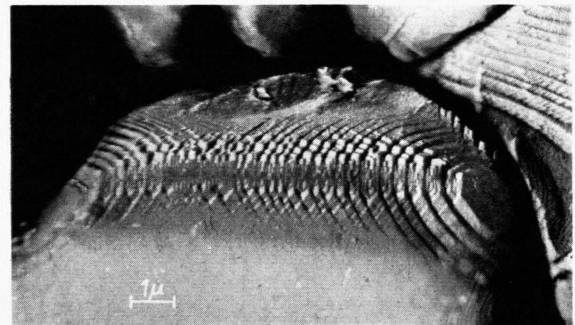


Abb. 9. Spinellkorn aus einer Keramik unbekannter Zusammensetzung mit zwei Würfelpolen und einem verbindenden Großkreis.

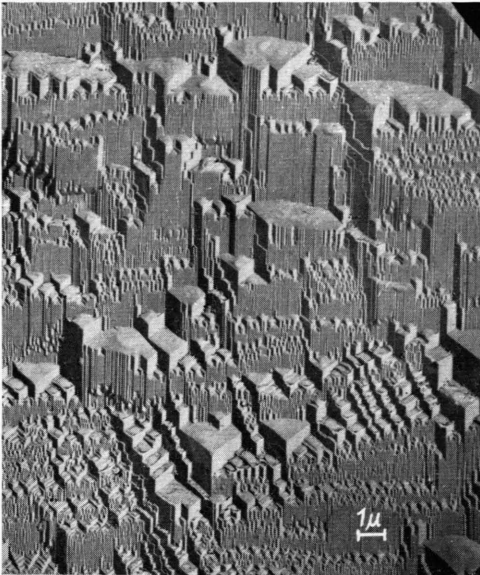


Abb. 10. Blick auf eine $\{110\}$ -Ebene mit Säulenaufbauten. Lage D von Abb. 2.

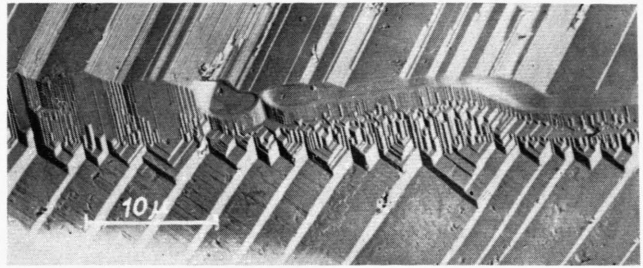


Abb. 11. Übergangsgebiet mit Säulenaufbauten längs einer $\{111\}$ -Ebene.

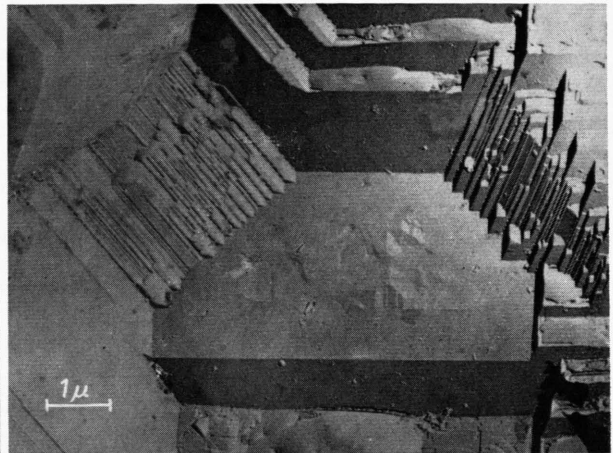


Abb. 12. Dreiseitig abfallendes Terrassengebiet, dessen Boden eine $\{100\}$ -Ebene ist.

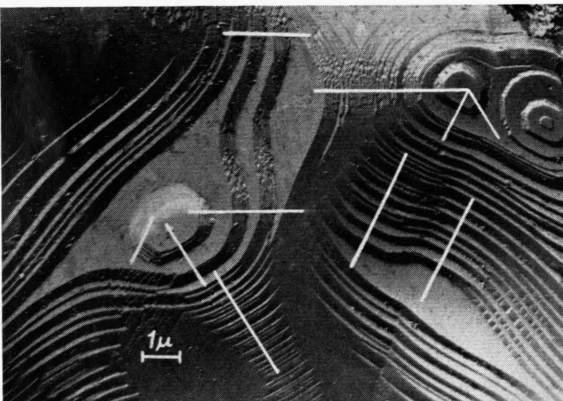


Abb. 13. Kristallkorn von Degussit DD 23 mit stark geschwungener Oberfläche, wodurch Terrassen und Pole sowie die charakteristische Struktur sichtbar werden.

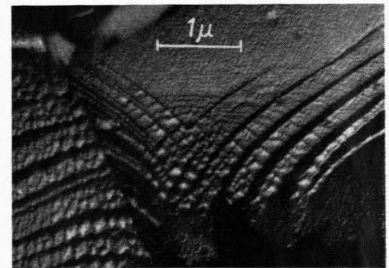


Abb. 14. Übergangsstrukturen zwischen zwei Polen.

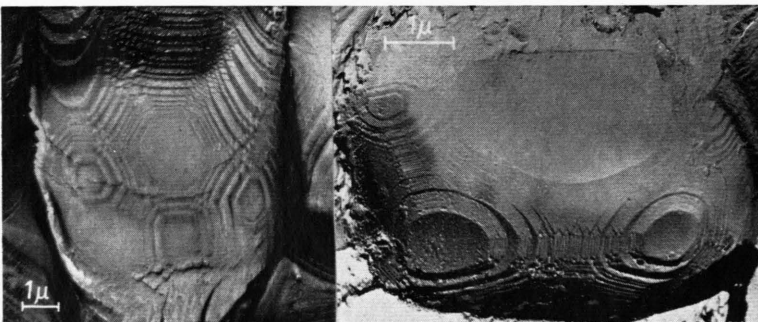


Abb. 15. Gebiet mit mehreren Polen bei Kristallkörnern.