

Man erhält für δ_1 [negatives Vorzeichen in (6)] die große Halbachse a , für δ_2 [positives Vorzeichen] die kleine Halbachse b der Querschnittsellipse:

$$a = \frac{G}{\delta_1} = \frac{(F/G)}{4,443[1 - (1 - 2,53 \cdot 10^{-2} (F/G^2)^{1/2})^{1/2}]}, \quad (7)$$

$$b = \frac{G}{\delta_2} = \frac{(F/G)}{4,443[1 + (1 - 2,53 \cdot 10^{-2} (F/G^2)^{1/2})^{1/2}]}. \quad (8)$$

Damit sind alle Parameter des Teilchenquerschnitts bestimmt. Zur Ermittlung der Partikellänge $L = 2H$ steht der Streumassenradius R der Volumenstreuung zur Verfügung. Es ist

$$R = \left(\frac{1,5 \cdot \frac{1}{2} (a^2 + b^2) + H^2}{3} \right)^{1/2} = \left(G^2 + \frac{H^2}{3} \right)^{1/2}.$$

Hieraus folgt

$$L = 2H = 12^{1/2} (R^2 - G^2)^{1/2} = 3,464 (R^2 - G^2)^{1/2}.$$

Das Teilchenvolumen V geht in die Rechnung nicht ein und steht daher als unabhängige Kontrollgröße zur Überprüfung der Auswertung zur Verfügung.

Durchführung der rechnerischen Formbestimmung für elliptische Zylinder am Beispiel des γ -Globulins

Die Partikelform des elliptischen Zylinders konnte von KRATKY, POROD, SEKORA und PALETTA⁵ am Molekül des γ -Globulins nachgewiesen werden. Die in der Lite-

⁵ O. KRATKY, G. POROD, A. SEKORA u. B. PALETTA, J. Polym. Sci., **14**, 163 [1955], (zit. nach ⁶).

⁶ R. GLOCKER, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. Springer-Verlag, 4. Aufl. Berlin 1958, S. 482.

ratur⁶ mitgeteilten Werte der Streukurvenparameter

$$V = 1,98 \cdot 10^5 \text{ Å}^3 \quad \text{für die Volumenstreuung,}$$

$$R = 70 \text{ Å}$$

$$F = 8,60 \cdot 10^2 \text{ Å}^2 \quad \text{für die Querschnittsstreuung,}$$

$$G = 15 \text{ Å}$$

sollen daher zu einer ersten Überprüfung der oben entwickelten, rechnerischen Methode herangezogen werden. Die Ergebnisse sind in einer Tabelle zusammengefaßt und werden mit dem Resultat der oben zitierten Autoren verglichen. (Dabei wurden F und V jeweils aus den Achsenwerten berechnet.)

Größe	KRATKY u. Mitarbb.	Rechnerische Methode
2 a	57 Å	57 Å
2 b	19 Å	19 Å
2 H	236 Å	237 Å
F berechnet	$\pi a b = 8,49 \cdot 10^2 \text{ Å}^2$	$\pi a b = 8,49 \cdot 10^2 \text{ Å}^2$
V berechnet	$2 \pi a b H = 2,00 \cdot 10^5 \text{ Å}^3$	$2 \pi a b H = 2,01 \cdot 10^5 \text{ Å}^3$

Die Übereinstimmung ist praktisch vollständig und damit die prinzipielle Brauchbarkeit der rechnerischen Methode erwiesen. Es sei noch vermerkt, daß die Berechnungen komplizierter werden, wenn die Teilchen unterschiedliche Größe besitzen (s. dazu auch die Arbeit von HOSEMAN und MOTZKUS¹).

Eine eingehende Diskussion der neuen Methode ist einer ausführlichen Veröffentlichung vorbehalten, die sich in Vorbereitung befindet.

Herrn Prof. Dr. MESSERSCHMIDT danken wir für das dieser Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Bestimmung der Anionen-Leerstellen-Konzentration in NaCl-Kristallen nach Röntgen-Bestrahlung *

VON F. FRÖHLICH

Institut für experimentelle Physik der Universität Halle
(Z. Naturforsch. **16 a**, 1100—1103 [1961]; eingeg. am 1. September 1961)

Die von BETHGE und Mitarbeitern¹ durchgeführten elektronenmikroskopischen Untersuchungen zur Realstruktur der NaCl-Kristalle zeigen, daß unter Anwendung besonderer Präparationsverfahren zur Abbildung von Oberflächenstrukturen mit Stufen atomarer Höhe zahlreiche Hinweise gegeben sind zum Zusammenhang zwischen atomarer Fehlordnung und Versetzungen. Hervorzuheben sind besonders Ergebnisse, die eine Bildung von Versetzungen aus größeren Lückenaggregaten, ent-

standen durch Fehlstellenkondensation im Kristall, wahrscheinlich machen. Zum weiteren Verständnis sind Aussagen über die Leerstellenkonzentration und deren Bildungsmechanismus notwendig.

Da das F-Zentrum heute mit großer Sicherheit als mit einem Elektron besetzte Anionenleerstelle aufgefaßt werden kann, sollte sich die Anzahl der Anionenleerstellen aus der bei der RÖNTGEN-Verfärbung eines vorgegebenen Kristalles erzielbaren F-Zentren-Konzentration bestimmen lassen, falls die während der Bestrahlung selbst erzeugten Leerstellen eliminiert und die Bildung komplizierterer Farbzentrenaggregate, die sich aus F-Zentren ableiten lassen², vernachlässigt werden können. Vor einiger Zeit hat RABIN³ aus der F-Zentren-Konzentration in Verbindung mit sehr empfindlichen Ausdehnungsmessungen an NaCl-Kristallen während der RÖNTGEN-Bestrahlung eine Abschätzung für die Anionenleerstellenkonzentration erhalten. Das Verfahren

* Über die hier mitgeteilten Ergebnisse wurde auf der Physikertagung in Bad Pyrmont (April 1961) vorgetragen; Phys. Verh. **12**, 33 [1961].

¹ Ein zusammenfassender Bericht erscheint in phys. stat. sol.

² H. PICK, Z. Phys. **159**, 69 [1960].

³ H. RABIN, Phys. Rev. **116**, 1381 [1959].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

erfordert einen sehr hohen Aufwand und ist sehr störungsempfindlich. Inzwischen ist es jedoch gelungen^{4, 5}, durch Analyse des zeitlichen Verlaufes der F-Zentren-Bildung bei RÖNTGEN-Bestrahlung Aussagen über die Konzentration der Anionenleerstellen zu gewinnen. Im folgenden wird damit für NaCl-Kristalle die Anionenleerstellenkonzentration ermittelt und insbesondere durch Bleich- und Wiederbestrahlungsexperimente das Verhalten der bei RÖNTGEN-Bestrahlung erzeugten Leerstellen untersucht.

Die F-Zentren-Konzentration

Wie wir vor einiger Zeit mitteilten⁴ und wie weiter von MITCHELL, WIEGAND und SMOLUCHOWSKI⁵ durch Untersuchungen an KCl-Kristallen sichergestellt sein dürfte, sind für die F-Zentren-Bildung durch RÖNTGEN-Verfärbung in Alkalihalogenid-Einkristallen zwei verschiedene Arten von Anionen-Leerstellen verantwortlich: 1. Die etwa statistisch verteilten Anionen-Leerstellen der Konzentration n_0 (cm^{-3}). Diese können einmal von vornherein als atomare Lücken vorliegen, zum anderen aus im Kristall vorhandenen größeren Leerstellenaggregaten im Anfangsstadium der Verfärbung gebildet werden. 2. Die während der Vorbehandlung der Kristallprobe in unmittelbarer Nähe von Versetzungen entstandenen Anionen-Leerstellen der Konzentration n_1 (cm^{-3}) mit hoher örtlicher Dichte, zu denen noch die während der RÖNTGEN-Bestrahlung mit der Rate a an Versetzungen gebildeten Leerstellen hinzukommen.

Für die Konzentration der F-Zentren als Funktion der Bestrahlungszeit t ergab sich bei homogener Verfärbung die Beziehung⁴

$$f = n_0(1 - e^{-bt}) + at + [n_1 - (a/c)](1 - e^{-ct}). \quad (1)$$

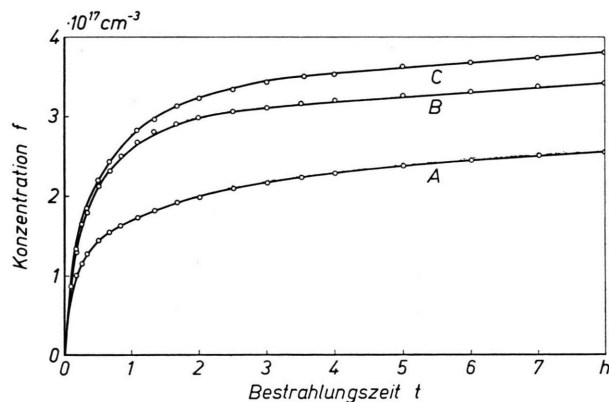


Abb. 1. Zeitlicher Verlauf der F-Zentren-Bildung in einem NaCl-Kristall, Verfärbung mit 24 mA/50 kV-Wo-Strahlung; A: Kristall unvorbehandelt, B: nach 90 Minuten Zwischenbestrahlung mit 20 mA/180 kV-Strahlung und Bleichung, C: nach Bleichung von B.

⁴ F. FRÖHLICH, Z. Naturforsch. **16 a**, 211 [1961].

⁵ P. V. MITCHELL, D. A. WIEGAND u. R. SMOLUCHOWSKI, Phys. Rev. **121**, 484 [1961].

⁶ Eine exakte Bestimmung der Konzentration n_0 der statistisch verteilten Leerstellen bei langsam abgekühlten und danach

Mit welcher Genauigkeit diese den experimentell gefundenen Verlauf wiedergibt, läßt sich aus Abb. 1 ersehen. Die Meßpunkte sind als Kreise eingetragen, die ausgezogenen Kurven wurden mit den n_0 - und n_1 -Werten aus Tab. 1 nach Gl. (1) berechnet.

Bestrahlung	1	2	3
n_0 (10^{17} cm^{-3})	1,12	1,10	1,21
n_1 (10^{17} cm^{-3})	1,07	1,83	2,17

Tab. 1.

Da die Gleichung den durch RÖNTGEN-Strahlung selbst hervorgerufenen Bleichprozeß nicht berücksichtigt, werden die so bestimmten n_0 -, n_1 - und a -Werte systematisch um einen bestimmten Betrag zu klein ermittelt. Die wahren Leerstellen-Konzentrationen erhält man durch Multiplikation von n_0 bzw. n_1 mit den Korrekturfaktoren $b/(b-a)$ bzw. $c/(c-\beta)$, die wahre Leerstellenbildungsrate entsprechend durch Multiplikation von a mit $c/(c-\beta)$ (vgl. auch Anm.⁵). Dabei bedeuten a und β Bleichparameter, die angeben, wieviel von den bereits gebildeten F-Zentren durch die RÖNTGEN-Strahlung pro Zeiteinheit wieder ionisiert werden. Für a wurde bei KCl-Kristallen in Übereinstimmung mit⁵ ein Wert zwischen 0,8 und 0,9 gefunden⁶. Der α -Wert für NaCl dürfte in der gleichen Größenordnung liegen. Die β -Werte sind wegen der höheren örtlichen Dichte der n_1 -Leerstellen und der dadurch bedingten größeren Wahrscheinlichkeit für den Wiedereinfang eines Elektrons in einer Anionen-Leerstelle erheblich kleiner als a . Da besonders bei hohen RÖNTGEN-Intensitäten (d. h. großen b - und c -Werten) b gegen a und c gegen β genügend groß sind, weichen die Korrekturfaktoren nur sehr wenig von 1 ab, d. h. aber, daß die unmittelbar aus Gl. (1) folgenden n_0 - und n_1 -Werte in guter Näherung als die wahren Leerstellenkonzentrationen und die a -Werte als die wahren Bildungsraten angesehen werden können. Von dieser Vereinfachung wurde bei den nachfolgend mitgeteilten Bestrahlungsversuchen Gebrauch gemacht.

Wiederbestrahlungsversuche

Zur Bestimmung der Konzentration der Anionen-Leerstellen in einem vorgegebenen Kristall wird dieser bis zum linearen Teil (vgl. Abb. 1) der Verfärbungskurve mit RÖNTGEN-Strahlen verfärbt. Danach lassen sich aus der theoretischen Darstellung des Verfärbungsverlaufes gemäß Gl. (1) die Konzentrationen n_0 und n_1 und auch die Konzentration at der während der Bestrahlungsdauer t gebildeten Leerstellen ermitteln. Wird durch Bleichung mit weißem Licht die Verfärbung vollständig beseitigt und anschließend der Kristall noch-

nicht wieder thermisch beanspruchten Schmelzflußeinkristallen aus reinem Riedel-de Haen-Kaliumchlorid (p. A.) ergab für $n_0 = 4,15 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ und daraus für a den genannten Wert zwischen 0,8 und 0,9.

Bestrahlung	1	2	3	5	6	7	8	9	10
n_0 (10^{17} cm^{-3})	0,19	0,35	0,35	—	0,387	—	0,39 ₀	0,36 ₅	0,36 ₁
n_1 (10^{17} cm^{-3})	1,65	1,82	2,00	—	2,27	—	2,56	2,38	2,37
t (h)	6,25	7,0	7,0	7,0	7,0	6,66	9,0	8,33	7,0
I (mA)	3	3	3	10	3	20	3	3	3

Tab. 2.

mals unter den gleichen Bedingungen verfärbt, so soll-
ten sich aus einer erneuten Bestimmung von n_0 und n_1
Aussagen über das Verhalten der während der ersten
Bestrahlung erzeugten Leerstellen gewinnen lassen.

Die Probenherstellung, die RÖNTGEN-Bestrahlung und die
Absorptionsmessungen wurden wie in Anm. ⁴ durchgeführt.
Insbesondere war gewährleistet, daß während der gesamten
Verfärbungsserie der Kristall mechanisch völlig unberührt
blieb und zur photometrischen Messung stets die gleiche Stelle
(Querschnitt $0,3 \times 0,9 \text{ mm}^2$) verwendet wurde. Die Bestrah-
lungen und Absorptionsmessungen erfolgten bei Zimmertem-
peratur an getrockneter Luft, die Bleichung im Exsikkator
mit dem durch eine Wasserküvette gefilterten Licht einer
Mikroskopierleuchte.

Das Ergebnis einer Verfärbungsserie mit sehr hoher
RÖNTGEN-Intensität ist in Tab. 1 zusammengestellt (vgl.
auch Abb. 1). Ein 0,12 mm dicker NaCl-Kristall wurde
zuerst 11 Stunden mit 24 mA/50 kV-Wo-Strahlung ver-
färbt (1. Bestr.), nach einigen Tagen Dunkelpause zu-
sätzlich mit einer Therapie-Röhre bei 20 mA/180 kV
90 min bestrahlt und anschließend mit weißem Licht ge-
bleicht. Danach erfolgte die 2. und nach Bleichung die
3. Bestrahlung mit je 24 mA/50 kV. Man erkennt bei
nur sehr wenig verändertem Wert n_0 eine starke Zu-
nahme von n_1 . Die Dauer der 2. Bestrahlung betrug
8 h, der Ratenparameter a $5,68 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ und
mithin die erzeugte Leerstellen-Konzentration $0,45 \cdot 10^{17}$
 cm^{-3} . Diese findet sich quantitativ wieder in der Zu-
nahme von n_0 und n_1 bei der 3. Bestrahlung:

$$\Delta n_1 = 0,34 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}, \quad \Delta n_0 = 0,11 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}.$$

Für eine Verfärbungsserie mit relativ niedrigen RÖNT-
GEN-Intensitäten sind in Tab. 2 neben den Konzentra-
tionen n_0 und n_1 die Bestrahlungszeit t und der Röhren-
strom I aufgeführt. Die Röhrenspannung betrug 60 kV,
die Kristalldicke 0,18 mm. Die Bestrahlungen 1–9 er-
folgten an aufeinanderfolgenden Tagen, die 10. Bestrah-
lung am übernächsten Tag, die Bleichung jeweils un-
mittelbar nach Ende der Verfärbung. Bei der 1. Bestrah-
lung wird zunächst ein gegenüber n_0 sehr großer n_1 -
Wert gemessen. Nach Bleichung und Wiederverfärbung
sind sowohl n_1 als auch n_0 angestiegen. Bei der 3. Be-
strahlung ist n_0 unverändert, n_1 dagegen größer. Die
4. Bestrahlung wurde nach 3 Stunden abgebrochen,
weil sich nur eine unwesentlich erhöhte Verfärbbarkeit
gegenüber der 3. Bestrahlung zeigte. Es müssen sich
also die bei der 3. Bestrahlung erzeugten Leerstellen in
der Zwischenzeit schon wieder zurückgebildet haben.
Erst die 5. Bestrahlung mit erhöhter Intensität (10 mA)
bewirkte, wie aus den Werten der 6. Bestrahlung her-

vorgeht, eine weitere Zunahme von n_1 und auch einen
geringen Anstieg von n_0 . Das gleiche Ergebnis lieferte
die 7. Bestrahlung mit nochmals erhöhter Intensität
(20 mA). Die dadurch erzeugte Leerstellen-Konzentra-
tion ist jedoch nicht beständig, sondern baut sich mit
anfangs relativ großer Geschwindigkeit wieder ab. Man
erkennt, daß sich nach Bleichung der 8. Verfärbung
bis zum Beginn der 9. Bestrahlung mehr Leerstellen
abgebaut haben als durch die 8. Bestrahlung neugebil-
det worden sind, denn sowohl n_0 als auch n_1 werden
bei der 9. Bestrahlung verkleinert gefunden. Danach
erfolgt die Rückbildung langsamer. Die bis zur 10. Be-
strahlung (am übernächsten Tag) annullierten Leer-
stellen können durch die bei der 9. Bestrahlung erzeug-
ten schon nahezu kompensiert werden: n_0 und n_1 er-
geben sich bei der 10. Bestrahlung nur noch wenig ver-
kleinert.

Zusammenfassend sei gesagt, daß sich nach Wieder-
bestrahlung gebleichter NaCl-Kristalle mit gleichen
RÖNTGEN-Dosen bei nur wenig verändertem Wert n_0
eine Vergrößerung von n_1 um einen gut meßbaren Be-
trag Δn_1 ergibt. Dabei ist zunächst $\Delta n_1 = at$, d. h. die
durch die vorhergehende Bestrahlung erzeugten Leer-
stellen sollten nach der Bleichung in der Umgebung von
Versetzungen im Kristall zurückbleiben (möglicherweise
in Form von Leerstellenaggregaten, denn in KCl-Kristal-
len z. B. konnten von CHIAROTTI, GIULIANI und LYNCH ⁷
atomar verteilte Leerstellen als α -Zentren nur für Tem-
peraturen unterhalb von 150°K nachgewiesen werden).
Sie verhalten sich bei weiterer Verfärbung wie die durch
den Parameter n_1 charakterisierten Leerstellen. Nach
mehrmaliger Wiederbestrahlung mit gleichen RÖNTGEN-
Dosen wird $\Delta n_1 < at$ gefunden, d. h. die zusätzlich er-
zeugte Fehlordnung wird in der Zeit bis zur nächsten
Bestrahlung teilweise wieder abgebaut. Die Rückbildung
wird besonders auffällig, wenn bei einer Bestrahlungs-
serie mit geringen RÖNTGEN-Intensitäten zwischendurch
eine Bestrahlung mit erhöhter Intensität vorgenommen
wird. Nach Bestrahlung mit hohen Intensitäten kann
auch der Wert von n_0 etwas ansteigen. Das würde nach
der hier verwendeten Modellvorstellung bedeuten, daß
ein Teil der gebildeten Leerstellen nach der Bleichung
durch Diffusion von Orten hoher Konzentration in das
relativ ungestörte Grundgitter hinein abwandert.

Die Ergebnisse bei nur teilweiser Bleichung und nach-
folgender Wiederbestrahlung eines Kristalles ergeben
eine bemerkenswerte Bestätigung des zugrunde geleg-
ten Verfärbungsmodells. Danach sollte die F-Zentren-
Bildungsrate im steilen Anfangsteil der Verfärbungs-
kurve (vgl. Abb. 1) durch die Geschwindigkeit bedingt
sein, mit der die von vornherein im Kristall vorhandenen
 n_0 - und n_1 -Leerstellen mit Elektronen besetzt werden.

⁷ G. CHIAROTTI, G. GIULIANI u. D. W. LYNCH, Nuovo Cim. **17**,
989 [1960].

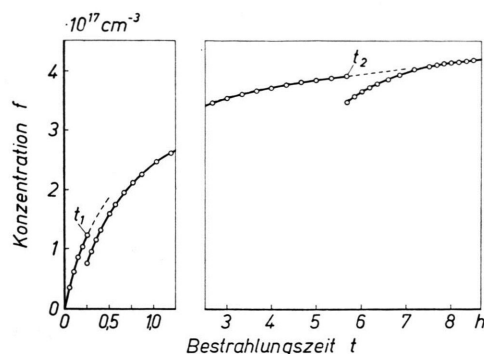


Abb. 2. Verfärbung eines NaCl-Kristalles nach teilweiser Bleichung. Verfärbung mit 6 mA/60 kV-Wo-Strahlung, teilweise Bleichung bei t_1 und t_2 , danach erneute Bestrahlung.

Bleicht man deshalb einen Kristall nach kurzer Verfärbung in diesem Anfangsteil (vgl. Abb. 2, links) und bestrahlt erneut mit gleicher RÖNTGEN-Intensität, so können die während der kurzen Bestrahlung zusätzlich ge-

bildeten Leerstellen vernachlässigt werden. Die neue Verfärbung findet also praktisch unter den gleichen Bedingungen statt wie die erste: Es ergibt sich ein zur ersten Verfärbung paralleler Kurvenverlauf. Der flache lineare Teil der Verfärbungskurve dagegen ist bestimmt durch die Bildungsrate neuer Leerstellen. Wird hier eine Bleichung vorgenommen (vgl. Abb. 2, rechts), so findet eine erneute Bestrahlung eine bestimmte Anzahl freier Anionen-Leerstellen vor, die bei der ersten Bestrahlung noch nicht vorhanden waren und die jetzt nur mit Elektronen besetzt zu werden brauchen und deshalb F-Zentren mit einer großen Bildungsrate liefern: Es ergibt sich ein steiler Anfangsanstieg bei der zweiten Verfärbung. In dieser Zeit werden gleichzeitig auch wieder neue Leerstellen erzeugt, so daß nach Besetzung der „gebleichten“ Leerstellen mit Elektronen der geradlinige Teil der ersten Verfärbungskurve wieder erreicht wird.

Herrn Prof. Dr. MESSERSCHMIDT danke ich sehr für sein der Arbeit entgegengebrachtes förderndes Interesse, ebenso Herrn Prof. Dr. BETHGE für vielfältige Anregung und Unterstützung während der Arbeit.

Zur Fluoreszenz nichtdotierter Silberhalogenidkristalle

Von H. D. KOSWIG

Institut für Kristallphysik
der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin,
Berlin-Adlershof

(Z. Naturforsch. **16 a**, 1103–1106 [1961]; eingeg. am 24. Juni 1961)

Über die Fluoreszenz * nichtdotierter Silberhalogenidkristalle bei tiefen Temperaturen berichten in letzter Zeit eine Reihe von Arbeiten. Als Zentren für den strahlenden Übergang werden darin Silberionenlücken angenommen. Während MATYAS¹ und VACEK² auf Grund theoretischer Überlegungen das Rekombinationszentrum mit einer Silberionenlücke im Volumen bzw. an einer Sprungstelle einer Versetzung identifizieren, unternimmt WIEGAND³ den Versuch, auch von experimenteller Seite Hinweise auf den möglichen Aufbau des Zentrums der strahlenden Rekombination zu erhalten. Er deutet die Änderung des Abklingens der Photoleitung und der Lumineszenz an AgCl-Kristallen in Abhängigkeit von der Zeit nach einer Chlorierung durch die allmähliche Auswanderung von Silberionenlücken

und Defektelektronen. Nach der Chlorierung sollen die Silberionenlücken in höherer Konzentration im Kristall vorhanden sein als dem thermischen Gleichgewichtswert entsprechen würde.

Die Frage nach dem Aufbau des Zentrums des strahlenden Überganges in den nichtdotierten Silberhalogenidkristallen ist insofern interessant, als FARNELL u. a.⁴ zeigten, daß die Silberhalogenide zu den Reinstoff-Phosphoren gehören sollen, d. h. zu den Phosphoren, die ohne Aktivierung Fluoreszenz zeigen. Auch für die Silberhalogenide muß ein Band-Band-Übergang als strahlender Übergang (Bedingung gleicher Wellenzahlvektoren für die entgegengesetzten Ladungsträger) als außerordentlich unwahrscheinlich angesehen werden. Die sogenannte Reinstoff-Lumineszenz dieser Kristalle müßte also in der Realkristallstruktur ihre Erklärung finden. Neben den sicher vorhandenen Strukturdefekten, z. B. innere Oberflächen, Versetzungen usw., besteht eine ausgeprägte thermische Fehlordnung, insbesondere in der Kationenkomponente des Gitters (FRENKEL-Fehlordnung)⁵.

Es ist bekannt, daß diese Fehlordnung durch Fremddotierungen in weitem Maße beeinflusst werden kann. So wird durch Zugabe zweiwertiger Kationen (z. B.

* Es handelt sich dabei um die dicht an die Ausläuferabsorption des nichtdotierten Kristalls anschließende Fluoreszenz im blau-grünen Spektralgebiet. Die oft gleichzeitig im gelb-roten Spektralgebiet auftretende Fluoreszenz scheint durch Verunreinigungen bedingt zu sein.

¹ Z. MATYAS, Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Chemie, Biologie u. Geologie 1955, S. 89; Halbleiter und Phosphore (Internat. Koll. 1956), Verlag Vieweg, Braunschweig 1958.

² K. VACEK, Czech. J. Phys. B **10**, 66, 468 [1956]; Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. Mathematik, Physik u. Technik 1960, S. 208; J. Chem. Phys. Solids **16**, 337 [1960].

³ D. A. WIEGAND, Phys. Rev. **113**, 52 [1959].

⁴ G. C. FARNELL, P. C. BURTON u. R. HALLAMA, Nature, Lond. **164**, 146 [1949]. Phil. Mag. Ser. 7, **41**, 157 [1950].

⁵ O. STASIW, Elektronen- und Ionenprozesse in Ionenkristallen, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1959.