

längen um 435 m $\mu$  für die N=N-Doppelbindung spezifisch ist.

Unter Berücksichtigung der angeführten Gründe erscheint der Schluß berechtigt, daß im Azobenzolmolekül die Absorption von Lichtquanten der Wellenlängen um 435 m $\mu$  und ihre Wirkung in der N=N-Doppelbindung lokalisiert sind.

5. Das Maximum des Wirkungsgrades für einen bestimmten photochemischen Umwandlungsvorgang an einem Molekül braucht nicht für die Frequenz des absoluten Absorptionsmaximums des Spektrums einzutreten. Der Wirkungsgrad kann an Stellen kleiner Absorptionshöhe, die für den Vorgang spezifisch sind, viel günstiger sein.

Die unter 1—4 ausgeführten Schlußfolgerungen kann man allgemein zusammenfassen:

Eintreffer-Vorgänge, bei denen pro umgewandeltes Molekül nur 1 Quant absorbiert wird, können u. a.<sup>12</sup> entweder dann eintreten, wenn das ganze

<sup>11</sup> A. Einstein, Ann. Physik 17, 132 [1905].

<sup>12</sup> Der Fall der energetischen Einheit bei der Absorption von Licht ist von den Fällen der sogenannten Energieleitung zu trennen. Der Fall der Energieleitung soll hier nicht diskutiert werden.

Molekül für die Absorption von Licht eine energetische Einheit darstellt, oder, sofern diese Bedingung nicht erfüllt ist, wenn Absorptionsbereich und Wirkungsbereich im Molekül identisch sind bzw. einem Molekülteil angehören, für den die Bedingung der energetischen Einheit bei der Absorption von Licht erfüllt ist.

Erhält man dagegen für Eintreffer-Vorgänge das Ergebnis, daß für eine Umwandlung mehr als 1 Quant absorbiert wird ( $\gamma^* = 1$ ,  $\gamma = 1/m$ ,  $m =$  eine ganze Zahl  $> 1$ ), so ist das u. a.<sup>13</sup> darauf zurückzuführen, daß die Energie der absorbierten Lichtquanten auch die Elektronenanregung solcher Molekülteile bewirkt, die aus im Molekülbau begründeten Ursachen mit dem Ort der Umwandlung bei der Absorption von Licht nicht energetisch als Einheit reagieren, so daß die absorbierten Quanten am Ort der Umwandlung nur mit verminderter Wahrscheinlichkeit wirksam werden.

<sup>13</sup> Weitere Meßbeispiele für den Fall  $\gamma^* = 1$  und  $\gamma = 1/m$  sind die von K. Hauser<sup>3</sup> untersuchten photochemischen Umwandlungen von Triphenyl-tetrazoliumchlorid und Triphenyl-formazan, bei denen außer dem Fehlen der energetischen Einheit des Moleküls noch andere im Molekülbau begründete Ursachen Veranlassung zu hohen Werten von  $m$  geben, die erst in einer späteren gemeinsamen Arbeit diskutiert werden sollen.

## NOTIZEN

### Von der Elektrodenanordnung abhängige elektrische Eigenschaften von Cadmiumsulfid-Kristallen

Von Immanuel Broser und Ruth Warminsky

Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem

(Z. Naturforschg. 5a, 62—63 [1950]; eingeg. am 3. Mai 1949)

Die elektrischen Eigenschaften synthetischer CdS-Kristalle wurden in den letzten Jahren von verschiedenen Seiten eingehend untersucht<sup>1</sup>. Derartige Kristalle zeigen bei Anregung durch Quanten- oder Korpuskularstrahlen eine beträchtliche Zunahme des Leitvermögens, deren Größe sich — nach Anbringung von Elektroden — aus der Änderung des durch den Kristall fließenden Stromes ermitteln läßt.

Wir haben neuerdings untersucht, inwiefern dieser durch den Kristall fließende Strom noch von Form und

<sup>1</sup> R. Frerichs, Physic. Rev. 72, 594 [1947]; H. Kallmann u. R. Warminsky, Ann. Physik 4, 69 [1948]; I. Broser, H. Kallmann u. R. Warminsky, Z. Naturforschg. 4a, 631 [1949]; I. Faßbender, F. Möglich u. R. Rompe, Ann. Physik 3, 327 [1948]; K. Weiß, Z. Naturforschg. 2a, 650 [1947]. Weitere Zitate in den angegebenen Arbeiten.

<sup>2</sup> Vgl. W. Schottky, Z. Physik 118, 539 [1942].

Material der Elektroden abhängt und haben gefunden, daß der Kontakt Elektrode-Kristall in vielen Fällen für den Strom einen richtungsabhängigen Widerstand darstellt, der mit steigender Spannung abnimmt<sup>2</sup>. Die Höhe des Kontaktwiderstandes hängt von Form und Material der Kathode ab. Diese Abhängigkeit wird man zweckmäßig bei konstantem Kristallwiderstand verfolgen; z. B. kann einfach ein und derselbe Kristall mit unterschiedlichen Elektroden versehen und der Stromdurchgang bei verschiedener Polung beobachtet werden.

Der Einfluß des Randwiderstandes zeigt sich besonders deutlich an Kristallen mit geringem Eigenwiderstand, vor allem an solchen, die schon ohne Anregung ein relativ hohes Leitvermögen aufweisen, also praktisch Halbleiter darstellen (Dauerleiter).

Aus der Tatsache, daß der Kontaktwiderstand richtungsabhängig ist und von Kathodenform und -material abhängt, folgen eine Reihe interessanter Eigenschaften bestimmter Metall-Halbleiter-Metall-Anordnungen. Einige unserer Untersuchungsergebnisse seien hier kurz dargestellt; eine genaue Beschreibung der Messungen ist in Vorbereitung.

1. Der Gleichrichtungseffekt. An CdS-Kristallen, deren Anoden sich in Größe oder Material von den Kathoden unterscheiden, haben wir Gleichrichterwirkungen beobachtet.



Bildet man eine Elektrode als eine mehrere  $\text{mm}^2$  große (aufgedampfte) Metallschicht aus, die andere Elektrode dagegen als feine Metallspitze, so ist der durch den Kristall fließende Strom bei positiver Spitze wesentlich größer als bei negativer Spitze (Spitzengleichrichter). Bei Spannungen von einigen Volt wurden Gleichrichtungsfaktoren über  $10^3$  gemessen; bei Dauerleitern mit höchstem Leitvermögen betrug der Strom in der günstigen Richtung einige mA.

Waren beide Elektroden als Flächen ausgebildet, jedoch aus Materialien mit verschiedener Austrittsarbeit, so ließen sich ebenfalls Gleichrichterwirkungen beobachten (Flächengleichrichter). Besaß das Kathodenmaterial geringere Austrittsarbeit als das Anodenmetall, dann wurden größere Ströme gemessen als im umgekehrten Falle. So fanden wir an einer Anordnung Aluminiumelektrode-Dauerleiterkristall-Silberelektrode Gleichrichtungsfaktoren von etwa  $10^5$ . Der Strom in der bevorzugten (nicht sperrenden) Richtung betrug bei 10 V ungefähr 10 mA.

Sowohl bei der Spitzengleichrichtung als auch bei der Flächengleichrichtung hing die Größe des Gleichrichtungsfaktors von der Höhe der angelegten Spannung ab. Untersuchungen über die Trägheit der Gleichrichtererscheinungen haben ergeben, daß Wechselströme bis zu hohen Frequenzen (gemessen wurde bis 20 000 Hz) ohne wesentliche Verzerrung gleichgerichtet werden.

Die Messungen zeigen, daß CdS-Kristalle (vor allem dauerleitende) als Gleichrichter in der Technik Verwendung finden können.

2. Die Steuerwirkung. Ein durch einen CdS-Kristall fließender Elektrodenstrom läßt sich unter Ausnutzung der oben beschriebenen Gleichrichtererscheinungen über eine dritte, gut sperrende Elektrode beeinflussen.

Legt man diese dritte Elektrode auf ein gegenüber Kathode negatives Potential, so wird ein in unmittelbarer Nähe fließender Elektronenstrom praktisch leistungslos verkleinert. Bei einem dünnen dauerleitenden CdS-Kristall, dessen Kathode als Aluminiumschicht und dessen zweite und dritte Elektrode als Silberschichten ausgebildet waren, wurde der etwa 10 mA große, zur Anode fließende Elektronenstrom ungefähr um  $10 \mu\text{A}$  verringert, wenn man an die dritte, steuernde Elektrode eine negative Spannung von einigen Volt legte. Der über diese Steuerelektrode fließende Strom war um Größenordnungen kleiner als der angesteuerte Strom. Durch geeignete Wahl von Elektrodenmaterial und Elektrodenanordnung dürfte sich diese statische Beeinflussung eines Stromes wesentlich erhöhen lassen.

Andere Versuche haben ergeben, daß in CdS-Kristallen nicht nur eine statische Beeinflussung von Strömen möglich ist, sondern daß ein Elektronenstrom auch durch einen zweiten, über eine andere Elektrode fließenden Strom geändert werden kann.

3. Das Photoelement. Bildet man CdS-Kristalle durch geeignete Elektrodenanordnung als Gleichrichter aus, so tritt bei Erregung eine elektromotorische Kraft auf. Derart hergestellte Kristalle lassen sich also auch ohne

zusätzliche Spannung zum Nachweis einer anregenden Strahlung verwenden (Photoelement). Die Höhe der EMK hängt von der Güte der Gleichrichtung ab. Ein erster Vergleich eines CdS-Elementes mit einem technischen Kupferoxyd-Element ergab, daß bei Anregung mit Licht die Empfindlichkeiten pro Flächeneinheit ungefähr in gleicher Größenordnung liegen. Cadmiumsulfid zeigt eine merkliche Photospannung nicht nur bei Bestrahlung mit sichtbarem oder ultraviolettem Licht, sondern auch bei Erregung durch Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlen sowie durch  $\alpha$ -Teilchen und Elektronen. Die Photospannung war im untersuchten Bereich (gemessen wurde mit weicher Röntgenstrahlung) proportional der absorbierten Strahlungsenergie und zeigte nicht die häufig bei empfindlichen CdS-Photowiderständen beobachtete Trägheit.

CdS-Photoelemente stellen somit ein sehr einfaches Nachweismittel für energiereiche Korpuskular- und Quantenstrahlen dar.

### Zur Theorie des „Pinch“-Effektes

Von H. Fetz

Physikalisches Institut der Universität Würzburg

(Z. Naturforsch. 5a, 63 [1950]; eingeg. am 10. Jan. 1950)

In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit „Relativistische Erweiterung der Theorie der positiven Säule“<sup>1</sup>, wurde leider verabsäumt, auf eine Arbeit von L. Tonks hinzuweisen, welche dem Verf. erst nachträglich bekannt geworden ist<sup>2,3</sup>. Tonks untersucht im Anschluß an eine sehr umfassende Theorie der magnetischen Effekte im Plasma eines Lichtbogens auch die Selbsteinschnürung der positiven Säule unter dem Einfluß ihres eigenen Magnetfeldes (Pinch-Effekt). Da im Falle des Gasentladungplasmas wegen der radialen Verschiebbarkeit der Ionen die relativistischen Betrachtungen ohne Einfluß auf das formelmäßige Ergebnis sind, erscheint es möglich, die, wenigstens in gewisser Hinsicht genauere, aber auch sehr undurchsichtige Tonkssche Theorie mit der Rechnung des Verf. zu vergleichen. Am besten eignet sich dazu Gl. (50) auf S. 370 der Tonksschen Arbeit. Nach Beseitigung eines Druckfehlers (Faktor  $\xi$  fehlt) erweist sich diese Gleichung als praktisch identisch mit der Endgleichung des Verfassers. Die Korrekturfaktoren  $\gamma$  und  $\gamma'$  der Tonksschen Lösung sind von Eins so wenig verschieden, daß man sie als völlig unwesentlich bezeichnen kann. Ein Vergleich zwischen Rechnung und experimentellen Ergebnissen wird von Tonks nicht vorgenommen.

Bei der Anwendung der Theorie auf sehr hohe Stromstärken wäre vor allem zu prüfen, ob die Annahme einer einheitlichen freien Elektronenweglänge über den ganzen Entladungsquerschnitt noch zulässig ist. Diese Voraussetzung scheint der heikelste Punkt der ganzen Theorie zu sein.

<sup>1</sup> H. Fetz, Z. Naturforsch., 4a, 627 [1949].

<sup>2</sup> L. Tonks, Physic. Rev. 56, 366 [1939].

<sup>3</sup> T. Wasserrab, Z. Naturforsch., 2a, 575 [1947].