

## VERSAMLUNGSBERICHTE

## Preußische Akademie der Wissenschaften

Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse.

Berlin, 12. Juni 1941.

Prof. Dr. Max Bodenstein, Berlin: *Die Entstehung des latenten Bildes und die Entwicklung desselben in der Photographie.*

Das latente Bild der photographischen Platte wird seit der Jahrhundertwende aufgefaßt als bestehend aus Silberkeimen. Diese sollen sich durch Zerlegung des Silberbromids durch das Licht bilden, durch Übergang des Elektrons vom Silberion ( $\text{Ag}^+$ ) zum Bromion ( $\text{Br}^-$ ), durch Bildung eines Silberatoms und eines Bromatoms in einem „inneren Photoeffekt“. Eine Berechnung der hierfür nötigen Energie aus thermochemischen Daten zeigt aber, daß die Energie der Quanten des sichtbaren Lichts längst nicht ausreicht. Tatsächlich ist auch der erste Akt des Vorgangs ein ganz anderer. Das Bromion verliert sein Elektron, das durch die von Gudden und Pohl vor Jahren beobachtete beim Belichten entstehende Leitfähigkeit sich erkennbar macht<sup>1)</sup>.

Dann bleibt die energetische Unmöglichkeit, daß das Elektron vom Silberion aufgenommen wird, um dieses in ein Atom zu verwandeln. Diese Unmöglichkeit entfällt, wenn das entstehende Atom nicht frei sein soll, sondern wenn es im Augenblick seiner Entstehung in den Gitterverband bereits vorhandener „Vorkeime“ von festem Silber aufgenommen werden kann, wodurch die Sublimationswärme des Silbers als zusätzliche Energie gewonnen wird.

Tatsächlich ist die photographische Schicht nur dann hochempfindlich, wenn in ihr durch den Prozeß der Reifung solche „Vorkeime“ in Gestalt des sogenannten Reifsilbers erzeugt worden sind, oder wenn, was die Entwicklung der modernen gleichzeitig hochempfindlichen und feinkörnigen Emulsionen ermöglicht hat, statt dieser „Vorkeime“ von festem Silber solche von Schwefelsilber gebildet worden sind, das auch die Fähigkeit hat, Silberatome in sein Kristallgitter einzubauen.

Die Vorstellung, daß das Elektron zunächst im Bromsilberkristall vagabundieren muß, um ein dem „Vorkeim“ benachbartes Silberion zu finden, läßt die als Koagulationstheorie des latenten Bildes zusammengefaßten Erscheinungen verstehen, wonach Silberkeime immer nur an bevorzugten Stellen und hier in größeren Aggregaten sich bilden, und ebenso manche anderen Erfahrungen der photographischen Technik.

Genau so ist die Tatsache zu erklären, daß die Reduktion des Silberbromids durch den Entwickler nur an den Bromsilberkörnern statthat, die einen Keim festen Silbers tragen, denn sie ist auch nichts anderes als die Aufnahme eines Elektrons aus der Entwicklerlösung in das Silberion, das dadurch zu metallischem Silber wird. Auch diese bisher nur durch wenig befriedigende Vorstellung gedeutete Katalyse der Silberbildung wird so geklärt.

Wendet man statt sichtbaren Lichts energiereichere Strahlen an, insbesondere schnell bewegte Elektronen, so ist von einem solchen Energiemangel natürlich nicht mehr die Rede. Aufnahmen mittels des Elektronenmikroskops, die kürzlich v. Ardenne veröffentlicht hat<sup>2)</sup>, zeigen dementsprechend ein gänzlich abweichendes Bild: Die Silberatome, die sich hier direkt bilden können, sind vom ursprünglichen Ort der Silberionen im früheren Bromsilberkorn weggedampft und haben sich außerhalb desselben zu knolligen Auswüchsen niedergeschlagen.

## Physikalische Gesellschaft zu Berlin und Deutsche Gesellschaft für technische Physik

Sitzung am Mittwoch, dem 18. Juni 1941, im Physikalischen Institut der Universität Berlin.

H. Paetow: *Die Feldelektronenemission bei elektrischen Entladungen.*

Nach der Wellenmechanik sollte ein elektrisches Feld der Größenordnung  $30 \cdot 10^6$  V/cm in der Lage sein, auch aus kalten Metallen Elektronen herauszuholen; man bezeichnet dies als Feldelektronenemission. Die Elektronen sind wegen ihrer Wellennatur in der Lage, einen vorhandenen aber bei so hohen Feldern sehr schmalen Potentialberg an der Metalloberfläche zu durchdringen (Tunneleffekt). Der Emissionsstrom sollte in ganz bestimmter Weise von der elektrischen Feldstärke abhängen. Die quantitative Untersuchung dieses Effekts und damit die Prüfung der wellenmechanischen Formel machte lange Zeit große Schwierigkeiten, da die Feldelektronenemission immer von Spitzen und anderen Unebenheiten der Metalloberfläche ausgeht, die wirkliche Feldstärke an solchen Spitzen ist immer um einen sogenannten Grob-Fein-Faktor größer als die angelegte Feldstärke. Durch eine elektronenoptische Untersuchung ist es Haefer<sup>3)</sup> gelungen, die Form der emittierenden Spitzen zu ermitteln

und daraus die an ihnen wirksame Feldstärke zu berechnen. Die Messungen bestätigen die wellenmechanischen Ergebnisse in jeder Hinsicht. — Die für die Feldelektronenemission erforderlichen Feldstärken kommen auch dann zustande, wenn die Kathode teilweise mit einem positiv aufgeladenen Isolator bedeckt ist. Die positive Aufladung kann erzeugt werden 1. durch auftreffende positive Ionen, 2. durch Auslösung von Sekundärelektronen (dazu muß der Sekundärelektronenemissionsfaktor größer als Eins sein, d. h. für jedes auftreffende Elektron muß mehr als ein Elektron wieder weggehen, 3. durch Photoeffekt. Auch der Vorstrom einer Gasentladung kann schon ausreichende Isolatoraufladung für die Feldelektronenemission geben. Dadurch wird die Zündspannung herabgesetzt; es genügt schon, wenn nur ein einziges Staubteilchen auf der Kathode sitzt. Sehr unliebsam macht sich die Feldelektronenemission an der Grenze Leiter-Isolator beim Vakuumdurchschlag bemerkbar. Absichtlich herbeigeführt wird sie bei der Spritzentladung, beim Malter-Effekt und bei der Pulverschichtkathode. Bei der Spritzentladung ist die Kathode mit einer dünnen Körnenschicht (etwa  $10^{-4}$  cm Dicke), z. B. aus Aluminiumoxyd, oder mit einer elektrolytisch erzeugten Oxydschicht bedeckt. Fast der ganze Spannungsabfall der Entladung liegt in dieser Schicht. Die Elektronen können also gleich nach der Kathode ionisieren. Die Spritzentladung brennt bis zu Drucken von etwa  $10^{-2}$  Torr. Eine Art Spritzentladung kann bis zu Drucken von etwa  $10^{-5}$  Torr. mit der Anordnung von Malter aufrechterhalten werden; auf der Aluminiumkathode wird eine Aluminiumoxydschicht niedergeschlagen, dann Caesium aufgedampft und dieses im Sauerstoffstrom teilweise oxydiert. Die besondere Wirksamkeit dieser Anordnung rührt vom hohen Sekundärelektronenemissionskoeffizienten des Caesiums her. Bei der Pulverschichtkathode<sup>3a)</sup> wird auf die Kathode ein Häufchen Isolatorpulver gebracht. Bei starker Spannung tritt ein starker Strom auf, das Pulver wird positiv aufgeladen und fliegt wegen der elektrostatischen Abstoßung auseinander. Es wird dann, auch wegen seiner positiven Ladung, auf die Kathode zurückgeführt und bildet dort eine gleichmäßige Schicht mit ähnlichen Eigenschaften wie die Malter-Schicht. Die Pulverschichtkathode zeigt Niederspannungs- und Hochspannungs-emission. Bei der ersteren ist die Emission flächenhaft verteilt; sie hat sehr steile Kennlinien und brennt mit niedrigen Spannungen. Bei Erlöschen einiger Gebiete der Kathode durch inneren Durchschlag kann die Entladung in die Hochspannungsform umschlagen, die aber langsam wieder in die Niederspannungsform zurückgeht. — Auch die Nachentladungsströme von Gasentladungen beruhen auf Feldelektronenemission durch die kurzwelligen Photonen der vorhergehenden Gasentladung; sie haben ihren Ursprung ebenfalls in isolierenden Oberflächenanlagerungen der Elektroden. Von Bedeutung ist diese Erscheinung für die Zündverzögerung neuer Gasentladungen bei vorhergegangenen ausgeschalteten Entladungen und für die sogenannte Eigen- oder Selbsterregung von Zählrohren<sup>4)</sup>. — Man kann an diesen verschiedenen Erscheinungen die Feldelektronenemission über einen Stromstärkenbereich von 20 Zehnerpotenzen, von der Größenordnung eines Ampere bei Gasentladungen bis zu einzelnen Elektronen herab beim Zählrohr, verfolgen.

## Physikalisches Institut der Universität Berlin

Colloquium am 2. Mai 1941.

Prof. G. Hettner: *Die Leistungsgrenze thermischer Strahlungsmeßinstrumente.*

Einen Teil der thermischen Strahlungsmeßinstrumente kann man als Wärmekraftmaschinen auffassen (z. B. das Thermoelement). In einem absorbierenden Körper, dem Empfangssystem des Instruments, wird die Strahlung in Wärme verwandelt und bewirkt eine Temperaturerhöhung gegen die Umgebung; sie wird zum Teil in Ausschlagsarbeit des beweglichen Systems im Meßinstrument umgesetzt, zum Teil geht sie in Wärme von der Temperatur der Umgebung über. Den Wirkungsgrad kann man durch Vergleich mit einem Carnot-Prozeß abschätzen. Die Empfindlichkeitsgrenze bei den besten Instrumenten dieser Art ist dadurch gegeben, daß der Ausschlag nicht von der Brownschen Molekularbewegung des beweglichen Systems (ein Freiheitsgrad) mit einer mittleren potentiellen Energie von i. allg.  $kT/2$  ( $\approx 2 \cdot 10^{-14}$  erg bei Zimmertemperatur) verdeckt werden darf. Dagegen stellt z. B. das Bolometer keine Wärmekraftmaschine dar; die Ausschlagsarbeit wird bei ihm von der Stromquelle geliefert, die Temperaturerhöhung seines Empfangssystems wirkt nur auslösend; man möchte daher erwarten, daß man seine Empfindlichkeit durch Anwendung hinreichend hoher Spannungen beliebig weit steigern kann. Trotz des ganz anderen Mechanismus ist aber die Empfindlichkeit der besten Bolometer ungefähr gleich der der besten Strahlungsmeßinstrumente vom Typ der Wärmekraftmaschinen. Für diese Tatsache geben Dahlke u. Hettner<sup>5)</sup> eine theoretische Erklärung. Sie beruht darauf, daß neben den mechanischen Schwankungen des beweglichen Systems auch Energie- bzw. Temperaturschwankungen des Empfangssystems auftreten, die die Meßgenauigkeit begrenzen können; eine Energie-

<sup>1)</sup> Vgl. dazu die Aufsätze und Versamlungsberichte von Pohl, Hilsch und Mollwo in dieser Ztschr. z. B. 61, 339 [1938].<sup>2)</sup> Z. angew. Photogr. Wiss. Techn. 2, 14 [1940].<sup>3)</sup> Z. Physik 116, 604 [1940].<sup>3a)</sup> H. Paetow, ebenda 117, 399 [1941].<sup>4)</sup> H. Paetow, Z. Physik 111, 770 [1939].<sup>5)</sup> Ebenda 117, 74 [1941].