

Kurve nach einem der angegebenen Verfahren entschieden werden.

7. Die Präparate von kreiszylindrischen Fasern (HEYN⁸) oder auch von parallel orientierten rotationselliptischen Partikeln (HOSEMAN⁹) lassen sich nach den hier verwendeten Methoden direkt als zweidimensionales Problem behandeln. Im drei-

dimensionalen Fall globulärer Systeme hat die Theorie, deren Ergebnisse dafür umgerechnet wurden, größere Bedeutung.

Herrn Prof. Dr. R. HOSEMAN bin ich für sein stetiges Interesse an dieser Untersuchung und für zahlreiche Hinweise dankbar.

Ein photoelektronisches Mikroskop zur Ausmessung massenspektrographischer Dublettstände

Von W. MÜLLER-WARMUTH

Aus dem Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforsch. 12 a, 212—217 [1957]; eingegangen am 25. Januar 1957)

Es wird der Aufbau eines Präzisionsmeßgerätes für Abstandsmessungen von Spektrallinien beschrieben, das die üblichen Komparatoren an Aufwand und Genauigkeit erheblich übertrifft. Die Verbindung eines hundertfach vergrößernden Projektionsmikroskopes mit einem photoelektronischen Einstellverfahren gestattet den Abstand von Liniendubletten bis zu etwa $0,1 \mu$ (mittlerer Fehler der Einzelmessung) genau auszumessen. Die Photometerkurven der zu bestimmenden Linien erscheinen dabei auf dem Schirm eines Kathodenstrahloszillographen. Die Methode strengt die Augen wenig an und führt auch für schwache und gekrümmte Linien zu guten Ergebnissen.

1. Problemstellung

Bei der Auswertung massenspektrographischer Präzisionsmessungen besteht im wesentlichen die Aufgabe, das Verhältnis der Abstände von Dublettenlinien (zwei Linien der gleichen Massenzahl) zu denen der Dispersionslinien (Linien benachbarter Massenzahlen) zu bestimmen^{1, 2}. Dabei können die Dispersionslinienabstände mit ausreichender Genauigkeit in einem normalen Komparator ausgemessen werden, weil sie die Dublettstände meist um Größenordnungen übertreffen. Die Genauigkeit der Massenbestimmungen wird somit weitgehend durch die Fehler gegeben, mit denen die Längenmessungen erfolgen, die zur Massendifferenz eines Dubletts gehören.

Derartige Dublettstandsmessungen von Aufnahmen, die mit einem MATTAUCH-HERZOGschen Massenspektrographen gemacht worden sind, wurden mit einem Meßmikroskop der Société Genevoise d'Instruments de Physique durchgeführt².

Dieses Instrument, eigentlich Bestandteil eines großen Dilatationsmeßapparates, besitzt eine recht gute Meßvorrichtung mit einer Skalenfeinteilung von $0,2 \mu$. Der Einstellmechanismus arbeitet mit Hilfe eines ge-

schliffenen Keiles und kann verschiedenen Linienbreiten angepaßt werden. Das Gesichtsfeld (Abb. 1) zeigt elf Fadenpaare im Abstände von $0,1 \text{ mm}$ und die in Mikron geeichte Skala. Bei einer Messung wird das Dublett auf das Gesichtsfeld abgebildet, wobei ein Ausschnitt des Dublettlinienbildes parallel zu den Fadenpaaren zu liegen kommt. Danach wird die Photoplate nicht mehr verschoben. Die Fadenpaare werden dann bei Beobachtung im Mikroskop so eingestellt, daß nacheinander jedes Linienbild genau zwischen zwei Fäden der nächstliegenden Paare erscheint. Die Differenz dieser Einstellungen liefert den Dublettstand. Bekanntlich führt eine solche Einstellmethode zu genaueren Ergebnissen als einfache Koinzidenz mit einer Bezugslinie.

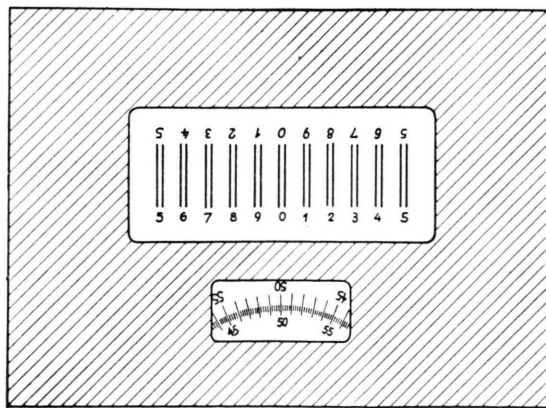


Abb. 1. Gesichtsfeld des Meßmikroskops.

¹ J. MATTAUCH u. L. WALDMANN, Z. Naturforsch. 8 a, 293 [1953].

² J. MATTAUCH u. R. BIERI, Z. Naturforsch. 9 a, 303 [1954].



Die wiederholte Durchführung dieser Messungen ergab einen Meßmittelwert, der bei verschiedenen Beobachtern mehr schwankte als dem Zufall entsprach. Zur Verringerung dieses persönlichen Fehlers wurde der Endwert einer Messung erst aus zwanzig Einzelmessungen von vier verschiedenen Beobachtern gebildet. Um die volle Einstellgenauigkeit des Mikroskopes auszunutzen, den Meßvorgang zu verkürzen und die Augen der Beobachter zu schonen, entstand das Bedürfnis nach einer einfacheren Einstellung als die Beobachtung im Okular zuläßt. Damit verband sich der Wunsch, auch für in sich gekrümmte oder relativ schwache Massenlinien gute Ergebnisse zu erhalten.

Es boten sich hierzu im Prinzip verschiedene Möglichkeiten an, denen die Abbildung der zu messenden Linien auf einen Spalt gemein ist, hinter dem sich eine Photozelle befindet, die das Lichtsignal in ein elektrisches umwandelt. Da einem Einstellungswechsel jedoch nur eine gegenüber dem starken Hintergrund des Gesamtlichtes kleine Änderung entspricht, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, das Bild der Linie periodisch parallel zum Spalt hin und herzubewegen, um Photostromänderungen zu erhalten, die sich wechselstrommäßig verstärken lassen. Man kann diese Oszillationsamplitude relativ klein wählen und das empfangene Signal zur Anzeige einer Koinzidenz von Linie und Spalt auswerten^{3,4}. Oder man sieht eine etwas größere Oszillationsamplitude vor, um nach Art eines photoelektrischen Photometers⁵ das vollständige Bild der Linie auf dem Schirm eines Kathodenstrahloszillographen abzubilden. Bei uns sollte das oben beschriebene Meßmikroskop ausgenutzt werden, bei dessen empfindlicher Einstellung nur die Fadenpaare der Skala, nicht aber die Dublettlinien selbst, bewegt werden. Daher kam von vornherein ein Verfahren nach Art des zuletzt genannten in Frage, bei dem mit dem Linienbild zugleich ein Bild des jeweils zugehörigen Fadenpaares auf die Photozelle übertragen wird.

Zu diesem Zweck wurde das Durchsichtmikroskop in ein Projektionsmikroskop umgewandelt und das Gesichtsfeld mittels eines Systems von Spiegeln auf eine Mattscheibe abgebildet. Auf dieser kann mit weniger Anstrengung als bei Beobachtung durch das Okular eine optische Abstandsmessung erfolgen. Wahlweise läßt sich aber auch ein Bildausschnitt, der eine Dublettlinie mit zugehörigem Fadenpaar enthält, ausblenden und über ein rotierendes Prisma periodisch am Spalt einer Photozelle vorbeibewegen. Die Bildimpulse gelangen nach ausreichender Breitbandverstärkung auf die vertikalen Ablenkplatten einer 16-cm-Doppelstrahl-

Oszillographenröhre. Mit Hilfe synchronisierter Sägezahnimpulse geeigneter Dauer und geeigneter Phasenlage an den horizontalen Ablenkplatten erscheinen die Photometerkurven von Fadenpaar und Massenlinie als vergrößerte stehende Bilder auf dem Schirm. Durch einen Phasenunterschied der Zeitablenkimpulse von 180° an beiden Elektronenstrahlssystemen werden diese Bilder in entgegengesetzten Richtungen aufgezeichnet. Koinzidenz zeigt dann völlige Symmetrie und damit das gewünschte Meßkriterium an, sofern alle periodischen Ablenkelemente streng zeitlinear arbeiten. Auf Abb. 2 sieht man ein Photo der gesamten Meßanordnung.

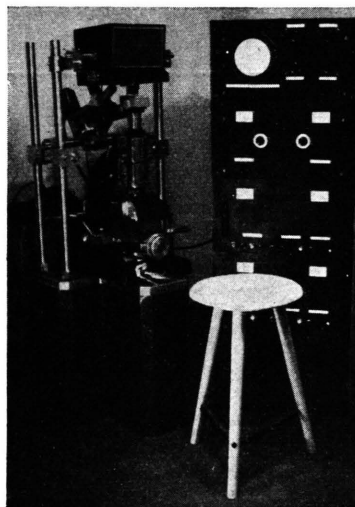


Abb. 2. Gesamtapparatur.

2. Mechanischer und optischer Aufbau

Abb. 3 zeigt schematisch den Aufbau und Strahlengang des Mikroskopes in der Seitenansicht. Nur der Mikroskoptubus Tb mit dem Einstellmechanismus EM wurde von der Société Genevoise d'Instruments de Physique bezogen, während alle übrigen Teile in der eigenen Institutswerkstatt gefertigt worden sind. Auch das ursprüngliche Beleuchtungssystem — ein Vertikal-Illuminator warf seitlich auftreffendes Licht durch das Objektiv hindurch auf die Platte — konnte nicht verwendet werden. Die ganze Apparatur steht befestigt an massiven Stativen (hier nicht gezeichnet) auf einem schweren Zementsockel. Eine Klimaanlage sorgt für konstante Raumtemperatur und Feuchtigkeit.

Das Beleuchtungssystem des Mikroskopes besteht aus einer 30 W-Projektionslampe PL, dem Spiegel Sp I und einem Kondensorliniensystem K. Der durch den relativ langen Weg bedingte Lichtenergieverlust mußte aus konstruktiven Gründen in Kauf genommen werden.

³ J. S. CLARK u. A. H. COOK, J. Sci. Instrum. **33**, 341 [1956].

⁴ H. MOREAU, Mesur. Contrôle Industr. **16**, 51 [1951].

⁵ R. FÜRTH u. D. W. OLIPHANT, J. Sci. Instrum. **25**, 289 [1948].

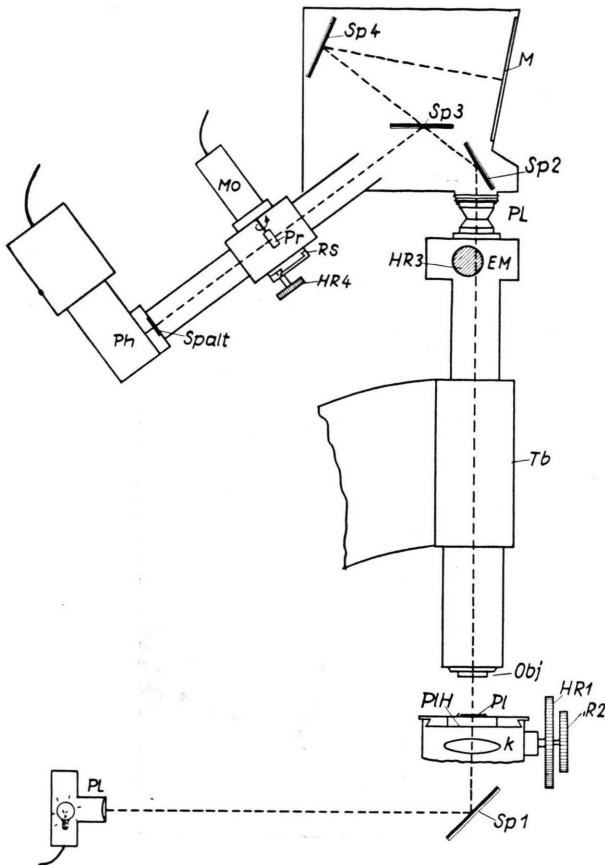


Abb. 3. Seitenansicht des photoelektronischen Mikroskopes (schematisch).

Der Plattenhalter PIH läßt das Licht zunächst durch die Photoplate Pl (25×3 cm) und dann durch das Mikroskop fallen. Er gestattet mit Hilfe eines Kreuzsupports die Verschiebung der Platte in Längs- und Querrichtung (Handräder HR 1 und HR 2) und eine Justierung der Plattenebene. In der Zwischenbildebene befinden sich die elf Fadenpaare und die Skala neben dem Einstellmechanismus EM. Das Projektionsokular PL entwirft mittels der Spiegel Sp 2 und Sp 4 ein Bild der Zwischenenebene auf die Mattscheibe M, sofern der ausschwenkbare Spiegel Sp 3 nicht im Strahlengang liegt. Mit dem Handrad HR 3 können die Fadenpaare um maximal etwa 100μ verschoben und damit die Meßeinstellungen vorgenommen werden. Die Gesamtvergrößerung ist etwa 100-fach.

Für die photoelektronische Einstellung schaltet man den Spiegel Sp 3 ein. Dieser entwirft das scharfe Bild eines geeigneten Ausschnittes über das rotierende Prisma Pr auf den Spalt (Spaltebene senkrecht zur Zeichenebene), hinter dem sich eine Photozelle Ph mit Sekundärelektronenvervielfacher befindet. Die Skala (obere Hälfte von Abb. 1) erscheint dabei nach wie vor auf der Mattscheibe; auf ihr geschieht auch nach der elektronischen Einstellung die Ablesung. Der Licht-

kanal — 30 mm Messingrohr — bildet zusammen mit dem Synchronmotor Mo, auf dessen Achse das Prisma aufgesetzt ist, und dem Photomultiplier eine mechanische Einheit. Sie läßt sich mit dem Handrad HR 4 auf einem Rundsupport RS so verschieben, daß nach Wahl alle elf Fadenpaare des Gesichtsfeldes auf den Spalt abgebildet werden können. Das Prinzip des mechanischen und optischen Ablenksystems wird aus der Draufsichtseinzelheit — Abb. 4 — ersichtlich.

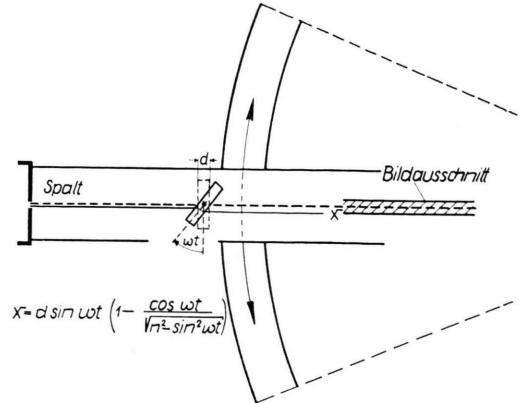


Abb. 4. Draufsicht-Einzelheit des Ablenkmechanismus für photoelektronische Einstellung (n Brechungsindex, d Dicke, ω Rotationsfrequenz der Glasplatte).

Wie die Abbildung zeigt, dient als Ablenkprisma eine planparallele Platte von etwa 6 mm Dicke, die außerordentlich präzise gearbeitet sein muß. Sie bildet bei konstanter Umlaufzahl nebeneinanderliegende Teile des Bildausschnittes im zeitlichen Nacheinander auf den Photozellenspalt ab. Diese Abbildung erfolgt nur für kleine Ablenkwinkel streng zeitlinear. Für größere Winkel treten Verzerrungen auf, die aber symmetrisch zur optischen Achse liegen, sofern Prisma und Motor gut zentriert sind. Es erwies sich daher als notwendig, die Planplatte sehr genau während des Ablenkvorgangs einzujustieren. Eine schwarze Maske, die den Weg nur für Strahlen freigibt, die zu dem erforderlichen Bildausschnitt gehören, erleichterte diese Arbeit und verbesserte die Einstellung. Alle übrigen Teile des Ablenksystems einschließlich Prismenhalterung mußten gut geschwärzt werden. Der Motor läuft mit der Netzfrequenz von 50 Hz synchron, besitzt also eine Umdrehungszahl von 3000 U/min. Da beide Oberflächen der Planplatte gleich wirken, erscheint das Bild in der Periode zweimal, dauert jeweils aber nur etwa ein gutes Drittel der halben Periode. Mit einer linearen „Mikroskopzeitbasis“-Ablenkung, d. h. mit Sägezahnimpulsen, deren Frequenz, Dauer und Phase dem Bildsignal entsprechen, läßt sich dann ein stehendes Bild des Ausschnittes auf einem Oszillographenschirm erzeugen. Legt man die Massenlinie in die Bildmitte, so beeinflusst die Randverzerrung den rechts und links liegenden Faden in gleicher Weise und stört die Symmetrie-Einstellung nicht.

Der Photozellenspalt besitzt Schwalbenschwanzführungen und läßt sich sowohl parallel verschieben als auch in seiner Breite einstellen. Bei der Justierung ergab sich eine optimale Schlitzbreite in der Größenordnung von $100\ \mu$.

3. Elektronischer Aufbau

Die Elektronik der Apparatur (Abb. 5) besteht aus Photozelle mit Sekundärelektronenvervielfacher, einem Breitbandverstärker, der mit dem Motor synchron gesteuerten Zeitablenkeinheit, der Doppelablenk-Kathodenstrahlröhre und den erforderlichen Netzgeräten. Alles zusammen (außer der Photozeleinheit) ist in einem Gestell mit vier Einschüben untergebracht. Um Einflüsse und Störungen des stark schwankenden Netzes auszuschließen, wurden die Betriebsspannungen elektronisch stabilisiert. Als Vergleichsnorm dienten dabei Glimmstabilisatoren; die hohen Betriebsspannungen für Sekundärelektronenvervielfacher und Elektronenstrahlrohr wurden zwecks selbständiger Regelung mit den stabilisierten 300-V-Spannungen der anderen Einheiten verglichen. Auf Aufbau und Schaltungseinzelheiten der elektronischen Geräte soll nur soweit eingegangen werden, wie es für den vorliegenden Apparat von Interesse erscheint.

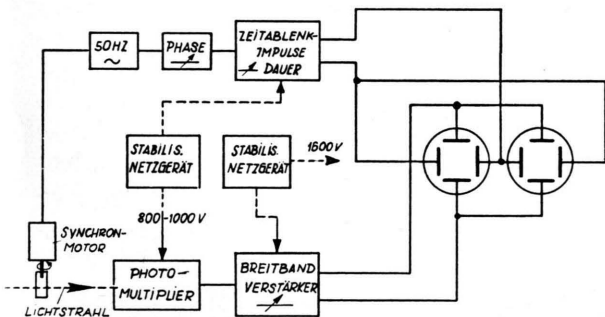


Abb. 5. Elektronik der Apparatur.

Dem Verstärker obliegt es, die Signalimpulse unverzerrt bei wählbarem Verstärkungsfaktor weiterzugeben und die für das Bildrohr notwendige symmetrische Spannungsamplitude zu liefern. Bei der vorliegenden Impulsform mußte vor allem für eine gute Übertragung der tiefen Frequenzen gesorgt und die Bandbreite nach oben mindestens auf etwa den zehnfachen Wert der Grundfrequenz ausgedehnt werden. Andererseits for-

derte das für die Abbildung schwacher Massenlinien kritische Signal-zu-Rausch-Verhältnis, die Bandbreite auf das unbedingt notwendige Mindestmaß zu reduzieren.

Das Zeitablenkgerät hat die Aufgabe, zeitlineare Sägezahnimpulse von einstellbarer Dauer zu erzeugen, die mit dem Ablenkprisma (und der Netzfrequenz) gut synchronisiert sind und im richtigen Moment auftreten. Dadurch, daß die Dauer dieser Impulse der Bilddauer angepaßt nur einen Teil der Periode von 20 Millisekunden beträgt, erreicht man eine Zeitdehnung („Mikroskopzeitbasis“), die das Bild auf der ganzen Länge des Oszillographenschirms erscheinen läßt. Bei längeren Sägezahnimpulsen entspricht dem Bildausschnitt nur ein kleinerer Teil des zeitlinearen Anstieges: die Photometerkurven erstrecken sich nur über einen Teil des Schirmes.

Die Erzeugung der Sägezahnspannung (Abb. 6) erfolgt in einer Art von „bootstrap-Schaltung“. Ein fremdgesteuerter Multivibrator stellt Rechteckimpulse her, die dazu dienen, die Aufladung eines Kondensators über einen Ladewiderstand zu steuern. Eine Rückkopplungseinrichtung hält die Spannung an den Klemmen des Ladewiderstandes praktisch konstant. Durch diese und andere schaltungstechnische Maßnahmen wurde eine große Zeitlinearität der an den Klemmen des Kondensators auftretenden Spannung erzielt. Eine nachfolgende Kathodenverstärkerstufe gibt bei wählbarer Ausgangsimpedanz die erforderlichen Sägezahn-Amplituden ab, ohne den Ladekondensator zu belasten. Die Symmetrierung der Impulse geschieht mit einer zusätzlichen stark gegengekoppelten Phasenumkehrstufe. Zur Einstellung der Impulsdauer werden Ladekondensator, Ladewiderstand und die Länge der Rechteckimpulse zusammen in Stufen umgeschaltet. Es sind Sägezahnimpulse von 6, 8, 10 und 12 Millisekunden vorgesehen. Eine starke Synchronisierung der Impulse mit dem Wechselstromnetz wird erreicht, indem die Auslöseimpulse für den Multivibrator nach dem Schema der Abb. 6 aus der Sinusspannung durch Verformung und Differentiation gewonnen werden. In dem Kreis Synchronmotor – Wechselstromnetz – Zeitablenkgerät befindet sich ferner noch eine Phasenschieberstufe, welche die Feineinstellung der Phasenlage von Bildkurve und Zeitablenkspannung ermöglicht.

Der Oszillographenteil enthält neben dem Bildrohr DGM 16 die üblichen Einstellglieder für Helligkeit, Schärfe, Bildverschiebung und Astigmatismusaussgleich. Dem WEHNELT-Zylinder aus dem Zeitablenkgerät zugeführte Rechteckimpulse sorgen für eine Verdunkelung des Strahlrücklaufes.

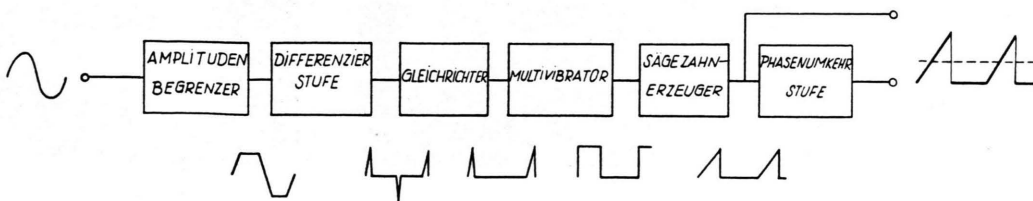


Abb. 6. Zeitablenkgerät (schematisch).

4. Betrieb und Prüfmessungen

Zur einwandfreien Abbildung, um eine gute Koinzidenz der Linienzüge zu erzielen und um leicht mit großer Genauigkeit für beliebige Dublettabstände und Linienbreiten einstellen zu können, mußten die einzelnen Teile des Apparates und die Gesamtanordnung vor der Inbetriebnahme einjustiert werden. Es würde hier zu weit führen, diesen Vorgang, der viel Zeit und Geduld erforderte, im einzelnen zu erläutern. Eine Prüfung der Apparatur erfolgte durch eine ganze Reihe von Testmessungen bereits früher ausgewerteter Massenspektrogramme, die von zwei Beobachtern vorgenommen worden sind.

Zur Messung eines Dublettabstandes mit dem photoelektronischen Einstellmikroskop wird zunächst die Photoplatte so verschoben, daß das Bild der Massenlinien auf der Mattscheibe erscheint. Die Scharfstellung des Mikroskopes kann jetzt optisch vorgenommen werden, oder aber erst bei Betrachtung der Photometerkurve auf dem Oszillographenschirm. Diese findet man, wenn man nach Einschalten von Spiegel Sp 3 (Abb. 3) durch Verschieben der Ablenkeinheit mit HR 4 den richtigen Bildausschnitt auf den Spalt abbildet. Eine Koinzidenz der Linienzüge beider Elektronenstrahlsysteme auf dem Schirm zeigt bei richtiger Phaseneinstellung, daß die Massenlinie sich in Bildmitte befindet. Jetzt kann der Mikroskopeinstellmechanismus betätigt (HR 3), das Fadenpaar abgebildet und auf Koinzidenz eingestellt werden. Die Ablesung der in $0,2 \mu$ geteilten

Skala mit Schätzung auf $0,02 \mu$ erfolgt auf der Mattscheibe. Danach wird die zweite Linie gesucht und in gleicher Weise eingestellt. Abb. 7 zeigt einige Beispiele solcher Einstellungen. Bei den Aufnahmen a und b ist auf Koinzidenz eingestellt, während die Linienzüge der Fadenpaarbilder bei Aufnahme c durch Verstellung des Einstellmechanismus nicht richtig koinzidieren.

Die Ergebnisse der Prüfmessungen, die unter wechselnden Voraussetzungen für verschiedene Linienbreiten ($1 - 3 \mu$), Linienformen und Abstände vorgenommen worden sind, wurden zur Beurteilung des Meßgerätes und der Meßgenauigkeit herangezogen. Unter anderem wurden zehn verschiedene Dublettaufnahmen mit schwächeren und stärkeren, geraden und gekrümmten Massenlinien optisch und photoelektronisch ausgemessen. Der Fehler einer Einzelmessung — so ergab sich — setzt sich im wesentlichen aus zwei Anteilen zusammen, dem Scharfstellfehler und dem Einstellfehler. Bei dem Vergleich der unbekannten Längendifferenz mit der Mikroskopskala in der Zwischenbildebene geht notwendigerweise die Güte der Scharfstellung in das Ergebnis ein. Für das rein optische Meßverfahren erwies sich eine getrennte Scharfstellung von Objektiv und Projektionsokular vor jeder Messung als notwendig. Die photoelektronische Ablesung bringt — wenn auch die Okulareinstellung das Ergebnis nicht mehr beeinflußt — hier keine wesentliche Verbesserung. Der mittlere Fehler einer Einzelmessung

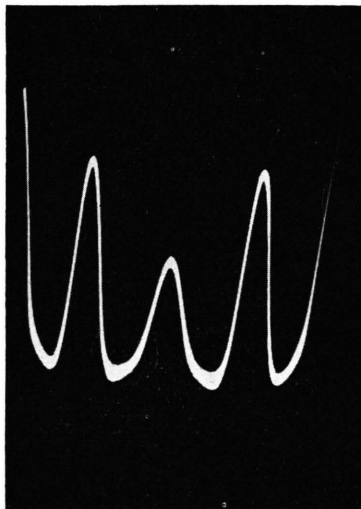


Abb. 7 a. Schwächere Linie.

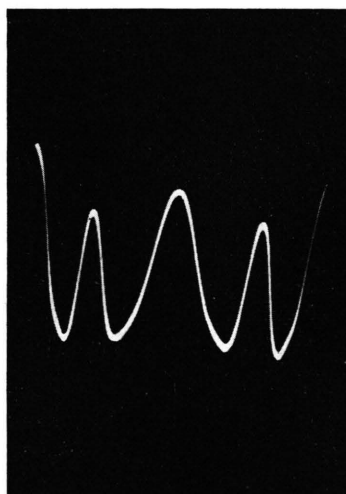


Abb. 7 b. Relativ kräftige Linie.

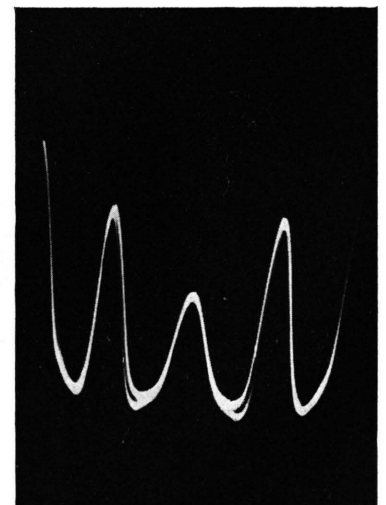


Abb. 7 c. Verstellung um $0,1 \mu$.

Abb. 7. Meß-Einstellung einer Massenlinie.

bedingt durch unterschiedliche Scharfstellung liegt bei $0,1 \mu$.

Anders verhält es sich mit dem Einstellfehler, den die Einstellung auf Fadenpaarmitte bzw. Koinzidenz der Linienzüge im Oszillographen und die Skalenablesung verursacht. Er hing bei optischen Ablesungen auf der Mattscheibe stark ab von der Art der Masselinie, war kleiner für kräftige und gerade, größer für gekrümmte Masselinien. Die hierbei beobachtete Schwankung des Meßwertes von Beobachter zu Beobachter wurde damit erklärt, daß verschiedene Beobachter in verschiedener Weise mit den Augen die Integration vornehmen, welche die Einstellung schwach gekrümmter Linien auf Fadenpaarmitte notwendig macht. Die photoelektronische Einstellung nimmt diese Integration über den Bildausschnitt automatisch vor und schließt den persönlichen Fehler aus. Der mittlere Fehler einer Einzelmessung betrug bei unseren Meßreihen $0,01$ bis $0,04 \mu$, wenn man den Skalenablesfehler einschließt.

Das Verfahren zur Ausmessung massenspektrographischer Dublettstände konnte bei einigem Mehraufwand durch den Aufbau dieses photoelektronischen Einstellmikroskopes erleichtert und verbessert werden. Gegenüber der früheren Meßmetho-

dik brachte schon die Mattscheibenablesung einen Fortschritt, während die photoelektronische Einstellung den vorhandenen Einstellmechanismus voll ausnutzt und weniger Einzelmessungen erfordert. Sie strengt die Augen des Beobachters kaum noch an und führt auch bei schwachen, gekrümmten und asymmetrischen Linien zu guten Ergebnissen. Die Grenze der Meßgenauigkeit ist nunmehr allein durch die Güte der Objektivscharfstellung gegeben. Um sie zu überschreiten, müßte die photoelektronische Einstellung entweder auf eine ganz andere Meßmethode angewandt oder ein besseres Scharfstellkriterium gefunden werden. Zur Absoluteichung wurde von der Société Genevoise d'Instruments ein Glasmaßstab bezogen, der wie die Photoplatte unter das Mikroskop gelegt werden kann und dessen Skala nach einem anderen Verfahren⁴ elektronisch ausgemessen wurde.

An den Vorarbeiten zu dem beschriebenen Gerät war Dr. R. BIERI, jetzt University of Minnesota, Minneapolis, maßgeblich beteiligt. Insbesondere sind ihm der Entwurf des Mikroskop-Plattenhalters und ein großer Teil der Entwicklungsarbeit zum Zeitablenkgerät zu verdanken.

Herrn Prof. Dr. J. MATTAUCH habe ich für die Anregung dieser Arbeit, seine vielfältige Unterstützung und großzügige Förderung zu danken.

Elektronenbestrahlung von p-n-Sperrschichten in GaAs

Von H. PFISTER

Aus dem Forschungslaboratorium der Siemens-Schuckertwerke AG., Erlangen

(Z. Naturforsch. **12 a**, 217—222 [1957]; eingegangen am 22. Dezember 1956)

Es wird der Einfluß einer Elektronenbestrahlung auf p-n-Sperrschichten in Gallium-Arsenid untersucht und der Kurzschlußstrom bzw. die EMK in Abhängigkeit von der Strahlintensität gemessen. Bei Bestrahlung mit 45 kV-Elektronen ist der Kurzschlußstrom um den Faktor 7200 größer als der auffallende Elektronenstrom. Dem entspricht ein mittlerer Energiebedarf pro Ladungsträgerpaar von 6,3 eV. Die bei optimaler Anpassung abgegebene Leistung beträgt 8% der auffallenden Strahlintensität. Als Anwendung wird die Messung der Intensität von Elektronenbeugungs-Diagrammen beschrieben.

Die p-n-Übergangszone eines Halbleiterkristalls, d. h. der Bereich, in dem der Leitungstyp von der Überschuß-Leitung zur Defekt-Leitung wechselt, hat die Eigenschaften eines Photo-Elements. Werden durch Bestrahlung des Kristalls in der Zone des p-n-Übergangs oder in dessen Nähe Elektron-Loch-

Paare erzeugt, so werden diese in dem elektrischen Feld des p-n-Übergangs getrennt und es entsteht zwischen dem p- und dem n-Bereich eine Photo-EMK. Über die Bestrahlung von p-n-Sperrschichten mit Licht¹, RÖNTGEN-Strahlen² und Korpuskulaturstrahlen³ ist verschiedentlich berichtet worden. Be-

¹ M. BECKER u. H. Y. FAN, Phys. Rev. **75**, 1631 [1949]; **78**, 301 [1950]. — W. J. PIETENPOL, Phys. Rev. **82**, 120 [1951]. — D. C. REYNOLDS, G. LEYES, L. L. ANTES u. R. E. MARBURGER, Phys. Rev. **96**, 533 [1954].

² J. BACKOVSKY, M. MALKOVSKA u. J. TAUC, Letter in Czech. J. Phys. **4**, 98 [1954]. — J. BRAUNBECK u. J. ZABOVSKY, Naturwiss. **42**, 602 [1955]. — H. PFISTER, Z. Naturforsch. **11 a**, 434 [1956].

³ C. ORMAN, H. Y. FAN, B. J. GOLDSMITH u. K. LARK-HOROVITZ, Phys. Rev. **78**, 646 [1950]. — P. RAPPAPORT, Phys. Rev. **93**, 246 [1954]. — K. G. MCKAY, Phys. Rev. **84**, 829 [1951]. — R. GREMMELMAIER u. H. WELKER, Z. Naturforsch. **11 a**, 420 [1956].