

der auf der Achse des Synchronmotors D befestigt ist. Die Elektroden und der Spalt E der Funkenstrecke A liegen senkrecht zur Zeichenebene, der Spalt B dazu parallel. Eine Seite des Spiegels ist mit schwarzem Papier belegt. Der Spiegel L bildet den Spalt B auf dem Spalt E des Spektrographen verkleinert ab.

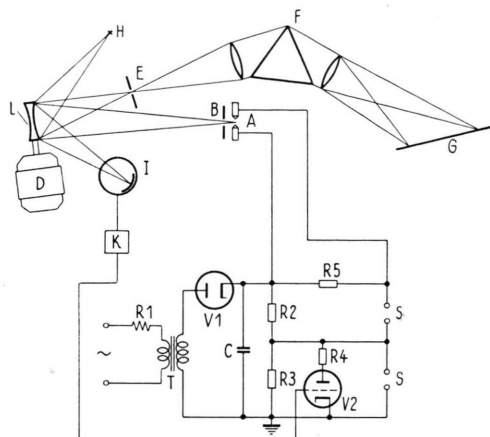


Abb. 1. Vorrichtung zur Aufnahme von zeitlich aufgelösten Spektren. Der untere Teil stellt das elektrische Schaltschema des elektronisch gesteuerten Funkenerzeugers, der obere die optische Anordnung dar.

* Abb. 2 und 3 auf Tafel S. 956 b.

Bemerkung zu einem von H. Welker gefundenen „Transistor-Effekt“ in Indium-Phosphid

Von D. A. Jenny

Radio Corporation of America, RCA Laboratories,
Princeton, New Jersey, USA

(Z. Naturforsch. 10 a, 1032–1033 [1955]; eingeg. am 22. Oktober 1955)

In der Arbeit „Über neue halbleitende Verbindungen II“ beschreibt Welker¹ kurz einen Spitzen-transistor-Versuch mit p-leitendem InP. Die Beeinflussung der Kollektorkennlinie durch Modulation des Emitters wird mit Hilfe eines Oszillographenbildes veranschaulicht und als „Transistor-Effekt“ gedeutet. Im Verlaufe unserer Arbeiten auf dem Gebiete der halbleitenden Verbindungen hatten wir Gelegenheit, diesen „Transistor-Effekt“ etwas genauer zu untersuchen. Unsere Resultate und die von Welker abweichenden Schlußfolgerungen sollen im folgenden kurz beschrieben werden.

Ein gewöhnlicher Triodentransistor kann im elektrotechnischen Sinne ganz allgemein als ein Vierpolnetzwerk mit wenigstens einem aktiven Element neben den passiven angesehen werden. Der aktive Teil ist notwendig, um Leistungsverstärkung hervorzurufen. Obwohl Leistungsverstärkung eine hinreichende Bedingung für die Existenz eines Transistor-Effektes ist, ist sie keineswegs notwendig. Im physikalischen Sinne ist ein

¹ H. Welker, Z. Naturforsch. 8 a, 248 [1953].

Die Steuerung der Röhre V2 zwecks Einleitung der Funkenentladung erfolgt dadurch, daß der Glühfaden der Autolampe H durch den Spiegel L vergrößert auf den in der Zeichenebene liegenden Spalt der Photozelle I abgebildet wird. Der bei jeder Umdrehung des Motors ausgelöste Photostrom gelangt über den Verstärker K als Zeichen zum Gitter der Thyatronröhre V2. Die negative Vorspannung erhält die Röhre V2 ebenfalls vom Verstärker K.

Abb. 2* und 3 zeigen gemäß Abb. 1 photographierte Spektren von Magnesium und Antimon. Beide Aufnahmen wurden bei 3 mm Funkenstrecke mit dachförmigen Elektroden gemacht. Die Kante der Dachform lag parallel zur optischen Achse. Bei den dargestellten Aufnahmen betrug die Kapazität des Kondensators C 10 000 pF, die Schwingungszahl des Entladekreises ungefähr 0,5 MHz. Die Weite des Spaltes B war 0,45 mm, die Umdrehungszahl des Drehspiegels 3000/sec. Der Krümmungshalbmesser des Spiegels L war 360 mm. Der Spalt B wurde auf dem Spalt E dreifach verkleinert abgebildet. 1 mm Länge der Spektrallinie auf der photographischen Platte C entsprach annähernd 5 Mikrosekunden. Als Zeitmaß ist die zeitliche Intensitätsschwankung der Spektrallinien der Abb. 3 gut brauchbar. Die Periodizität der Intensitätsschwankung beträgt 2,14 Mikrosekunden, identisch mit der Periode des Funkenerzeugers. In den Aufnahmen ist die zeitliche Auflösung etwa 1 Mikrosekunde. Für eine Aufnahme waren ca. 500 Funken nötig.

Transistor-Effekt vorhanden, wenn die folgenden zwei Prozesse nachgewiesen werden können: 1. Emission von Minoritätsträgern in die Halbleiterbasis durch den Emitter und 2. Einfang von wenigstens einem Teil dieser Minoritätsträger durch den Kollektor. Die gleichzeitige Existenz beider Prozesse ist eine notwendige und zugleich hinreichende Bedingung für einen Transistor-Effekt, auch wenn keine Leistungsverstärkung nachweisbar ist.

Abb. 1 zeigt eine Schaltung von zwei getrennten (!) Halbleiter-Gleichrichtern mit einem Widerstand und zwei Wechselstrom-Generatoren, wobei der eine einen wesentlichen Innenwiderstand R_i besitzt. Der Meßwiderstand R_0 ist klein verglichen mit allen anderen Widerständen und dient lediglich der Übertragung des Stromes i_c auf den Oszillographen. Die Generatorfrequenzen sind $f_e = 1000$ Hz und $f_c = 60$ Hz.

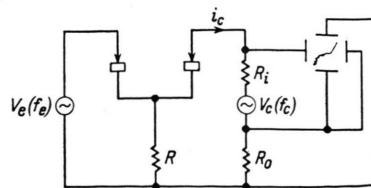


Abb. 1.

Abb. 2 gibt das mit dieser Schaltung erhaltene Oszillographenbild wieder, welches im wesentlichen mit demjenigen Welkers übereinstimmt. Die Tatsache, daß die



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.

Kollektorkennlinien-Modulation nicht vertikal (Strommodulation) ist, kann auf den Innenwiderstand R_i der V_c -Spannungsquelle zurückgeführt werden. Sobald R_i , das komplex sein kann, klein gemacht wird, erhält man reine Strommodulation (vertikal). Der Widerstand R stellt das eigentliche Kopplungsglied dar, so daß die

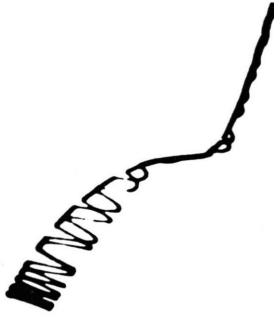


Abb. 2.

gegenseitige Beeinflussung der beiden Gleichrichterkreise innerhalb gewisser Grenzen einzig von der Größe des R -Wertes abhängt. Solange R nicht klein verglichen mit dem Durchlaßwiderstand der Gleichrichter und/oder V_e nicht klein gegen V_c ist, können Kennlinien, wie sie in Abb. 2 gezeigt sind, erzeugt werden. Die beiden Gleichrichter entsprechen dem Emitter und dem Kollektor eines Transistors, wobei R als Basiswiderstand angesehen werden kann. Dieselben Kennlinien können leicht mit einer Spitzentransistor-Anordnung auf einem Halbleiterkörper erzeugt werden, wie Welker es gezeigt hat. Die Tatsache, daß die Schaltung von Abb. 1 kein aktives Element enthält und daß die beiden Gleichrichter aus zwei getrennten Halbleiterkörpern bestehen, schließt einen Transistor-Effekt von vornherein aus. Die Modulation der Kollektorkennlinie durch den Emitter nimmt mit wachsendem Spitzenabstand ab, was jedoch nichts mit der Diffusionslänge der Minoritätsträger zu tun hat, sondern lediglich eine Folge der sich ändernden Strom- oder Widerstandsverteilung im Halbleiterkörper ist.

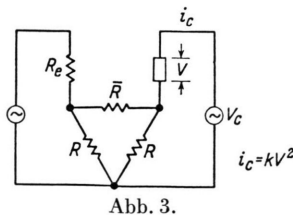


Abb. 3.

Die oben beschriebenen Verhältnisse können ganz allgemein an Hand des Ersatzschaltbildes in Abb. 3 erläutert werden. An Stelle des Emitters nehmen wir einen

idealen Gleichrichter mit einem konstanten Durchlaßwiderstand R_e an, und der Kollektor soll durch ein Element mit parabolischer Strom-Spannungs-Kennlinie in der Sperrichtung ersetzt werden, wobei uns die Emittersperrichtung und die Kollektordurchlaßrichtung nicht weiter interessieren. Weiter nehmen wir an, daß $\Delta V/\Delta i_c$ des Kollektorelementes groß verglichen mit R_e , R und R ist. Diese Annahmen vereinfachen die Veranschaulichung wesentlich, ohne die grundlegenden Verhältnisse zu ändern. Der Kollektorstrom kann nun durch V_e und V_c wie folgt ausgedrückt werden:

$$i_c = K V^2, \quad (1), \quad V = V_c + k V_e, \quad (2)$$

$$k = \frac{R}{R+R} \left[1 - \left(1 + \frac{R}{R_e} \frac{\bar{R}+R}{2R+R} \right)^{-1} \right], \quad (3)$$

$$i_c = K (V_c + k V_e)^2. \quad (4)$$

Wenn man nun noch beachtet, daß V_e gewöhnlich kleiner als V_c und k kleiner als 1 ist, so kann man den quadratischen Term in (4) vernachlässigen und findet schließlich

$$i_c = K (V_c^2 + 2 k V_c V_e). \quad (5)$$

Die beiden R stellen den gleichmäßig verteilten Basiswiderstand von Kollektor und Emitter in einem Spitzentransistor dar, während R der konzentrierte Widerstand zwischen den beiden Spitzenkontakten im Halbleiter ist, welcher direkt vom Spitzenabstand abhängt. Man kann nun leicht einsehen, daß der Kopplungsterm $k V_c V_e$ eine direkte Funktion von R ist, welche mit wachsendem Spitzenabstand (\bar{R}) abnimmt. Der Ausdruck (5) für den Kollektorstrom ist im Grunde nichts anderes als eine Mischung von zwei Spannungen an einer nichtlinearen (parabolischen) Kennlinie, welche imstande ist, Abb. 2 zu erzeugen.

Abb. 2 wurde mit zwei getrennten InP-Gleichrichtern aufgenommen, welche aus Spitzenkontakten auf p-leitendem Material bestanden. Im wesentlichen dieselben Resultate wurden mit Ge, Si und GaAs erhalten, welche eine ähnliche Kennlinie in der Sperrichtung hatten. In einer Spitzentransistor-Anordnung mit p-leitendem InP sind derartige Kennlinien leichter zu erzeugen als in den anderen Halbleitern, was wahrscheinlich eine Folge des relativ großen Beweglichkeitsunterschiedes von Elektronen und Löchern in diesem Material ist, worauf hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Diese Ausführungen und Resultate dürften keinen Zweifel übrig lassen, daß zur Erklärung von Welkers Kennlinien keine Minoritätsladungsträger, wie auch keine aktiven Elemente im Ersatzschaltbild notwendig sind, so daß diese keinen hinreichenden Beweis eines Transistor-Effektes darstellen.