

„Der europäische Transistor“

Pioniere der Halbleitergeschichte

Zum 100. Geburtstag von Heinrich Welker und Herbert Mataré

von Jörg Berkner

In den vergangenen Jahren haben wir in mehreren Scriptum-Ausgaben an Pioniere der Halbleitertechnik wie Eberhard Spenke, Karl Siebertz und Walter Schottky erinnert, welche die Entwicklung der Halbleitertechnik maßgeblich voranbrachten. Heute soll zweier Wissenschaftler gedacht werden, die unbedingt auch in diese Reihe gehören: Heinrich Welker und Herbert Mataré. Im September 2012 wären beide 100 Jahre alt geworden.

Der Zufall wollte es, dass Heinrich Welker und Herbert Mataré 1912 im selben Jahr und im selben Monat geboren wurden. Der Zufall auch ließ 1947 ihre Lebenswege kreuzen. Weniger zufällig war aber das wichtigste Ergebnis ihrer von 1947 bis 1951 dauernden Zusammenarbeit, der erste europäische Transistor. Die wenig bekannte Geschichte dieser Erfindung soll in diesem Scriptum-Artikel dargestellt werden.

Heinrich Welker

Heinrich Welker begann 1931 ein Studium der Mathematik und Physik an der Universität München. Von 1935 bis 1940 war er wissenschaftlicher Assistent am Institut für theoretische Physik bei Professor Arnold Sommerfeld. 1936 promovierte er mit einer Arbeit über Wellenmechanik. 1939 folgte seine Habilitation über ein Modell der Supraleitung. Ab 1940 war er an der *Drahtlostelegrafischen und Luftelektrischen Versuchsstation Gräfelfing* (DVG) und danach im *Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen* (FFO) mit Ultrakurzwellentechnik befasst. Ab 1942 untersuchte er am Physikalisch-Chemischen Institut der Universität München die Eigenschaften von Germanium und entwickelte einen Gleichrichter, der als Detektor für hochfrequente Wellen geeignet war. Diese Arbeiten hatten vor dem Hintergrund des Wettübens auf dem Gebiet der Radartechnik im 2. Weltkrieg besondere Bedeutung¹. Daraus resultierte ein

Patent², in dem sowohl ein solcher Hochfrequenz-Gleichrichter als auch ein Herstellungsverfahren für das dafür notwendige hochreine Germanium beschrieben wurden.



Bild 1: Prof. Dr. habil. Heinrich Welker, *9. September 1912, † 25. Dezember 1981.³

In diesem Patent wird schon auf die besondere Eignung von monokristallinem Germanium und auf die Notwendigkeit einer sorgfältigen Oberflächenbehandlung hingewiesen. Im Mai 1943 wurden die von Welker entwickelten Detektoren an die Firma *Siemens* zur Fertigung übergeben.⁴ Basierend auf Welkers Arbeiten wurden bei Siemens bis 1945 etwa 10.000 dieser als „Richtleiter“ bezeichneten

¹ Zur Geschichte des Hochfrequenzkrieges im 2. Weltkrieg vgl. B. Johnson „Streng Geheim“ [5]

² Patent DE966387 vom 3.10.1942, Klaus Clusius, Erich Holz und Heinrich Welker

³ Bild: Siemens Corporate Archive

⁴ Handel, Anfänge, S.83 [1]

Hochfrequenz-Gleichrichter hergestellt und in Funk- und Radarempfangsgeräten eingesetzt.⁵

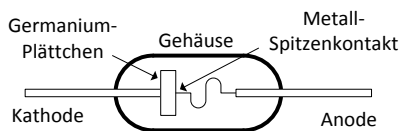


Bild 2: Schnittdarstellung eines Richtleiters

Im Oktober 1944 musste das Physikalisch-Chemische Institut München aufgrund von Bombenangriffen nach Gauting verlegt werden. Welker befasste sich dort wieder mehr mit theoretischen Fragen, insbesondere dem ungelösten Problem eines Halbleiterverstärkers. Ergebnis war ein Patent, welches er noch kurz vor Kriegsende am 6. April 1945 anmeldete.⁶

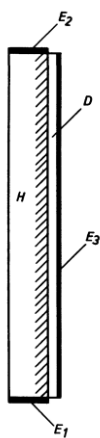


Bild 3: Welkers „Halbleiteranordnung zur kapazitiven Steuerung von Strömen“, die er noch im April 1945 zum Patent anmeldete.

H ist der p-leitende, mit Elektroden E1 und E2 sperrschichtfrei kontaktierte Halbleiterkristall. D ist ein Isolator oder eine Sperrschicht. Der Strom fließt zwischen E1 und E2 parallel zur Steuerelektrode E3, die aus n-Halbleitermaterial besteht.

Zunächst beschreibt er darin einen als „bekannte Anordnung“ bezeichneten Aufbau mit isolierter Steuerelektrode (= Gate). Nach heutigem Verständnis handelt es sich dabei um einen Feldeffekt-Transistor (FET), wie er auch schon in früheren Patenten vorgeschlagen worden war.⁷ Im Frühjahr 1945 führte Welker erste Experimente mit solchen „Drei-Elektroden-Kristallen“ aus Kupferoxydul mit einer isolierten Steuerelektrode aus Silber durch, die jedoch erfolglos blieben. Welker führte das auf die zu dicke Isolationsschicht zurück.⁸ In seinem Patent schlug er deshalb vor, die Steuerelektrode ebenfalls aus Halbleitermaterial herzustellen und somit das Dielektrikum durch eine Sperrschicht zu ersetzen. Damit wurde zum ersten Mal das Prinzip eines Sperrschicht-FET (JFET) formuliert. Das Kriegsende verhinderte aber weitere Arbeiten zu diesem Thema. Nach dem Krieg machte sich Welker zunächst mit einem Ingenieurbüro selbstständig, nahm aber

⁵ vgl. dazu Gaudlitz, Historischer Rückblick [6]

⁶ Patentschrift DT 980084 „Halbleiteranordnung zur kapazitiven Steuerung von Strömen in einem Halbleiterkristall“, angemeldet am 6.4.1945

⁷ vgl. die Patente von Lilienfeld von 1926, US1745175 und von Oskar Heil 1934, GB439457 sowie die interessante Darstellung von Bosch, Werdegang [7]

⁸ Handel, Anfänge, S.91-93

Anfang 1947 ein Angebot der französischen Firma *Compagnie des Freins et Signaux (CFS) Westinghouse* an, wo er auf Herbert Mataré traf. Gemeinsam bauten sie in der Nähe von Paris ein Labor für Halbleiterforschungen auf.

Herbert Mataré

Herbert Mataré begann 1935 ein Studium der Physik an der Technischen Hochschule Aachen, welches er 1939 als Diplom-Ingenieur abschloss. Er ging dann in die Industrie zur Firma Telefunken in Berlin, wo er auf dem Gebiet der Radartechnik zu arbeiten begann.⁹ *Telefunken* war während des 2. Weltkrieges ein wichtiger Lieferant von Radargeräten. Mataré untersuchte das Rauschen von Überlagerungsempfängern, die auch in Radargeräten verwendet wurden. Er stellte fest, dass das Rauschen des Empfängers durch den Einsatz einer Doppeldiode verringert werden konnte. Solche Dioden gab es zwar als Elektronenröhre, aber diese waren für die Gleichrichtung von cm-Wellen viel zu langsam. Mataré griff deshalb auf die aus den Frühzeiten des Radioempfangs bekannten Kristalldetektoren zurück.



Bild 4: Prof. Dr. sc. phys., Dr. Ing. Herbert Mataré, *22. Sept. 1912, † 2. Sept. 2011.¹⁰

Mit den Ergebnissen seiner Untersuchungen an Hochfrequenz-Gleichrichtern konnte er in Berlin an der TH Charlottenburg promovieren. 1943 wurde das Telefunken-Labor für Hochfrequenz-Röhren und Halbleiter wegen der zunehmenden Luftangriffe nach Leubus (Schlesien) verlagert. Mataré setzte hier seine Versuche zur Rauschkompensation in Überlagerungsempfängern mit Kristall-Duodioden fort. Das Kompensationsprinzip konnte aber nur funktionieren, wenn die Kennlinien der beiden Dioden möglichst identisch waren. Um dies zu erreichen, ordnete Mataré auf einem Silizium-Kristall (der Kathode) zwei Metallspitzen (die Anoden) in

⁹ Handel, Anfänge, S.29,30 [1]

¹⁰ Bild: Wikipedia, veröffentlicht unter Creative Commons Licence, GNU-Lizenz für freie Dokumentation, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Herbert_F._Matar%C3%A9_1950.png&filetimestamp=20080125091020

einem möglichst geringen Abstand an.¹¹ Er beobachtete dabei einen merkwürdigen Effekt: Manchmal wurde der Strom in der einen Diode von dem in der anderen beeinflusst. Mataré nannte diesen Effekt Interferenz.

Da die Rote Armee 1944 nach Schlesien vordrang, musste das Labor wieder verlagert werden und Mataré konnte das Problem nicht weiter untersuchen. Erst nach dem Ende des Krieges bot sich dazu wieder Gelegenheit. Mataré bekam, genau wie Welker, nach ausgiebigen Befragungen zu den Ergebnissen seiner Arbeiten während des Krieges durch amerikanische, englische und französische Geheimdienststellen das Angebot, für die französische Firma *Compagnie des Freins et Signaux (CFS) Westinghouse* zu arbeiten. Solche Anwerbung von deutschen Wissenschaftlern wurde kurz nach dem Kriegsende durch alle vier alliierten Mächte intensiv betrieben. Spezielle Einsatzgruppen durchsuchten das Land nach deutschen Spitzen-Wissenschaftlern, da man von ihrem Wissen profitieren wollte. Am meisten begehrt waren sicherlich die Ergebnisse der Raketen- und Kernforschung, aber auch andere Gebiete der industriellen Forschung und Entwicklung waren von wirtschaftlichem und militärischem Interesse.¹²

Die Entdeckung des Transistoreffekts

Die französische Post wollte nach dem Krieg ihr Telefonnetz modernisieren und hatte deshalb mit der Firma *CFS Westinghouse* einen Vertrag geschlossen. Zunächst wurden Dioden benötigt. Das war der Hintergrund für die Einstellung von Welker und Mataré. In einem leerstehenden, zweistöckigen Haus in der Stadt Aulnay-sous-Bois, rund 20 km nordöstlich von Paris gelegen, begannen sie ein Halbleiterlabor aufzubauen. Im Keller stellte Welker seine Apparaturen zur Herstellung von hochreinem Germanium auf. Er verwendete dabei das Zonenschmelzverfahren, bei dem das Germanium mit einem Hochfrequenzgenerator erhitzt wurde. Im Erdgeschoß wurde von Mataré die Diodenproduktion eingerichtet. Im zweiten Stock lagen die Wohnungen der beiden. Drei Mechaniker halfen beim Bau von Messgeräten, sechs Ingenieure waren mit den Messungen der Dioden befasst, während zehn Frauen die diffizile Arbeit des Einbaus der Dioden in das Gehäuse übernahmen. Noch 1946 konnte die Produktion von Germanium-Dioden beginnen.¹³

Nun konnte sich Mataré wieder dem merkwürdigen Interferenz-Effekt zuwenden, den er schon 1944 bei der Messung von Doppeldioden beobachtet hatte. Mit dem jetzt besseren, von Welker hergestellten Germanium-Material konnte der Effekt reproduzierbar gemacht werden: Wenn die erste Sperr-

schicht in Durchlassrichtung und die zweite in Sperrrichtung gepolt war, konnte mit Spannung an der ersten Sperrschicht der Strom durch die zweite Sperrschicht gesteuert werden – das war der lang gesuchte Transistoreffekt!

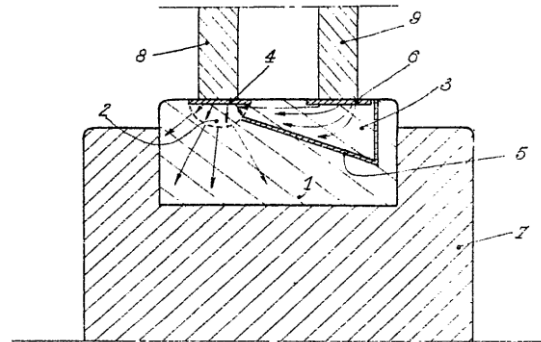


Bild 5: Das Transistron von Mataré und Welker, Zeichnung aus ihrem Patent FR1010427. 1 bezeichnet den Germanium-Kristall, 8 und 9 die beiden Punktkontakt-Elektroden.

Anfang 1948 waren die Versuche mit dem neuen Kristallverstärker so weit gediehen, dass man mit dem Aufbau einer Produktion beginnen konnte. Am 13. August 1948 reichten Mataré und Welker dazu in Frankreich ein Patent ein; erst im August 1949 folgte ihre Patentanmeldung in den USA.¹⁴

Am 18. Mai 1949 stellte der französische Postminister Eugène Thomas das neue Bauelement der Öffentlichkeit unter dem Namen „Transistron“ vor. Die gesamte Produktion der neuen Bauelemente von *CFS Westinghouse* wurde an das Postministerium geliefert und für Leitungsverstärker und andere Anwendungen eingesetzt. Für die Weiterentwicklung des Transistrons fehlte allerdings das Geld, denn nun bekam die Atomforschung durch den französischen Staat die höchste Priorität. So endete die Tätigkeit von Welker und Mataré für *CFS Westinghouse* schon 1951. Während Welker in Deutschland bei *Siemens* eintrat, wo er durch seine Forschungen zu den III-V-Halbleitern bald weltbekannt wurde, gründete Mataré in Düsseldorf mit Hilfe eines vermögenden Geschäftsmannes die Firma *Intermetall*, die bald die ersten Dioden und Transistoren herstellte.¹⁵

Der Transistor wurde zweimal erfunden

Vergleicht man den Aufbau des Transistrons mit dem des Bell-Transistors von Bardeen und Brattain, so stellt man erstaunliche Ähnlichkeiten fest, obwohl beide unabhängig voneinander entwickelt wurden. Bei beiden wurde Germanium als Halbleitermaterial verwendet, bei beiden wurden zwei Elektroden als Punktkontakt aufgesetzt.

Allerdings enthält die Patentschrift der Bell-Wissenschaftler, die sie nur rund einen Monat vor Welker und Mataré einreichten, eine weitaus de-

¹¹ Handel, Anfänge, S.74 [1]

¹² vgl. dazu z.B. Tom Bowers, „Verschwörung Paperclip“, List Verlag, 1987 und CLOS-Report XXXI-2 [8]

¹³ Van Dormael, French Transistor, S.2, 8 [4]

¹⁴ Patent FR1010427 vom 13.8.1948 sowie US-Patent 2673948 vom 11.8.1949

¹⁵ vgl. Handel, Anfänge, S.190 ff. [1]

tailliertere Darstellung der physikalischen Funktionsweise dieses ersten Bipolartransistors. Welker und Mataré waren sich hingegen in der Erklärung der Vorgänge im Transistor nicht einig. Während Welker den Verstärkungseffekt als Steuerung über das elektrische Feld der Sperrschicht an der Steuerelektrode erklärte (was in der Patentschrift deutlich wird), nahm Mataré eine Injektion von Ladungsträgern von der Steuerelektrode in das Germanium als Erklärung an.

Bardeen und Brattain hingegen hatten in der Zeit von ihrer ersten Beobachtung des Transistoreffekts im Dezember 1947 bis zur Patentanmeldung im Juni 1948 eine recht klare und schlüssige Theorie des Transistors entwickelt. In ihrer Patentschrift erläuterten sie schon so wesentliche Halbleiter-Begriffe wie Elektronen, Löcher, n-Leitung, p-Leitung, Übergang (junction), Basis, Emitter und Kollektor.¹⁶

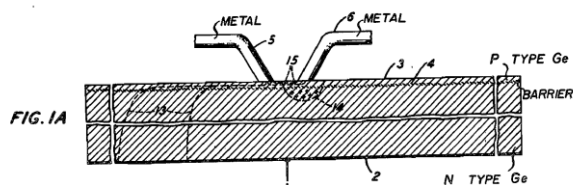


Bild 6: Der Aufbau des ersten Transistors von Bardeen und Brattain

Parallele Erfindungen sind in der Technikgeschichte gar nicht so selten. Ein Beispiel dafür ist der direkte Vorläufer des Transistors, die Elektronenröhre. Sie wurde im März 1906 von Robert von Lieben¹⁷ und nur ein halbes Jahr später ebenfalls von Lee de Forest¹⁸ erfunden. Wie es scheint, ist die Wahrscheinlichkeit einer parallelen Erfindung hoch, wenn ihre Zeit gekommen ist. Wann aber ist die richtige Zeit gekommen? Wenn ein dringender Bedarf zur Lösung eines Problems besteht und wenn gleichzeitig die wissenschaftlichen und technologischen Voraussetzungen zur Realisierung dieser Idee vorhanden sind. Bei der Elektronenröhre bestand der dringende Bedarf in der Notwendigkeit, Sprachsignale zu verstärken, um Telefongespräche auch über große Entfernungen führen zu können. Bei den Halbleitern war es der Bedarf nach Hochfrequenzgleichrichtern für Radargeräte, der die Halbleiterforschung so weit voranbrachte, dass die schon in den 20er Jahren formulierte Idee eines Kristallverstärkers schließlich Realität werden konnte.

Während Bardeen, Brattain und Shockley für ihre Erfindung des Transistors 1956 mit dem Nobelpreis geehrt wurde, war die parallele Erfindung von Welker und Mataré lange in Vergessenheit geraten. Ihr 100.Geburtstag ist eine gute Gelegenheit, daran zu erinnern.

Quellen

- [1] Handel, Kai Christian: „Anfänge der Halbleiterforschung und –entwicklung, dargestellt an den Biografien von vier deutschen Halbleiterpionieren“, Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [2] Feldtkeller, Ernst; Goetzeler, Herbert: „Pioniere der Wissenschaft bei Siemens“, Publicis MCD Verlag, 1994
- [3] Riordan, Michael: „How Europe Missed The Transistor“, <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/how-europe-missed-the-transistor/0>, Nov. 2005, download 11.5.2012
- [4] Van Dormael, Armand: “The ‘French’ Transistor”, 2004, <http://www.cdvandt.org/VanDormael.pdf>, download: 28.8.2012
- [5] Johnson, B.: „The Secret War“, BBC, 1978, deutsche Ausgabe: Pietsch Verlage / Weltbild Verlag
- [6] Gaudlitz, Dr.: „Historischer Rückblick auf die Anfänge der Halbleiterentwicklung bei Siemens & Halske bis zum Sommer 1950“, WW B HaF Lab22, 12.4.1962
- [7] Bosch, Berthold: Der Werdegang des Transistors.1929-1994. Bekanntes und weniger Bekanntes. Festkolloquium zum 65.Geburtstag von Magnifizenz Prof. Dr. Eberhart Köhler, TU Ilmenau, 17.11.1994
- [8] CIOS-Report XXXI-2: “Research Work undertaken by the German Universities and Technical High Schools for the Bevollmächtigter für Hochfrequenztechnik; Independent Research and Associated Subjects”, Combined Intelligence Objectives Sub-Committee, London, 1947

Impressum

Scriptum ist eine Veröffentlichung des Historischen Archivs der Infineon AG am Standort München Campeon
 Redaktion: Monika Dürmaier, Uwe Marx
 Bilder: Siemens Corporate Archive (1), wikipedia (1)

Ausgabe September 2012, Version: d 2012-09-07v2

Copyright Alle Rechte bei der Infineon Technologies AG. Die Rechte des Autors auf weitere Verwertung bleiben unberührt. Der Leser ist berechtigt, persönliche Kopien für wissenschaftliche und nicht-kommerzielle Zwecke anzufertigen. Jede darüber hinausgehende Nutzung bedarf der ausdrücklichen schriftlichen Zustimmung der Infineon Technologies AG.

Infineon Technologies AG
 Vorsitzender des Aufsichtsrats: Wolfgang Mayrhuber
 Vorstand: Peter Bauer (Vorsitzender), Dominik Asam, Arunjai Mittal, Dr. Reinhard Ploss
 Sitz der Gesellschaft: Neubiberg
 Registergericht: München HRB 126492

Bitte schreiben Sie an j.berkner@infineon.com, wenn Sie Anmerkungen und Ergänzungen zu dieser Scriptum-Ausgabe oder Interesse an einer Mitarbeit im Historischen Archiv haben.

¹⁶ Patent US2524035 vom 17.6.1948

¹⁷ Patent DRP179807 vom 4.3.1906

¹⁸ Patent US841387 vom 25.10.1906