

JUBILÄUM

70 Jahre Transistor

Jörg Berkner, Greiffenberg

Vor 70 Jahren, am 23. Dezember 1947, fand in den Bell-Laboratorien der Western Electric Inc. in Murray Hill eine außergewöhnliche Vorführung statt. John Bardeen und Walter Brattain stellten den leitenden Persönlichkeiten des Labors eine epochemachende Erfindung vor: den Bipolartransistor. Nur eine Woche zuvor hatten sie bei Messungen an halbleitendem Germanium den lange gesuchten Verstärkungseffekt in einem Festkörper entdeckt. Der Zufall half ein wenig mit, denn das Ziel ihrer Untersuchungen war damals gar nicht die Entwicklung des Bipolartransistors, sondern die eines Feldeffekttransistors. Ein Konzept dafür hatte Walter Shockley im Jahr zuvor entwickelt, aber die praktischen Versuche waren bislang fehlgeschlagen. Die Vermutung war, dass eine Elektronenladung an der Oberfläche des Germanium-Kristalls die erwartete Steuerwirkung des elektrischen Feldes auf den Strom durch den Halbleiter blockieren würde. Also versuchten die Wissenschaftler das Oberflächenpotential an einer Germanium-Diode zu messen. Während dabei ein erster Punktkontakt als Diode funktionierte, wurde mit einem zweiten Punktkontakt die Oberfläche in der Nähe des ersten abgetastet. Überraschenderweise zeigte sich eine Beeinflussung des Stromes in der zweiten, sperrgepolten Diode durch den Strom in der ersten, flussgepolten Diode, wenn nur der Spitzenabstand gering genug gewählt wurde. Erste Messungen ergaben eine AC-Spannungsverstärkung

von 100 und eine Leistungsverstärkung von 40.¹ Für die Vorführung am 23. Dezember 1947 wurde die Schaltung leicht modifiziert, um ein Tonsignal verstärken



Versuchsanordnung von Bardeen und Brattain, Nachbau des Thüringer Museums für Elektrotechnik (Foto: Thüringer Museums für Elektrotechnik)

zu können. So wurde den Teilnehmern die Verstärkerwirkung des neuen Bauelementes gleich anschaulich vorgeführt.

Eine erste Patentanmeldung erfolgte durch Bardeen und Brattain schon am 26. Februar 1948, die dann aber am 17. Juni 1948 durch eine verbesserte Anmeldung ersetzt wurde.² Dann folgten vier Jahre intensiver Entwicklungsarbeit und im Mai 1952 wurde in Murray Hill ein internationales Symposium zur Wirkungsweise und zur Technologie des Bipolartransistors veranstaltet.

Das Bell-Transistor-Symposium

Auf diesem Symposium wurden sowohl die Transistortheorie als auch Herstellungsverfahren und erste Schaltungsanwendungen für den Transistor vorgestellt. Etwa 150 Gäste waren zu diesem Symposium eingeladen, darunter auch vier Teilnehmer der Siemens & Halske AG: Prof. Günther, Dr. Henninger, Prof. Welker und Dr. Siebertz, der Direktor der gerade neu gegründeten Siemens-Halbleiterfabrik. Die ausschließlich aus westlichen Ländern stammenden Teilnehmer wurden verpflichtet, die Informationen geheim zu halten. Der Kalte Krieg war schon in vollem Gange und die Amerikaner wollten verhindern, dass Informationen über diese zukunftssträchtige Technologie in die Staaten des Ostblocks gelangen. Für interessierte Firmen aus westlichen Ländern hingegen ließ man die Bereitschaft zur Erteilung von Lizenzen erkennen.³ Karl Siebertz erinnerte sich später wie folgt an dieses bedeutsame Symposium:

„Der Impuls, den die Halbleitertechnik durch dieses Symposium weltweit erfahren hat, ist in seiner Auswirkung kaum zu überschätzen, denn allenthalben wurden Halbleiteraktivitäten neu aufgegriffen oder vorhandene Ansätze intensiv ausgebaut.“⁴

Die am Symposium teilnehmenden Delegationen erhielten eine Dokumentation, das sogenannte Transistor-Kochbuch, mit detaillierten technologischen Beschreibungen und zusätzlich auch einige

Muster des Spitzen-Transistors. Wir wissen dies, weil im Jahre 2006 Josef Blieninger, ein ehemaliger Siemens-Mitarbeiter,



Streichholzschachtelfund: Bell-Transistor Typ 1768, Nr. 9 (Foto: Jörg Berkner)

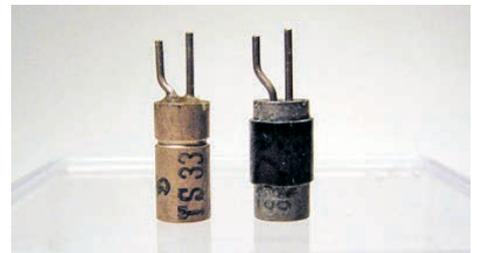
dem Historischen Archiv von Infineon mehrere Schachteln mit alten Siemens-Transistoren übergab. Darunter befand sich auch eine unscheinbare Streichholzschachtel mit einem darin zusammen gefalteten Zettel und einem kleinen Bauelement mit der handschriftlich aufgetragenen Nummer 9. Es handelte sich um einen Spitzentransistor Typ 1768 aus dem Jahre 1952, hergestellt von den Bell-Laboratorien!

Natürlich drängt sich die Frage auf, warum die Bell-Laboratorien sich zu diesem außergewöhnlichen Symposium entschlossen hatten. Aus heutiger Sicht gibt es ja in der Halbleiterindustrie keinen größeren Fehler, als einen einmal errungenen technologischen Vorsprung mit potentiellen Konkurrenten zu teilen. War der kurzfristige Vorteil der mit dem Symposium erzielten Lizenzeinnahmen ausschlaggebend? Oder war vielleicht eine politische Motivation die eigentliche Ursache für die Freigiebigkeit der Amerikaner? Die Weitergabe des Wissens der Bell-Laboratorien über die Transistorherstellung an amerikanische, westeuropäische und japanische Firmen unter Ausschluss des Ostblocks verhalf schließlich der westlichen Welt zu einem enormen technologischen Vorsprung gegenüber dem von der Sowjetunion geführten Ostblock. Oder war es einfach die Einsicht in die Tatsache, dass die Weiterentwicklung einer so epochalen Schlüsseltechnologie eine breite industrielle Basis brauchte, die ein einziges Unternehmen allein nie würde liefern können? ⁵

Sicher spielten all diese Überlegungen eine Rolle. Ausschlaggebend war jedoch ein anderer Faktor - die Anti-Trust-Politik der damaligen amerikanischen Regierung. Bell Telephone Laboratories (BTL) erhielt schon 1949 den ersten staatlichen Auftrag zur Erforschung der Transistortechnologie, dem weitere folgten. In diesen Verträgen wurde die Verpflichtung verankert, die erzielten Forschungsergebnisse kostengünstig an Lizenznehmer weiterzugeben. Die amerikanische Regierung behielt sich weiterhin das Recht vor, die Ergebnisse nach eigenem Ermessen zu verbreiten. Vertraglich wurde auch festgelegt, dass Bell Labs 1951 ein erstes Transistor-Symposium zu organisieren hatte. Der Teilnehmerkreis dieses im September 1951 durchgeführten Symposiums setzte sich vorrangig aus Vertretern militärischer Instituti-

onen und der von ihnen vertraglich gebundenen Herstellerfirmen zusammen. Der amerikanische Staat realisierte auf diese Weise eine Anti-Trust-Politik und sicherte so die Verbreitung des mit staatlichen Mitteln erworbenen Wissens in der amerikanischen Industrie.⁶ Beim nachfolgenden 1952er Symposium wurde dann der Teilnehmerkreis auch auf Westeuropa und Japan erweitert. Auf diese Weise also gelangte Siemens 1952 in den Besitz der neuesten Forschungsergebnisse aus den Bell-Laboratorien und auch einiger Muster von Bell-Transistoren. Die ersten bei Siemens ab 1953 hergestellten Spitzen-Transistoren der Typen TS13 und TS33 ähnelten denn auch den Bell-Transistoren Typ 1768 wie ein Ei dem anderen.

Natürlich musste für das neue Bauelement auch ein möglichst sinnfälliger und allgemein akzeptierter Name gefunden werden. Auf einer Konferenz der Bell-Labs im Jahr 1948 wurden die Begriffe Semiconductor Triode, Surface States Triode, Crystal Triode, Solid Triode, Lotatron und Transistor vorgeschlagen.⁷ Der letzte Begriff entstand als Kunstwort



Siemens-Punktkontakt-Transistor TS33 (links) und Bell-Transistor Nr. 9, Typ 1768 (rechts), die Verwandtschaft der beiden ist nicht zu übersehen. (Foto: Jörg Berkner)

aus den Worten „transconductance“ oder „transfer“ und „varistor“ und hat sich, wie wir heute wissen, bald durchgesetzt. Etwa zur gleichen Zeit kam aus Frankreich aber noch ein anderer Begriff: „Transistron“ nannte man dort den ersten europäischen Transistor. Die Geschichte dieses ersten europäischen Transistors ist wenig bekannt und soll daher hier etwas ausführlicher dargestellt werden.

Zwei deutsche Wissenschaftler in Frankreich

Wenngleich das Transistron aus Frankreich kam, spielten zwei deutsche Wissenschaftler die Hauptrolle bei seiner Entwicklung: Heinrich Welker und Herbert Mataré. 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.

Heinrich Welker untersuchte 1942 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 Wettrüstens auf dem Gebiet der Radartechnik im 2. Weltkrieg besondere Bedeutung.⁸ Daraus resultierte ein Patent, in dem sowohl ein solcher Hochfrequenz-Gleichrichter als auch ein Herstellungsverfahren für das dafür notwendige hochreine Germanium beschrieben wurden.⁹

*Prof. Dr. habil. Heinrich Welker, *9. September 1912, † 25. Dezember 1981.*

Heinrich Welker begann 1931 ein Studium der Mathematik und Physik an der Universität München. 1936 promovierte er, 1939 folgte seine Habilitation. Ab 1940 war er an der Drahtlostelegrafischen und luftelektrischen Versuchsstation Gräfelfing (DVG) und danach im Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen (FFO) mit Ultrakurzwellentechnik befasst. Er entwickelte 1942 einen Germanium-Gleichrichter für den Radar-Empfang. Von 1947 bis 1951 arbeitete er zusammen mit Herbert Mataré in Frankreich an der Entwicklung des Transistors, für den sie im August 1948 gemeinsam ein Patent anmeldeten. 1951 kehrte er nach Deutschland zurück und trat in die Firma Siemens ein. Hier erforschte er die Grundlagen der III-V-Halbleiter.¹⁰

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.¹¹ Basierend auf Welkers Arbeiten wurden bei Siemens bis 1945 etwa 10.000 dieser als „Richtleiter“ bezeichneten Hochfrequenz-Gleichrichter hergestellt und in Funk- und Radarempfangsgeräten eingesetzt.¹²

Im Oktober 1944 musste das Physikalisch-Chemische Institut München aufgrund von Bombenangriffen nach Gauting verlegt



Siemens-Richtleiter aus der Nachkriegsproduktion (Foto: Jörg Berkner)

werden. Welker befasste sich dort wieder mehr mit theoretischen Fragen, insbesondere mit dem ungelösten Problem eines Halbleiterverstärkers. Ergebnis war ein Patent, welches er noch kurz vor Kriegsende

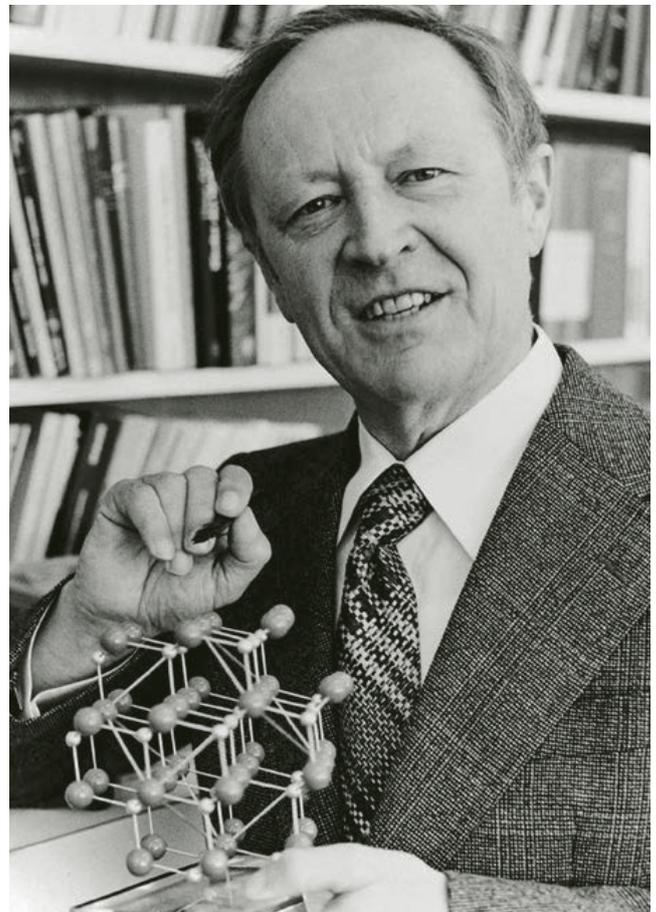
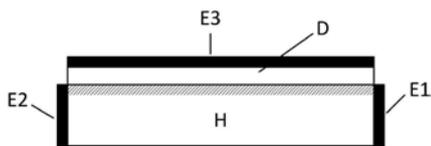


Foto: Siemens Corporate Archives, mit freundlicher Genehmigung

am 6. April 1945 anmeldete.¹³ 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 wurde. 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. 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-Feldeffekt-Transistors (JFET) formuliert. Das Kriegsende verhinderte aber weitere Arbeiten zu diesem Thema.

Nach dem Krieg machte sich Welker zunächst mit einem Ingenieurbüro selbstständig, nahm aber 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.



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.

Herbert Mataré hatte, ähnlich wie Welker, nach Abschluss seines Studiums der Physik ab 1939 auf dem Gebiet der Radartechnik gearbeitet, allerdings nicht bei Siemens, sondern bei der Firma Telefunken in Berlin. Telefunken war während des 2. Weltkrieges ein wichtiger Lieferant von Radargeräten. Mataré untersuchte das Rauschen von Überlagerungsempfängern, die in solchen 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. 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 einem möglichst geringen Abstand an.¹⁴ 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 verfolgen. 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 französi-

Prof. Dr. sc. phys., Dr. Ing. Herbert Mataré, *22. Sept. 1912, † 2. Sept. 2011.

Herbert Mataré begann 1935 ein Studium der Physik an der technischen Hochschule Aachen. Ab 1939 arbeitet er beim Telefunken-Forschungslaboratorium Berlin an der Entwicklung von Hochfrequenzgleichrichtern. 1944 promovierte er. Von 1945 bis 1948 arbeitete er in Frankreich zusammen mit Heinrich Welker an der Entwicklung des Transistors, für den sie im August 1948 gemeinsam ein Patent einreichten. 1951 gründete er die Firma Intermetall.

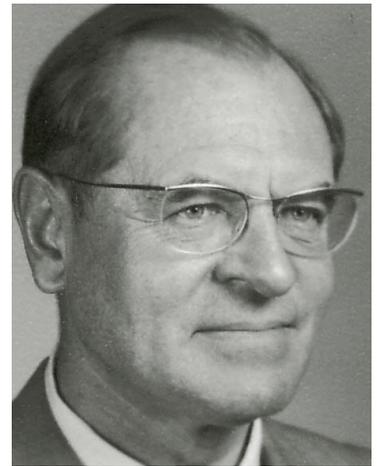


Foto: Wikipedia, veröffentlicht unter Creative Common Licence, GNU-Lizenz für freie Dokumentation

sche 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 viele andere Gebiete der industriellen Forschung und Entwicklung waren von wirtschaftlichem und militärischem Interesse.¹⁵

Die zweite 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 Dioden-Produktion eingerichtet. Im zweiten Stock lagen die Wohnungen der beiden. Drei Mechaniker halfen beim Bau von Messgeräten, sechs Ingenieure waren mit der Messung 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.¹⁶

Nun konnte sich Mataré wieder dem merkwürdigen Interferenz-Effekt zuwenden, den er schon 1944 bei der Messung der Doppeldioden beobachtet hatte. Mit dem jetzt besseren, von Welker hergestellten Germanium-Material konnte der Effekt reproduzierbar gemacht werden: Wenn die erste Sperrschicht in Durchlassrichtung und die zweite in Sperrrichtung gepolt wurde, konnte mit der Spannung an der ersten Sperrschicht der Strom durch die zweite Sperrschicht gesteuert werden – das war der lang gesuchte Transistoreffekt! 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; ihre Patentanmeldung in den USA folgte allerdings erst ein Jahr später im August 1949.¹⁷

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 in die Firma 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.¹⁸

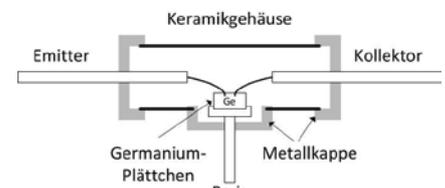
Transistron vs. Bell-Transistor

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 detailliertere 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

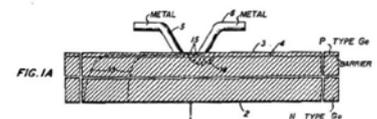


Prinzipieller Aufbau des Transistrons

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.¹⁹

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 Lieben²⁰ und nur ein halbes Jahr später ebenfalls von Lee de Forest²¹ 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.



Der Aufbau des ersten Transistors von Bardeen und Brattain

Fazit

Die Bell-Wissenschaftler Bardeen und Brattain gelten mit Recht weltweit als die Erfinder des Transistors. Zusammen mit Shockley wurden sie dafür 1956 mit dem Nobel-Preis geehrt. Nahezu zeitgleich war aber auch zwei deutschen Wissenschaftlern in französischen Diensten die Entwicklung des lange gesuchten Kristallverstärkers gelungen. Nur wenige Woche nach den Amerikanern meldeten sie ihre Erfindung zum Patent an. Diese vielversprechende europäische Entwicklung wurde allerdings nicht fortgesetzt. Bei der weiteren Entwicklung des Transistors blieben amerikanische Firmen führend. Dem Punktkontakt-Transistor folgten bald der gezogene Flächentransistor, der Legierungstransistor und schließlich der ME-SA-Transistor. Anfang der 60er Jahre gelang es auch endlich die praktischen Probleme mit dem Gateoxid beim Feldeffekt-Transistor zu lösen. Das erste Patent zu einem solchen unipolaren, feldeffektgesteuerten Transistor hatte der deutsche Wissenschaftler Julius Lilienfeld schon drei Jahrzehnte zuvor 1925 angemeldet (s. Meilensteine der Transistorentwicklung). Wichtige technologische Neuerungen bei der

weiteren Transistorentwicklung waren:

- der Übergang von Germanium zu Silizium als Halbleitermaterial,
- die Verwendung der Diffusion zur Herstellung halbleitender Schichten,²²
- die Verwendung von Silizium-Oxid als Maske für den Diffusionsprozess,²³
- die Anwendung der Fotolithografie zur Strukturierung der Oxid-Maske und
- der Planarprozess, in dem Diffusion, Oxidmaske und Fotolithografie kombiniert wurden, um Basis und Emitter eines Transistors zu erzeugen, der dann mit Aluminium-Leitbahnen kontaktiert wurde.²⁴

Diese Verfahren bildeten dann auch die Grundlage für die Entwicklung der ersten integrierten Schaltungen. Der Transistor und darauf aufbauend die integrierte Schaltung wurden nun zur wichtigsten Grundlage der Elektronik und besonders der Informationstechnologie, deren atemberaubende Entwicklung wir bis heute beobachten können.

Wichtige Meilensteine bei der Entwicklung des Transistors

1925 – Julius Lilienfeld schlägt einen Feldeffekt-Kristallverstärker vor (US 1 745 175)

1934 – Oskar Heil meldet ein Patent für einen Feldeffektverstärker an (GB 439 457)

1945 – Heinrich Welker patentiert einen Feldeffekttransistor (DE 980 084B, 6.4.1945)

1948 – Bardeen und Brattain melden den Punktkontakt-Transistor zum Patent an (US 2 524 035, 17.6.1948)

1948 – Shockley patentiert den Flächentransistor (US 2 569 347)

1948 – Patentanmeldung von Welker und Mataré für das Transistron (FR 1 010 427, 13.08.1948)

1960 – Patentanmeldung von Kahng (Bell Labs) für einen Feldeffekttransistor (US 3 102 230)

Fußnoten zum Artikel „70 Jahre Transistor“

¹ Bell-Transistor Lab book, case 38/39-7, p.6 to 11

² US Patent 2 524 035, Three-Electrode Circuit Element utilizing Semiconductor Materials

³ Vgl. dazu Plettner, Abenteuer Elektrotechnik [13], S.186

⁴ Siebertz, Halbleiter revolutionieren die Technik [15], S.12, 13

⁵ Vgl. zu dieser Frage: Jack Morton in „The Improbable Years“, Electronics, 19 February 1968, p.51: „We realized that if this thing was as big as we thought, we couldn't keep it to ourselves and we couldn't make all the technical contributions. It was in our interest to spread it around“.

⁶ Vgl. dazu: Holbrook, Government Support [11]

⁷ Terminology for Semiconductor Triodes - Committee Recommendations, Case 38139-8, May 28, 1948, Bell Telephone. Laboratories

⁸ Zur Geschichte des Hochfrequenzkrieges im 2. Weltkrieg vgl. Johnson, Streng Geheim [12]

⁹ Patent DE 966 387 vom 3.10.1942 von Klaus Clusius, Erich Holz und Heinrich Welker

¹⁰ Feldtkeller, Pioniere [4]

¹¹ Handel, Anfänge [9], S.83

¹² Vgl. dazu Gaudlitz, Historischer Rückblick [6][7][8] und Bosch, Werdegang [1]

¹³ Patentschrift DE 980 084 „Halbleiteranordnung zur kapazitiven Steuerung von Strömen in einem Halbleiterkristall“, angemeldet am 6.4.1945

¹⁴ Handel, Anfänge [9], S.74

¹⁵ Vgl. dazu z.B. Bowers, Verschwörung Paperclip [2] und CIOS-Report XXXI-2 [3]

¹⁶ Van Dormael, French Transistor [17], S.2, 8

¹⁷ Patent FR1 010 427 vom 13.8.1948 sowie US-Patent 2 673 948 vom 11.8.1949, vgl. hierzu auch Riordan, How Europe Missed the Transistor [14] und Bosch, Werdegang [1]

¹⁸ Handel, Anfänge [9], S.190 ff.

¹⁹ Vgl. Patent US 2 524 035 vom 17.6.1948

²⁰ Patent DRP 179 807 vom 4.3.1906

²¹ Patent US 841 387 vom 25.10.1906

²² Vgl. Tanenbaum und Thomas [16]

²³ Vgl. Frosch und Derick [5]

²⁴ Vgl. Patent US 3 025 589 von Jean A. Hoerni (Fairchild), 1.5.1959 sowie Hoerni, Planar Silicon Transistors and Diodes [10]