

Der Transistor : die bedeutsamste Erfindung der modernen Hochfrequenztechnik

Autor(en): **Weihmann, Götz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **8 (1953)**

Heft 1

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-653351>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der TRANSISTOR

Die bedeutsamste Erfindung der modernen Hochfrequenztechnik

Von Dipl.-Ing. Götz Wehmann

DK 621.314.7

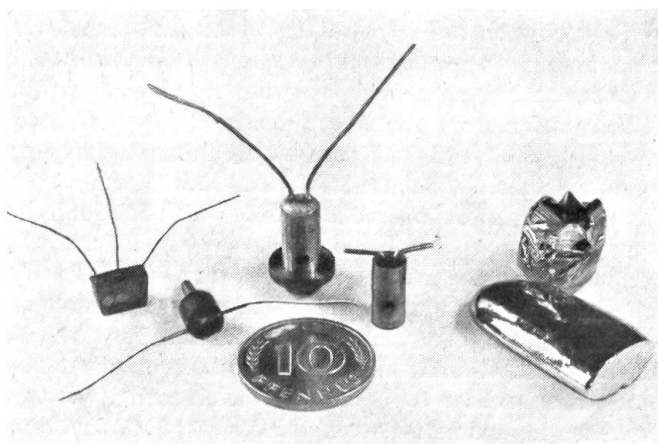
Das neue Element Germanium, das der deutsche Forscher Clemens Winkler am 6. 2. 1886 aus einem bei Freiberg gefundenen Mineral erstmals darstellte, hatte zunächst keinerlei praktische Bedeutung. Allerdings stellte es einen Triumph der wissenschaftlichen Voraussage dar, denn 20 Jahre zuvor hatte der Russe Dimitrij Mendelejeff in seinem „Periodischen System“ der Elemente Lücken dort offen gelassen, wo dies die periodische Aufeinanderfolge der bekannten Elemente geraten erscheinen ließ. In eine dieser Lücken — es war die Stelle Nummer 32 — schrieb er die provisorische Bezeichnung „Eca-Silicium“, das heißt „das ferne, zukünftige Silizium“. Nach seinen Überlegungen mußte es dieses noch unbekannte Element geben. Mit dem „Germanium“ hatte Winkler diese Lücke geschlossen.

Das spärliche Vorkommen des Germaniums ließ es auch keineswegs bedauerlich erscheinen, daß man zunächst keine Verwendung dafür hatte. Erst ein chinesischer Glaschemiker, der dem Glasfluß außer Titanoxyd und Natriumfluorid etwas Germaniumoxyd beimischte und damit Linsen von besonders hohem Lichtbrechungsvermögen herzustellen vermochte, fand die erste Nutzenanwendung dieses Metalles heraus. Später fertigte man aus Germanium Linsen an, die nicht das sichtbare Licht, wohl aber Infrarotstrahlen durchließen; solche Linsen sind für Nachtsichtgeräte wichtig. Dennoch galt bis zum Jahre 1947 das grauweiße Metall als unwichtig. In diesem Jahr aber ging durch die Fachpresse zum erstenmal das Wort

„Transistor“. Es kam aus Amerika, aus den Laboratorien der Bell-Telephongesellschaft. Der Transistor bestünde, so wurde damals verkündet, im wesentlichen aus Germanium und sei berufen, die allbekannte und altbewährte Elektronenröhre abzulösen und der gesamten Hochfrequenztechnik neue Wege zu öffnen.

In seinem äußeren Aufbau stellt der Transistor tatsächlich das einfachste dar, was man sich von einem elektrischen Schaltelement erwarten kann: ein winziges Germaniumplättchen (gewonnen wird es durch Kristallisation aus einer Germaniumschmelze oder aus Germaniumdampf), daran eine Metallplatte und auf der anderen Seite zwei Wolfram- oder Platindrähtchen, das ganze von einer Schutzhülle umgeben und insgesamt kaum so groß wie eine Büroklammer — das ist alles, das ist wirklich alles! Und dennoch kann solch ein winziges Gebilde eine ganze Elektronenröhre, zum Beispiel eine Radoröhre, ersetzen.

Dieser Germaniumkristall mit den beiden ihn berührenden Wolframdrahtspitzen erinnert unwillkürlich an die Anfangszeiten der Rundfunktechnik, als man sich noch mit dem sogenannten Detektor und einem Kopfhörer begnügte. Und in der Tat: dem Detektor und dem Transistor ist manches gemeinsam! Der Detektorkristall — meist aus Silizium, Pyrit, Bleiglanz oder Molybdänglanz bestehend — ist ebenso wie der Germaniumkristall des Transistors ein sogenannter Halbleiter. Man versteht darunter ein Material, das nach entsprechender Vorbereitung den elektrischen Strom nur in einer Richtung durchläßt, in der anderen Richtung aber eine Sperrwirkung ausübt. Wenn man einen solchen Kristall auf der einen Seite mit einer leitenden Metallschicht belegt, so kann Strom nur vom Kristall zum Metall fließen, nicht in umgekehrter Richtung. Ein leitendes Metall ist — um es



Dieses Photo zeigt, wie klein die gebräuchlichen Transistoren-Typen sind (man beachte das als Vergleich dienende 10-Pfennig-Stück, das einen Durchmesser von zirka 20 mm hat!). Rechts sind zwei Germanium-Einkristallstücke, das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Transistoren, zu sehen

(Wiedergabe mit freundlicher Genehmigung des „Umschau“-Verlages, Frankfurt a. M.)

bildhaft auszudrücken — für die Elektrizitäts-träger, die Elektronen, ein wesentlich angenehmerer Aufenthaltsort als ein Halbleitermaterial. Infolgedessen wandern beim Zusammenfügen des Halbleiterkristalls mit dem Metallstück die an der Berührungsfläche befindlichen Elektronen sofort in das Metall ab: es bildet sich im Halbleiter eine elektronenarme, schlecht leitende Randzone, eine „Sperrschicht“:

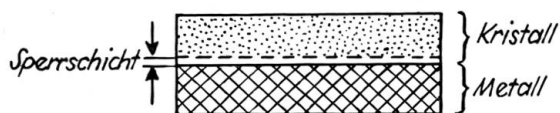


Abb. 1

Zwar ist sie nur den Bruchteil eines tausendstel Millimeters dick, doch ist das für atomare Verhältnisse noch immer eine beachtliche Mauer. Wenn man diese Leiter/Halbleiter-Kombination so in einen Stromkreis bringt, daß die Stromrichtung vom Metall zum Halbleiterkristall führt, so werden wohl einige Elektronen aus dem Halbleiter abgezogen: doch ist der Metallbelag nicht gewillt, Elektronen als Nachschub abzugeben. Die Folge ist eine Vergrößerung, eine Verdickung der Sperrschicht und damit eine Erhöhung ihres an sich schon vorhandenen Widerstandes: Es geht nahezu überhaupt kein Strom hindurch.

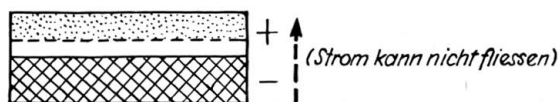


Abb. 2

Polt man nun aber den Strom um, so drängen die Elektronen durch den Halbleiter hindurch nach der Sperrschicht, füllen diese aus und eilen dann über die Berührungsfläche in das Metall hinein. Der Strom kann ungehindert fließen:

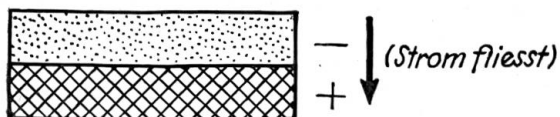


Abb. 3

Mit Abschaltung des Stromkreises bildet sich dann rasch wieder die „stationäre“ Sperrzone, die Ausgangssituation (siehe Abb. 1).

Freilich, jetzt muß noch eine Gedankenlücke geschlossen werden, eine Lücke in der theoretischen Überlegung wie auch in der baulichen Anordnung: Wie bekommt man

denn im Falle der Stromrichtung vom Kristall zum Metall, also im Falle „Stromdurchgang“ die Nachschubelektronen in den Kristall hinein? Zweifellos muß man zu diesem Zweck an irgendeiner Stelle am Kristall noch einen Zuleiter anschließen und der ist ja als echter Leiter wiederum nicht gewillt, Elektronen an den Halbleiter abzugeben! Nun, man hat die Klippe dadurch umgangen, daß man diesen zweiten Anschluß nicht als massive Platte, sondern als eine haarfeine, zart aufgesetzte Spitze ausbildete. Hier kann fast überhaupt keine Sperrschicht entstehen, die Elektronen werden in den Halbleiter gewissermaßen hineingeschossen.

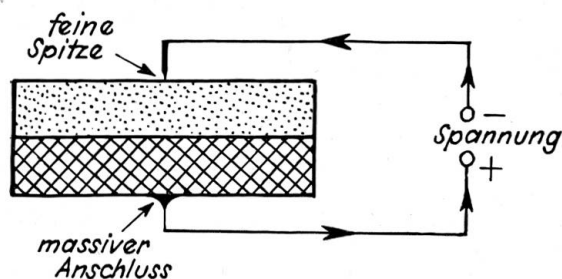


Abb. 4

Und da haben wir unseren guten, alten Rundfunkempfangs-Detektor aus den zwanziger Jahren: den Kristall und den feinen, als federnde Spirale ausgebildeten Kontaktdraht, dessen Spitze möglichst zart aufgesetzt werden mußte, damit man einen guten Empfang hatte!

Solch ein Detektor ist also ein Gleichrichter: Beschickt man seine zwei Pole mit einem Wechselstrom, also mit einem ständig zwischen den beiden Polen hin und her fluktuierenden Strom, so läßt er nur die Halbwellen in der einen Richtung hindurch. Es entsteht ein periodischer Gleichstrom. Die Sperrwirkung auf die „verkehrten“ Stromhalbperioden ist bei modernen Detektoren so groß, daß sie erst von einer Spannung von 1000 Volt durchschlagen werden kann, während die „richtige“ Stromperiode selbst dann hindurchkommt, wenn die Spannung ein einziges Volt beträgt.

Dieser Kristallgleichrichter — wegen der zwei Pole „Kristall-Diode“ genannt — ist für den Rundfunktechniker sozusagen ein altes Möbel, das jedoch im letzten Kriege, gut aufpoliert und modernisiert, wieder in Dienst gestellt wurde — nicht aus Mangel an Gleichrichter r ö h r e n, sondern weil es helfen konnte, wo die Elektronenröhre versagte. Eine Revolution in der Hochfrequenztechnik bahnte sich aber an, als es glückte, den Halbleiterkristall

auch zu einer Verstärker einrichtung auszubauen und so auch der Verstärkerröhre auf den Leib zu rücken. Eine solche Röhre hat beispielsweise die Aufgabe, die mit der Rundfunkantenne aufgefundenen, sehr sehr schwachen elektrischen Schwingungen soweit zu verstärken, daß sie — nach allerlei Veränderungen — schließlich die Lautsprechermembran zum Schwingen bringen können. Sie hat immer mindestens drei Pole, ist mindestens eine „Triode“: die Kathode wird zum Glühen gebracht, wodurch sie einen Strom von Elektronen — negativen elektrischen Teilchen — ausstrahlt; die Anode steht unter positiver Spannung und saugt, da sich ja entgegengesetzte Ladungen anziehen, die negativen Elektronen an sich heran; das Gitter steht mitten in diesem Stromfluß, bereit, ihn wie ein Ventil zu regulieren. Ist es nämlich selbst leicht positiv aufgeladen, so reißt es einen Teil der heranfliegenden Elektronen an sich, und nur ein entsprechend kleinerer Teil kommt bis zur Anode durch: geschwächter Stromfluß ist die Folge. Ist es negativ geladen, so gibt es den von der Anode angesaugten Elektronen hinterrücks noch einen ordentlichen Puff: verstärkter Stromfluß. Um aber jeglichen Elektronenverlust durch Abwanderung ins Gitter zu vermeiden, gibt man diesem eine konstante negative „Vorspannung“; ein nunmehr auf das Gitter geleiteter schwacher Wechselstrom — zum Beispiel der der Empfangsantenne — kann diese negative Ladung verstärken und schwächen, nicht aber ganz auslöschen. Das Gitter kann also den Elektronenstrom beeinflussen, jedoch keine Elektronen an sich reißen.

Entscheidend für solche Röhren ist die Tatsache, daß kleinste Spannungsänderungen sehr erhebliche Änderungen im Elektronenfluß verursachen — daher ja auch der Name „Verstärkerröhren“. Aber sie haben einige grundsätzliche Mängel: Sie nehmen ziemlich viel Platz ein, sind jedenfalls mehrere Zentimeter hoch. Ein guter Teil der aus dem Steckkontakt zugeführten Energie dient lediglich zum Aufheizen der Kathode, nicht eigentlich zur Verstärkung selbst. (Man denke an die Glühbirne, in der in ähnlicher Weise etwa 97% des zugeführten Stromes in Wärme und sonstige unsichtbare Strahlung umgesetzt werden und nur 3% in sichtbares Licht.) Und schließlich ist die Lebensdauer einer Röhre durch Abbrand der Kathode, Nachlassen des Vakuums und andere Ursachen begrenzt. Leicht einzusehen, daß man auch hierbei an den kalt arbei-

tenden, winzig kleinen Halbleiterkristall dachte. Man suchte, forschte, probierte und experimentierte und fand den Transistor. Er unterscheidet sich vom Detektor im wesentlichen nur dadurch, daß sein Kristall nicht aus Bleiglanz oder Silizium besteht, sondern aus Germanium, und daß ihm nicht nur eine, sondern zwei Wolframdrahtspitzen aufgesetzt sind, und zwar in einem Abstand von $\frac{1}{100}$ Millimeter.

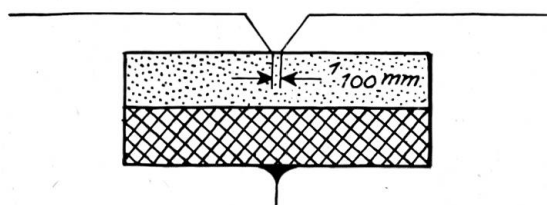


Abb. 5

Einer der beiden Drähte, „der Kollektor“, übernimmt die Funktion der Anode, der andere, der „Emittor“, die des Gitters, die Metallplatte die Funktion der Kathode. Im Gegensatz zum Gitter bei der Verstärkerröhre bekommt hier aber der Emittor eine schwache positive Vorspannung, der Kollektor (im Gegensatz zur Anode) eine hohe negative Spannung.

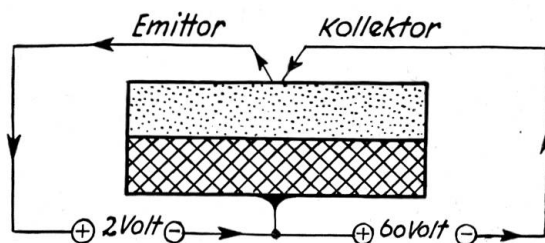


Abb. 6

Nun fließt ein Strom immer vom negativen zum positiven Pol. Im rechten Stromkreis, dem Kollektor- oder Abnehmerkreis, kann er das ungehindert tun, denn seine Richtung geht vom Kristall zum Metall. Aber im linken, im Emittor- oder Steuerkreis? Auch dort fließt ein Strom: Weil nämlich die Kollektorspannung so sehr viel höher ist als die Emittorspannung, schwimmen die Kollektor-Elektronen auch die Sperrschicht am Emittorstromkreis zu, stopfen sie auch dort das sonst unüberbrückbare Loch. Voraussetzung ist allerdings, daß die beiden Wolframspitzen sehr nahe beieinander auf den Kristall aufgesetzt werden.

Will man nun einen solchen Verstärkungs-transistor zum Rundfunkempfang verwenden,

dann prägt man dem Steuerkreisstrom die Schwingungen der Antennenwellen auf. (Das geschieht übrigens, wie bei den Elektronenröhren, nicht durch direkte Zuführung über einen festen Kontakt, sondern durch indirekte Übertragung, durch sogenannte Induktion.) Da die aufgeprägten Schwingungen immer von viel geringerer Spannung sind, als die konstante positive Vorspannung am Emittor, kommt der Steuerstrom niemals ganz zum Erliegen. Die so im Steuerkreis umlaufenden schwachen Schwingungen beeinflussen nun im gleichen Rhythmus auch den Kollektor-Kreis-Strom: er gerät in die gleichen Schwingungen! Ja seine Schwingungen sind sogar viel heftiger als die sie auslösenden Emittorkreis-Schwingungen (etwa 100fach), weil eine ungleich höhere Spannung — sagen wir 60 Volt gegenüber 2 Volt im Emittorkreis — dahintersteht.

Und damit ist das Ziel erreicht: die schwachen Schwingungen des Steuerkreises tauchen im Abnahmekreis verstärkt wieder auf. All dies aber spielt sich in einem Röhrechen von 5 mm Durchmesser und höchstens 20 mm Länge ab — denn größer ist der Transistor nicht. Warum auch, da ja im Gegensatz zur Röhre keine Wärme entsteht, die sich speichern könnte, und da ja die beiden Wolframdrähtchen auf $\frac{1}{1000}$ mm

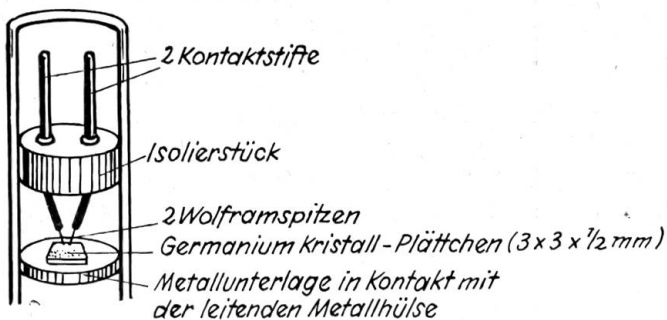


Abb. 8

nahegerückt werden müssen. Der Germaniumkristall selbst mißt nur 3 mm im Quadrat und ist kaum $\frac{1}{2}$ mm dick. Und die Sperrschicht ist sowieso eine Angelegenheit von weniger als $\frac{1}{1000}$ mm.

Das sind die unschätzbaren Vorteile des Transistors: er ist 50mal kleiner als die bisher kleinste Elektronenröhre und nahezu unzerbrechlich, sein Stromverbrauch ist ungleich geringer, weil nichts für Heizungszwecke verlorengeht; und seine Lebensdauer ist nach einer amerikanischen

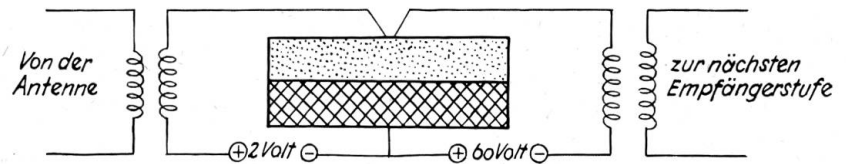


Abb. 7

Meldung 70mal höher anzusetzen als die einer Röhre gleicher Leistung.

Der im Jahre 1951 erfundene „Schicht-Transistor“, bei dem der Germaniumkristall als positiv-elektrisch wirkendes Material zwischen zwei negativ orientierten Folien eingebettet ist, hat die Leistungsfähigkeit der Halbleiter-Triode als Verstärker und als Schwingungserzeuger noch erhöht. Man hat in den USA. einen Kofferröhrenempfänger mit 37 solchen Transistoren gebaut, der alles in allem 11 kg wiegt und dessen Stromverbrauch um 40% niedriger ist als bei einem entsprechenden Röhrengerät. Ein neuer röhrenloser Kofferradio kommt mit fünf kleinen Trockenbatterien aus, die zusammen nicht größer sind als eine gewöhnliche Taschenlampenbatterie; das Gerät wiegt um zwei Drittel weniger als ein gewöhnlicher Empfänger. Weiter denkt man an winzig kleine Scherhörigergeräte und dann natürlich an die dringend notwendige Verkleinerung und Erleichterung der Radargeräte mit ihren Hunderten und der Elektronenrechenautomaten mit ihren Tausenden von Röhren.

Einige Mängel des Transistors konnten allerdings noch nicht behoben werden: er verarbeitet keine großen Leistungen, kann also die Senderröhre nicht — noch nicht! — ablösen. Unangenehm ist ferner das gegenüber der Elektronenröhre stärkere Rauschen.

Mit der Beschaffung der notwendigen Germaniummengen hat man zwar bisher noch keine Sorgen, aber sie sind sehr teuer. In Afrika fand man ein Mineral, Germanit genannt, das bis zu 10% Germanium enthält. Vor allem aber entdeckte man, daß manche Kohlenarten Germanium enthalten. Zwar handelt es sich nur um Bruchteile eines Prozents, doch reichert sich in der Asche das seltene Metall natürlich an und kann dann mehrere Prozent ausmachen. Man beginnt daher jetzt damit, das plötzlich interessant gewordene Element aus Kohlenasche und, neuerdings, auch aus Ruß zu gewinnen.

Einer der wertlosesten Abfallstoffe liefert also der modernen Wirtschaft das Rohmaterial für eine Erfindung, die als die bedeutsamste in der Hochfrequenztechnik seit der Erfindung der Braunschen Röhre gilt.