

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949

(WIGBL. S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM

14. AUGUST 1957

DEUTSCHES PATENTAMT

PATENTSCHRIFT

Nr. 966 492

KLASSE 21g GRUPPE 1102

INTERNAT. KLASSE H 011 —————

p 32044 VIIIc/21gD

John Bardeen, Summit,
und Walter Hauser Brattain, Morristown, N. J. (V. St. A.)
sind als Erfinder genannt worden

Western Electric Company, Incorporated, New York, N. Y. (V. St. A.)

Elektrisch steuerbares Schaltelement aus Halbleitermaterial

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 20. Januar 1949 an

Patentanmeldung bekanntgemacht am 28. Juni 1951

Patenterteilung bekanntgemacht am 1. August 1957

Die Priorität der Anmeldungen in den V. St. v. Amerika vom 26. Februar und 17. Juni 1948

ist in Anspruch genommen

Die Erfindung bezieht sich auf ein elektrisch steuerbares Schaltelement aus Halbleitermaterial. Es ist das Ziel der Erfindung, mit Hilfe eines derartigen Schaltelementes in einer neuen Art und Weise Verstärkungen durchzuführen, Schwingungen zu erzeugen und ähnliche Vorgänge zu verwirklichen.

Es sind bereits Versuche gemacht worden, feste Gleichrichter, welche Selen, Kupfersulfid oder andere Halbleitermaterialien benutzen, in Verstärker zu verwandeln unter Zuhilfenahme des Kunstgriffs, eine gitterähnliche Elektrode in einer dielektrischen Schicht einzubetten, welche zwischen der Kathode und der Anode des Gleichrichters an-

geordnet ist. Man nimmt an, daß das Gitter dadurch, daß es eine Feldwirkung an der Oberfläche der Kathode ausübt, deren Emission beeinflusst und auf diese Weise den Kathoden-Anoden-Strom ändert. Es ist dazu notwendig, ein Gitter in eine Schicht einzubetten, welche so dick ist, daß sie das Gitter von den anderen Elektroden isoliert, und trotzdem so dünn ist, daß sie Stromfluß zwischen ihnen gestattet.

Es wurde auch bereits vorgeschlagen, einen Strom von einem Ende zum anderen Ende eines Streifens aus isotropem Halbleitermaterial fließen zu lassen und durch das Anlegen eines starken transversalen elektrostatischen Feldes den Wider-

stand des Streifens und dadurch den durchfließenden Strom zu steuern.

Soweit bekannt ist, können diese früheren Vorschläge in der für eine Verstärkung erforderlichen Feinheit nicht verwirklicht werden. Auf jeden Fall scheinen sie keinen praktischen Erfolg gehabt zu haben.

Bekanntlich gibt es in Halbleitern zwei Arten von Elektrizitätsträgern, welche sich in den Vorzeichen der wirksamen beweglichen Ladungen unterscheiden. Die negativen Träger sind überschüssige Elektronen, welche frei beweglich sind, und werden mit dem Ausdruck »Leitungselektronen« oder einfach »Elektronen« bezeichnet. Die positiven Träger sind »Fehl- oder Defekt-Elektronen« und werden mit »Löcher« bezeichnet. Die Leitfähigkeit eines Halbleiters wird als Überschuß- oder Ersatzleitung bzw. n-Typ oder p-Typ bezeichnet, das hängt davon ab, ob die beweglichen Ladungen, welche normalerweise im Überschuß in dem Material unter Gleichgewichtsbedingungen vorhanden sind, Elektronen (negative Träger) oder Löcher (positive Träger) sind.

Wenn eine Metallelektrode in Kontakt mit einem Halbleiter gebracht wird und eine Potentialdifferenz über die Verbindung angelegt wird, hängt die Größe des durchfließenden Stromes oft sowohl von dem Vorzeichen als auch von der Größe des Potentials ab. Eine Verbindung dieser Art wird »Gleichrichter-Kontakt« genannt. Wenn der Kontakt mit einem n-Typ-Halbleiter gemacht wird, ist die Vorzugsstromflußrichtung diejenige, bei welcher der Halbleiter mit Bezug auf die Elektrode negativ ist. Bei einem p-Typ-Halbleiter ist die Vorzugsstromflußrichtung diejenige, bei welcher der Halbleiter positiv ist. Ein ähnlicher Gleichrichter-Kontakt besteht an der Grenze zwischen zwei Halbleitern von entgegengesetztem Leitungstyp. Diese Grenze kann zwei Halbleitermaterialien von verschiedenen Beschaffenheiten trennen, oder sie kann nur Zonen oder Gebiete in einem aus dem gleichen Grundmaterial bestehenden Halbleiterkörper trennen, wobei die Gebiete verschiedene Leitfähigkeitscharakteristiken aufweisen.

Die Erfindung macht zur Verwirklichung einer Verstärkung von Halbleitergleichrichtern Gebrauch. Die Erfindung bezieht sich auf ein elektrisch steuerbares Schaltelement, welches aus einem Halbleiterelement und drei daran angebrachten Elektrodenanschlüssen besteht.

Die Besonderheit der Erfindung besteht im Gegensatz zu den bekannten elektrisch steuerbaren Schaltelementen darin, daß an einem Halbleiter wie Germanium oder Silizium einerseits eine Basis- elektrode und andererseits zwei je mit der Basis- elektrode eine gleichrichtende Wirkung ergebende Elektroden angeordnet sind und daß jede dieser Elektroden in einem zur Ausdehnung der gemeinsamen Oberflächenschicht kleinen Bereich Kontakt macht und sie so angeordnet sind, daß bei einer Vorspannung der einen Elektrode (Emitter) mit Bezug auf die Basis in Flußrichtung und der anderen Elektrode (Kollektor) mit Bezug auf die Basis

in Sperrichtung durch den Emitter Ladungsträger, deren Vorzeichen demjenigen der in dem Gebiet der Basiselektrode vorhandenen Ladungsträger entgegengesetzt ist, in das Gebiet der Basiselektrode eingeführt werden und wenigstens zum Teil zu dem Kollektor fließen.

Beim Fehlen eines Emitterstromes kommt der zu dem Kollektor fließende Strom ausschließlich von der Basiselektrode und wird durch den hohen Widerstand dieses Kollektorkontaktes behindert. Das Vorzeichen des Kollektorsvorspannungspotentials ist derart, daß es die Träger von entgegengesetztem Vorzeichen, welche bei Betrieb von dem Emitter kommen, anzieht. Der Kollektor ist mit Bezug auf den Emitter so angeordnet, daß ein großer Teil des Emitterstromes zu dem Kollektor gelangt. Der Teilstrom hängt teils von der geometrischen Anordnung ab und teils von den angelegten Vorspannungspotentialen. Da der Emitter in der Richtung leichten Stromflusses vorgespannt ist, ist der Emitterstrom von kleinen Potentialänderungen zwischen dem Emitter und der Basis abhängig.

Das Anlegen einer kleinen Spannungsänderung zwischen Basis und Emitter hat eine relativ große Änderung des Stromes zur Folge, welcher von dem Emitter in den Halbleiter eintritt, und dementsprechend eine große Änderung des zu dem Kollektor fließenden Stromes. Eine auf der Änderung des Emitterstromes beruhende Wirkung besteht darin, daß der zu dem Kollektor fließende Gesamtstrom geändert wird, so daß die Gesamtänderung des Kollektorstromes größer sein kann als die Änderung des Emitterstromes. Der Kollektorkreis kann eine Belastung von hoher, an den inneren Widerstand des Kollektors angepaßter Impedanz enthalten. Der innere Widerstand des Kollektors ist groß, da er in Sperrichtung vorgespannt ist. Infolgedessen werden Spannungsverstärkung, Stromverstärkung und Leistungsverstärkung des Eingangssignals erhalten.

Nach ihrem äußeren Verhalten und ihrer Anwendung hat die Vorrichtung nach der Erfindung eine Ähnlichkeit mit einer Vakuum-Dreipolröhre. Die als Emitter-, Kollektor- und Basiselektrode bezeichneten Elektroden können außen in verschiedener Art und Weise zusammengeschaltet werden, wie es sich für Trioden als vorteilhaft erwiesen hat, z. B. in der üblichen Weise, mit »geerdetem Gitter« oder mit »geerdeter Anode« (»Kathodenverstärker«) u. dgl. Tatsächlich ergab sich die der Erfindung zugrunde liegende Erkenntnis zuerst in Verbindung mit Schaltungen, welche den sogenannten gittergeerdeten Verstärkerröhrenschaltungen sehr ähnlich sind. Die Analogie bezüglich der Schaltungen geht natürlich nicht weiter als die Analogie zwischen Emitter und Kathode, Basis und Gitter, Kollektor und Anode.

Durch in richtiger Phase erfolgende Rückkopplung eines Teiles der Ausgangsspannung zu den Eingangsklemmen kann man die Vorrichtung zum Schwingen bringen, und zwar bei einer Frequenz, welche durch die äußeren Schaltelemente bestimmt wird.

Um das Verständnis der Erfindung zu erleichtern, wird im folgenden an Hand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel näher beschrieben. In der Zeichnung zeigt

5 Fig. 1 ein schematisches, teilweise perspektivisches Schaubild, welches eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeigt,

Fig. 1 a einen Teil der Fig. 1 in Querschnitt unter Anwendung eines größeren Maßstabs,

10 Fig. 2 die der Fig. 1 äquivalente Vakuumröhrenschaltung,

Fig. 3 eine Draufsicht auf den Block nach Fig. 1, welche die Anordnung der Elektroden zeigt,

15 Fig. 3 a eine der Fig. 3 entsprechende Darstellung, welche den Einfluß des Kollektors bei der Steuerung des Emitterstromes erkennen läßt,

Fig. 4, 5, 6 und 7 Elektrodenanordnungen, die von Fig. 1 abweichen,

20 Fig. 8 und 9 von Fig. 1 abweichende Elektrodenkonstruktionen,

Fig. 10 eine geänderte Einheit nach der Erfindung, die in der bei einer Triode üblichen Art geschaltet ist,

25 Fig. 11 eine andere Einheit der Erfindung, die für den Betrieb in einem Kreis mit geerdeter Anode (Kathodenverstärker) geschaltet ist,

Fig. 12 eine Einheit nach der Erfindung, die für die Erzeugung ungedämpfter eigenerregter Schwingungen geschaltet ist.

30 Es hat sich gezeigt, daß das Verhalten einer Vorrichtung der dargestellten Art in guter Annäherung durch folgende funktionellen Beziehungen ausgedrückt werden kann:

$$35 \quad I_e = f(V_e + R_F I_c) \quad (1)$$

$$I_c = I_c^0(V_c) + a I_e \quad (1a)$$

Hierin bedeutet

40 I_e = Emitterstrom

I_c = Kollektorstrom

$I_c^0(V_c)$ = Kollektorstrom bei abgetrenntem Emitter,

45 V_e = Spannung der Emittierelektrode mit Bezug auf die Basiselektrode,

V_c = Spannung der Kollektorelektrode mit Bezug auf die Basiselektrode,

50 R_F = ein von der Vorspannung unabhängiger Ersatzwiderstand,

a = ist ein numerischer Faktor, der von den Vorspannungen abhängt, und

55 $f(V_e)$ = die Beziehung zwischen Emitterstrom und Emitterspannung bei offenem Kollektorkreis.

60 Aus der Gleichung (1) geht hervor, daß der Kollektorstrom das Potential der Oberfläche des Blockes in der Nähe des Emitters relativ zur Basiselektrode um einen Betrag $R_F I_c$ erniedrigt und so die effektive Vorspannung an dem Emitter um

denselben Betrag vergrößert. Der Ausdruck $R_F I_c$ gibt somit die positive Rückkopplung an. 65

Die Materialien, mit welchen sich die Erfindung befaßt, sind solche Halbleiter, deren elektrische Charakteristiken in großem Maße abhängig sind von dem Einschluß von sehr kleinen Beträgen von bezeichnenden Verunreinigungen. Der Ausdruck 70 »bezeichnende Verunreinigungen« wird hier gebraucht, um solche Verunreinigungen zu bezeichnen, welche auf die elektrischen Charakteristiken des Materials, z. B. dessen spezifischen Widerstand, Photoempfindlichkeit, Gleichrichtung und ähnliches, 75 einwirken zum Unterschied von anderen Verunreinigungen, welche keinen sichtbaren Effekt auf diese Charakteristiken haben. Der Ausdruck »Verunreinigungen« soll sowohl absichtlich zugegebene Bestandteile als auch Bestandteile umfassen, welche 80 in dem Ausgangsmaterial, wie es in der Natur gefunden wird oder im Handel erhältlich ist, enthalten sind. Germanium ist ein solches Material, welches zusammen mit einigen typischen Verunreinigungen für die Erläuterung der Erfindung 85 dienlich ist, Silizium ist ein anderes Material dieser Art.

Kleine Beträge von Verunreinigungen bis beispielsweise 0,1%, gewöhnlich von höherer Valenz als das Halbleitergrundmaterial, z. B. Phosphor in Silizium, Antimon und Arsen in Germanium, werden als »Geber-Verunreinigungen« (»Donator«) bezeichnet, weil sie zu der Leitfähigkeit des Grundmaterials beitragen, indem sie Elektronen an das ungefüllte »Leitungs-Energieband« in dem Grundmaterial abgeben. In einem solchen Fall stellen die abgegebenen negativen Elektronen Stromträger dar, und man bezeichnet das Material und seine Leitfähigkeit als n-Typ. Ähnliche kleine Beträge von Verunreinigungen, gewöhnlich von niedrigerer 100 Valenz als das Grundmaterial, z. B. Bor in Silizium oder Aluminium in Germanium, werden »Nehmer-Verunreinigungen« (»Akzeptor«) genannt, weil sie zu der Leitfähigkeit durch »Annehmen« von Elektronen von den Atomen des Grundmaterials in dem gefüllten Band beitragen. Solch ein Annehmen läßt eine Lücke oder »Loch« in dem gefüllten Band zurück; durch Elektronenaustausch von Atom zu Atom bewegen sich diese positiven Löcher effektiv und bilden die Stromträger, und man bezeichnet das Material und seine Leitfähigkeit als p-Typ. 110

Es ist bekannt, wie man durch Steuerung der Verteilung von Verunreinigungen einen Block aus Silizium herstellt, dessen Hauptkörper von einem Leitfähigkeitstyp ist, während eine dünne Oberflächenschicht, welche von dem Hauptkörper durch eine hochohmige Sperrschicht getrennt ist, den anderen Leitfähigkeitstyp besitzt. In diesem Falle wird angenommen, daß es sich um eine Schicht 120 handelt, die auf dem Vorhandensein bezeichnender Verunreinigungen beruht. Eine derartige Schicht soll als »chemische Schicht« bezeichnet werden.

Im Gegensatz dazu sollen die Ausdrücke »physikalische Schicht« und die damit verbundene 125 »physikalische Sperrschicht« sich auf eine Schicht

von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp nächst der Oberfläche und die hochohmige Sperrschicht beziehen, welche beide als ein Ergebnis von Oberflächenbedingungen bestehen und nicht als Ergebnis einer verschiedenen Natur oder Konzentration von bezeichnenden Verunreinigungen. Derartige »physikalische Schichten« sind ebenfalls bekannt.

Sowohl physikalische als auch chemische Schichten sind für die Erfindung geeignet.

Vorzugsweise wird die Erfindung in Verbindung mit solchem Material beschrieben, welches so behandelt war, daß eine hohe Sperrspannung erreicht werden konnte, wenn es in einem Spitzkontaktgleichrichter benutzt wurde. Als derartiges Material hat sich Germanium vom n-Typ erwiesen, bei welchem eine Sperrspannung in der Größe von 100 bis 200 Volt erhalten wurde.

Ein geeignet hergestelltes Stück dieses Materials wird zur erfindungsgemäßen Verwendung in Blöcke von etwa 6 mm Durchmesser und 1 mm Dicke geschnitten. Der Block wird dann an beiden Seiten eben geschliffen. Dann wird er 1 Minute lang geätzt. Die Ätzlösung kann aus 10 ccm konzentrierter Salpetersäure, 10 ccm handelsüblicher 50%iger Flußsäure und 5 ccm Wasser bestehen, in welcher eine kleine Menge, z. B. 0,2 g Kupfernitrat aufgelöst worden ist. Diese Ätzbehandlung befähigt den Block, höheren (Gleichrichter-) Sperrspannungen zu widerstehen.

Danach wird eine Seite des Blockes nach bekannten Methoden mit einem Überzug von Metall, z. B. Kupfer oder Gold, versehen, welcher einen elektrischen Kontakt von niedrigem Widerstand darstellt. Zur Beseitigung einer Verunreinigung der anderen (nichtplattierten) Seite des Blockes, welche während des Plattierungsprozesses aufgetreten sein kann, wird die nichtplattierte Seite einem erneuten Ätzprozeß unterworfen.

Dem Block kann nun eine anodische Oxydationsbehandlung gegeben werden, z. B. mit polymerisiertem Glycolborat oder mit einem anderen, vorzugsweise viskosen Elektrolyt, in welchem Germaniumdioxid unlöslich ist. Danach wird der Block mit warmem Wasser saubergewaschen und mit feinem Papiergewebe getrocknet, gefolgt von einer geeigneten Endtrocknung. Wenn Flecken-
elektroden, wie später beschrieben, auf der oberen Oberfläche verlangt werden, können sie im Laufe des Endtrocknungsprozesses aufgedampft werden.

Der vorangehende Oxydationsprozeß ist jedoch nicht wesentlich. Verstärkung wurde mit Mustern erhalten, bei welchen im Anschluß an die Ätzbehandlung keine andere Oberflächenbehandlung Anwendung gefunden hat als die weiter unten beschriebene elektrische Formierung.

Fig. 1 zeigt einen Block 1 aus Germanium, welcher in der vorangehenden Weise behandelt wurde, und Fig. 1a zeigt den mittleren Teil des Blockes 1 im Schnitt und in einem vergrößerten Maßstab. In Fig. 1 und 1a ist der untere Teil des Blockes 1, dessen Oberfläche mit dem Metallfilm 2 plattiert ist, welcher als Basiselektrode dient, als n-Typ bekannt. Die dünne Schicht 3 an der oberen

Oberfläche ist vom p-Typ, in welchem Falle bekanntlich die Grenzschicht 4, welche diese p-Typ-Schicht von dem n-Typ-Material des Hauptkörpers des Blockes trennt, sich wie eine hochohmige gleichrichtende Sperrschicht verhält. Eine erste, in an sich bekannter Weise als Spitzenelektrode ausgeführte Elektrode 5, die Emittierelektrode, macht mit der Oberseite des Blockes Kontakt, d. h. mit der p-Typ-Schicht 3, und zwar zweckmäßig in deren Mitte oder wenigstens mehrere Spitzendurchmesser von der nächsten Kante entfernt. Dieser Kontakt kann aus einem gebogenen Draht aus federndem Material von 0,01 bis 0,1 mm im Durchmesser bestehen, welcher vorzugsweise an der Kontaktstelle angespitzt ist, und zwar elektrolitisch oder durch Schleifen. Die Drahtspitze wird in Kontakt mit der Oberseite 3 des Blockes mit einer Kraft von 1 bis 10 g in Kontakt gebracht, wodurch ein Kaltfluß des die Spitze bildenden Metalls stattfindet, der das Metall befähigt, sich jeder kleinsten Unregelmäßigkeit der Blockoberfläche anzupassen. Zu diesem Zweck sollte der Draht der Spitze weich sein im Vergleich mit dem Blockmaterial. Wolfram, Kupfer und Phosphorbronze sind Beispiele von geeigneten Materialien.

Eine zweite Elektrode 6, die Kollektorelektrode, macht mit der Oberseite 3 des Blockes an einer Stelle Kontakt, die nahe an der Emittierelektrode 5 liegt. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn der längs der Blockoberfläche gemessene Abstand zwischen der Kollektorelektrode und der Emittierelektrode zwischen 0,01 bis 0,1 mm beträgt. Diese Elektrode 6 kann wie die Elektrode 5 aus einem zugespitzten Federdraht bestehen, der so geformt und angeordnet ist, wie es weiter oben mit Bezug auf die Emittierelektrode 5 beschrieben wurde. Sie kann aber auch aus einem kleinen Metallfleck, z. B. Gold, bestehen, welcher durch Verdampfung auf der Oberseite des Blockes während des abschließenden Trockenvorgangs aufgebracht wurde und durch welchen ein zentrales Loch gebohrt wurde (Fig. 6) oder durch welchen hindurch ein diametraler Schlitz geschnitten wurde (Fig. 7). Eine dritte Verbindung wird beispielsweise durch Anlöten an dem die Basiselektrode darstellenden Metallfilm 2 angebracht, welcher auf die Unterseite des Blockes 1 aufplattiert wurde. Auf Grund der gleichrichtenden Sperrschicht ist erkennbar, daß sowohl der Emitter als auch der Kollektor mit der Basis Gleichrichter bilden.

Wenn auch die Einheit nunmehr gebrauchsfertig ist, so läßt sich ihre Arbeitsweise allgemein mit Hilfe eines elektrischen Formierungsprozesses verbessern, wobei ein die Spitzensperrspannung überschreitendes Potential an eine oder beide Spitzenelektroden 5, 6 angelegt wird, d. h. zwischen einer oder beiden dieser Elektroden und der Basiselektrode 2. Die Einheit wird vor Beschädigungen durch starke Ströme durch Reihenschaltung eines Widerstandes geschützt. Die Wirkung des Formierungsprozesses scheint darauf zu beruhen, daß an das Material in unmittelbarer Nähe der Spitze ein konzentriertes elektrisches Feld unter konzen-

trierter Erwärmung angelegt wird. Beide Einwirkungen haben eine Verbesserung der elektrischen Charakteristik des Kontaktes zur Folge.

Vorspannungen werden jetzt an die Elektroden angelegt, und zwar eine kleine, gewöhnlich positive Vorspannung in der Größenordnung eines Bruchteiles eines Volts an den Emitter und eine größere negative Vorspannung, die gewöhnlich in dem Bereich von -5 bis -50 Volt liegt, an den Kollektor; in jedem Falle wird diese Spannung zwischen dem Körper des Blockes und der Spitzenelektrode gemessen. Diese Vorspannungspotentiale können von den Batterien 7, 8 erhalten werden, welche entsprechend der Darstellung oder auch anders angeschlossen werden können.

Eine Belastung von 1000 bis 100 000 Ohm kann nunmehr an dem Kollektorkreis angeschlossen werden, beispielsweise mit Hilfe eines Ausgangsübertragers 9; das zu verstärkende Signal kann zwischen der Emitter- und der Basiselektrode, z. B. mittels eines Eingangsübertragers 10 angelegt werden. Oder die Anschlüsse können nach Art

einer Triode entsprechend Fig. 10 erfolgen oder nach Art der sogenannten anodengeerdeten Kathodenverstärkerschaltung entsprechend Fig. 11. In diesen Figuren wird das Eingangssignal symbolisch durch eine Quelle 11 dargestellt und die Belastung durch einen Ausgangswiderstand R_L . Die Feststellung der verstärkenden Eigenschaften der Anordnung wurde jedoch mit der Schaltung von Fig. 1 mit der geerdeten Basiselektrode gemacht, deren Vakuumröhrengestück die sogenannte »gittergeerdete« Schaltung von Fig. 2 ist.

Das grundsätzliche Unterscheidungsmerkmal dieser Schaltung im Vergleich zu einer Vakuumröhrentriode besteht darin, daß in der letzteren der Belastungsstrom durch die Quelle fließt. Dieses gilt nicht für die Einheit nach vorliegender Erfindung, weil die Basiselektrode wesentlichen Strom führen kann. Die Vorrichtung hat in dieser Schaltung Leistungsverstärkungen bis zu einem Faktor über 75 gegeben. Die Arbeitsdaten von drei verschiedenen Mustern sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

	Muster-Nummer			
	1	2	3	
Eingangswiderstand (Ohm)	640	500	1000	90
Ausgangswiderstand (Ohm)	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	
Eingangsspannung (Volt)	0,29	0,30	0,10	
Ausgangsspannung (Volt)	18	15	3,6	
Spannungsverstärkung	62	50	36	95
Eingangsleistung (Watt)	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-5}$	
Ausgangsleistung (Watt)	$100 \cdot 10^{-4}$	$75 \cdot 10^{-4}$	$42,5 \cdot 10^{-5}$	
Leistungsverstärkung	80	42	36	
Eingangsvorspannung (Volt)				
Gleichspannung	+ 0,2	+ 0,25	+ 0,2	100
Ausgangsvorspannung (Volt)				
Gleichspannung	-40	-20	-10	

Eine Bestätigung für das Bestehen einer Leistungsverstärkung ergab sich auch aus der Rückkopplung eines Teiles der Ausgangsspannung auf den Eingangskreis, z. B. aus der Kopplung zwischen den Wicklungen eines Transformators 12 gemäß Fig. 12, die eine ungedämpfte eigenerregte Schwingung zur Folge hatte.

Es ist zu bemerken, daß in dem Falle des Musters Nr. 1 der obigen Tabelle die Leistungsverstärkung größer ist als die Spannungsverstärkung, und zwar um einen Faktor 80/62 oder 1,3. Da in jeder Verstärkungsanordnung, welche sowohl Leistungsverstärkung als auch Spannungsverstärkung liefert, die Stromverstärkung dem Quotient aus den beiden anderen Verstärkungen entspricht, ist ersichtlich, daß das Muster Nr. 1 eine Stromverstärkung von 1,3 liefert.

Experimentelle Messungen haben ergeben, daß, wenn eine kleine positive Vorspannung an den Emitter angelegt wird und Strom in den Halbleiterkörper fließt, die Stromträger mit denjenigen, der Oberflächenschicht übereinstimmen, d. h. aus Löchern und nicht aus Elektronen bestehen,

Außerdem hat es sich gezeigt, daß die Konzentration dieser Löcher und damit die Leitfähigkeit in der Nähe der Emitterspitze mit größer werdendem Vorwärtsstrom zunehmen.

Dieser Lochstrom breitet sich in allen Richtungen von der Emittierelektrode 5 aus, bevor er die hochohmige Sperrschicht 4 durchquert. Bei geöffnetem Kollektorkreis nimmt er dann seinen Weg durch den Körper des Blockes zu der plattierten Unterseite 2. In dem n-Typ-Körper des Blockes kann der Strom die Form eines aufwärts gerichteten Elektronenflusses annehmen, um den abwärts gerichteten Löcherfluß von der p-Typ-Schicht aus zu neutralisieren. Beim Fehlen der Kollektorelektrode 6 ist dieser Strom der einzige Strom. Sein Weg ist in Fig. 1a durch Stromlinien 13 angegeben. Wenn nunmehr der Kollektorkontakt 6 hergestellt und ein negatives Vorspannungspotential in der Größe von -5 bis -50 Volt angelegt wird, erscheint ein starkes elektrostatisches Feld über der p-Typ-Schicht 3 und über die hochohmige Sperrschicht 4, welches durch die fixierten positiven Ladungen in dem n-Typ-Körpermaterial in

der unmittelbaren Nähe des Kollektors aufrecht-
erhalten wird. Die Sperrschicht und die p-Typ-
Schicht zusammen haben annahmeweise eine Dicke
in der Größenordnung von 10^{-4} cm. Somit be-
trägt bei 10 Volt und einem Abstand von 10^{-4} cm
die Durchschnittsstärke dieses Feldes etwa 10^5 Volt
pro cm. Die Feldstärke ist am Kollektor am
größten und breitet sich nach allen Richtungen
von dem Kollektor aus. In Fig. 1a ist sie durch
die gestrichelte Linie 14 gekennzeichnet, in welcher
einige der fixierten positiven Ladungen durch
Pluszeichen angedeutet sind.

Damit das Material imstande ist, einen großen
Spannungsabfall über dieses Gebiet aufrecht-
zuerhalten, wird Material, welches hohe Sperr-
spannungen ermöglicht, vorgezogen. Wenn nun der
Strom der positiven Löcher, wie durch die Strom-
linien 15 gezeigt, in den Einfluß dieses Feldes
kommt, werden die Löcher in die Gegend des
niedrigsten Potentials angezogen, nämlich zu dem
Punkt, an welchem die Kollektorelektrode 6 mit
der Schicht 3 Kontakt macht. Da werden sie durch
den Kollektor abgenommen, um als Strom in einem
äußeren Belastungskreis 8, 9, der mit der Kolle-
ktorelektrode 6 verbunden ist, zu erscheinen. Mit
der großen negativen Vorspannung an dem Kolle-
ktor verursacht eine Änderung von mehreren Volt
an dem Kollektor eine sehr kleine Differenz in
der Stärke oder der Ausdehnung des Feldes,
welches den Kollektor umgibt, und hat daher nur
einen sekundären Einfluß auf den Teil des Emitt-
erstromes, welcher von dem Kollektor aufgefangen
wird. Mit anderen Worten, der Kollektor arbeitet
unter Bedingungen, welche nahe der Sättigung
sind, und die Wechselstromimpedanz des Kollektor-
kreises ist hoch. Wie in der vorher aufgestellten
Tabelle gezeigt, wurde sie auf Werte zwischen
10 000 und 100 000 Ohm gemessen. Für maximale
Ausgangsleistung soll die äußere Belastungsimp-
edanz an die innere Impedanz des Kollektors an-
gepaßt werden. Andererseits bewirkt eine Span-
nungsänderung zwischen der Emittierelektrode 5
und der Basiselktrode 2, um einen kleinen Bruch-
teil eines Voltes, z. B. durch ein Signal, welches
an die Eingangsklemmen angelegt und so den Elek-
troden aufgezwungen wird, z. B. mittels des Trans-
formators 10, eine große Änderung des Emitt-
erstromes und daher auch des Kollektorstromes.
Demgemäß erscheint eine verstärkte Nachbildung
der Eingangssignalspannung an dem Belastungs-
widerstand.

Wie in Fig. 1a gezeigt, ist das Gebiet des Kon-
taktes einer jeden der beiden Elektrodenspitzen
mit der Blockoberfläche im Vergleich zu der
Schichtdicke groß. Dadurch wird der wirksame
Kontaktwiderstand im Vergleich zu dem Wider-
stand, der dem in der Oberflächenschicht fließenden
Strom entgegenwirkt, d. h. im Vergleich zu dem
seitlichen Ausbreitungswiderstand der Schicht ver-
ringert. Ein Teil des Emittierstromes findet, nach-
dem er sich seitlich in der p-Typ-Schicht ausgebrei-
tet hat, möglicherweise seinen Weg durch die
Sperrschicht 4 zu der plattierten Elektrode 2 auf

der unteren Fläche des Blockes, d. h. zur Basis-
elktrode. Von dem Teil des Emittierstromes, wel-
cher die Sperrschicht durchquert, wird ein gewisser
Anteil die Sperrschicht in der Nähe des Kollektors
erneut durchqueren und gesammelt werden, so daß
er die Basiselktrode nicht erreicht, sondern nun
Teil des Kollektorstromes wird. Der Kollektor-
strom enthält noch eine andere Komponente, welche
aus einem Elektronenfluß vom Kollektor zur Basis
besteht, welcher die Sperrschicht einmal auf seinem
Wege durchquert.

Diese Stromkomponente kann am Verstärkungs-
prozeß teilnehmen, soweit sie von dem Emitt-
erstrom beeinflußt wird.

Die Situation ist in Fig. 3 gezeichnet, welche
eine Draufsicht des Blockes wiedergibt, welche die
Stromlinien 13 zeigt, wie sie in allen Richtungen
vom Emitter aus auseinandergehen. Die Strömungs-
linien 13 des Stromes sind gerade beim Fehlen des
Kollektorfeldes. Wenn ein Kollektorfeld 14 besteht,
wird das Stromfeld, wie in Fig. 3a, verzerrt; diese
Figur läßt erkennen, daß selbst bei einer Kollektor-
elktrode 6 mehr als die Hälfte des Emittierstromes
gesammelt wird. Tatsächlich kann der Teil des
Emittierstromes, welcher den Kollektor erreicht, in
günstigen Fällen bis zu 90% betragen.

Um dieses Verhältnis besonders im Fall von
Einheiten, in welchen dieses Verhältnis weniger
günstig ist, zu vergrößern, ist eine abgeänderte
Elektrodenanordnung erforderlich. Wenn das
starke Feld 14, welches die Kollektorelektrode 6
umgibt, die Emittierelektrode 5 zu überlappen bzw.
einzuschließen hätte, würde offensichtlich der
ganze Emittierstrom von der Kollektorelektrode
aufgefangen werden. Dadurch würde aber die
Steuerbarkeit im wesentlichen Ausmaß verloren-
gehen. Eine Lösung besteht darin, daß man zwei
Kollektorelektroden 6 und 6a wie in Fig. 4 oder
deren drei, 6, 6a, 6b, wie in Fig. 5 vorsieht, die
symmetrisch um die Emittierelektrode 5 angeordnet
sind. Augenscheinlich wird mit solchen Anord-
nungen ein beträchtlich größerer Teil des Emitt-
erstromes aufgefangen. Für jeden Fall sind die
Grenzen des Kollektorfeldes durch die gestrichelten
Linien 14 eingezeichnet. Die Kollektoren können
miteinander verbunden werden, und es können so
viele benutzt werden, wie wünschenswert erscheint.
Die Verfolgung dieser Lösung führt weiter zu dem
Ringkollektor 6d von Fig. 6, in welchem Falle das
Kollektorfeld 14 die Gestalt eines Hohlwulstes hat.
Die gestrichelten Linien 14a und 14b veranschau-
lichen die Begrenzung des Feldes auf der Ebene
der Blockoberfläche. Die beiden halbkreisförmigen
Flecken 6e, 6f von Fig. 7 sind im wesentlichen
dem Kreis von Fig. 6 äquivalent.

Ferner kann eine Vergrößerung des effektiven
Widerstandes der Sperrschicht 4 und daher des
inneren Widerstandes des Emittier-Basis-Elek-
trodenkreises und des Verhältnisses des Kollektor-
stromes zum Emittierstrom dadurch verwirklicht
werden, daß die Fläche der Sperrschicht 4 auf
einem verhältnismäßig kleinen, die Emittierelek-
trode 5 und die Kollektorelektrode 6 umgebenden

Bereich beschränkt wird. Dies kann durch Begrenzen des Bereichs des Blockes 1 bewerkstelligt werden, welches der anodischen Oxydationsbehandlung unterworfen worden ist, oder durch
 5 Bearbeiten des Blockes nach der Behandlung. Im ersten Fall ist das Resultat eine schalenförmige p-Typ-Schicht 3', die durch eine schalenförmige Sperrschicht 4' begrenzt ist, wie es Fig. 11 zeigt; in dem letztgenannten Falle wird ein Block 1' in
 10 Form einer abgestumpften Pyramide erhalten, wobei die Sperrschicht 4'' gemäß Fig. 10 nahe der kleinsten Fläche 3'' liegt.

Für den Fall, daß eine Feder für die Emitter- und Kollektorkontaktspitzen nicht erwünscht ist, können verschiedene andere Konstruktionen angewendet werden. Zum Beispiel können zwei
 15 Seiten eines keilförmigen Stückes aus Isoliermaterial 16 mit Metallfilmen wie in Fig. 9 plattiert werden, von welchen der Metallfilm 51 als Emitterkontakt und der Metallfilm 61 als Kollektor-
 20 kontakt dient; oder es kann ein konusförmiges Stück 17 auf seiner konischen Oberfläche plattiert werden und ein Draht durch ein zentrales Loch wie in Fig. 9 eingesetzt werden. Der zentrale
 25 Draht 52 wird vorzugsweise als der Emitterkontakt und der umgebende Plattierungsfilm 62 als Kollektorkontakt verwendet. Der Konus und der Keil dienen dazu, die Kapazitäten zwischen den Elektroden auf einem Minimum zu halten; gleichzeitig bringen sie die Kontakte an der Stelle sehr
 30 nahe aneinander, wo sie an der Oberfläche des Halbleiterkörpers anliegen.

Aus der vorhergehenden Beschreibung wird verständlich, daß die Polaritäten von allen Vor-
 35 spannungsquellen der Fig. 1, 10, 11 und 12 umgekehrt werden müssen, wenn es erwünscht ist, einen Halbleiterblock zu verwenden, dessen Hauptkörper vom p-Typ ist, so daß die Leitfähigkeit der dünnen Oberflächenschicht entweder entsprechend
 40 den Verunreinigungen oder entsprechend den Raumladungseffekten vom n-Typ ist. Es ist außerdem verständlich, daß die Größen der Vorspannungen für bestes Arbeiten von dem benutzten Halbleitermaterial und von dessen Wärmebehand-
 45 lung und Bearbeitung abhängen. Ferner ist es möglich, eine p-Typ-Schicht von einem Halbleitermaterial auf einen n-Typ-Körper aus irgendeinem anderen Halbleitermaterial oder umgekehrt zu benutzen. Alle solchen Änderungsmöglichkeiten liegen
 50 im Rahmen der Erfindung.

PATENTANSPRÜCHE:

55 1. Elektrisch steuerbares Schaltelement, bestehend aus einem Halbleiterelement und drei daran angebrachten Elektrodenanschlüssen, dadurch gekennzeichnet, daß an einem Halbleiter
 60 wie Germanium oder Silizium einerseits eine Basiselektrode und andererseits zwei je mit der Basiselektrode eine gleichrichtende Wirkung ergebende Elektroden angeordnet sind und daß

jede dieser Elektroden in einem zur Ausdehnung der gemeinsamen Oberflächenschicht kleinen Bereich Kontakt macht und sie so angeordnet sind, daß bei einer Vorspannung der
 65 einen Elektrode (Emitter) mit Bezug auf die Basis in Flußrichtung und der anderen Elektrode (Kollektor) mit Bezug auf die Basis in Sperrichtung durch den Emitter Ladungsträger, deren Vorzeichen demjenigen der in dem Gebiet der Basiselektrode vorhandenen
 70 Ladungsträger entgegengesetzt ist, in das Gebiet der Basiselektrode eingeführt werden und wenigstens zum Teil zu dem Kollektor fließen.

2. Schaltelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleiterelement aus einheitlichem Grundmaterial besteht.

3. Schaltelement nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der die Gleichrichterbildung bewirkende unterschiedliche
 80 Leitfähigkeitstyp der Anschlußgebiete von Basis einerseits und Emitter und Kollektor andererseits durch chemische Verunreinigungen bewirkt ist.

4. Schaltelement nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der unterschiedliche Leitfähigkeitstyp der Anschlußgebiete durch physikalische Einflüsse bewirkt ist.

5. Schaltelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Emitterelektrode und/oder die Kollektorelektrode aus einem Spitzenkontakt bestehen.

6. Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Emitterelektrode und die Kollektorelektrode auf die im Winkel getrennten Oberflächen eines abgestumpften Keiles von Isoliermaterial aufgebracht sind, wobei die Enden der Elektroden,
 100 welche der abgestumpften Spitze des Keiles am nächsten sind, mit der Oberfläche des Halbleiterelementes Kontakt machen (Fig. 8).

7. Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollektorelektrode die Emitterelektrode im wesentlichen rings umgibt (Fig. 6).

8. Schaltelement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollektorelektrode ein Metallfilm ist, der sich auf der konischen Oberfläche eines konischen Isolators befindet, und daß die Emitterelektrode axial durch den konusförmigen Isolator geführt ist, wobei die Kollektorelektrode einen kreisförmigen Linienkontakt mit dem Halbleiterelement bildet
 115 (Fig. 9).

9. Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Kollektorelektroden symmetrisch um die Emitterelektrode angeordnet sind (Fig. 4, 5
 120 und 7).

10. Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleiterelement die Form einer abgestumpften Pyramide hat, wobei die Emitter- und Kollektoranschlüsse auf der kleineren der
 125

zwei parallelen Oberflächen des Halbleiterelements angebracht sind (Fig. 10).

5 11. Schaltung mit einem Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen Ausgangskreis zwischen Basis-
elektrode und Kollektorelektrode und einen
Eingangskreis zwischen Emittierelektrode und
Basislektrode.

10 12. Schaltung mit einem Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen Ausgangskreis zwischen Emittier-
elektrode und Kollektorelektrode und einen
Eingangskreis zwischen Basislektrode und
Kollektorelektrode.

15 13. Schaltung mit einem Schaltelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch einen Ausgangskreis zwischen Emittier-
elektrode und Kollektorelektrode und einen
Eingangskreis zwischen Emittierelektrode und
Basislektrode.

20 14. Schaltung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, gekennzeichnet durch Mittel zur Rück-
kopplung der Energie vom Ausgangskreis auf

den Eingangskreis zwecks Aufrechterhaltung
selbsterregter Schwingungen des Schalt- 25
elements.

In Betracht gezogene Druckschriften:

Österreichische Patentschrift Nr. 130 102; 30
britische Patentschriften Nr. 349 584, 439 457,
500 342;
USA.-Patentschriften Nr. 1 251 378, 1 745 175,
1 900 018, 1 949 383, 2 173 904, 2 208 455, 35
2 402 661, 2 402 662;
Zeitschrift für Physik, 1939, S. 399 ff.;
Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Tele-
fonie, Bd. 37, 1931, S. 162 ff. und 175 ff.;
Journal of Applied Physics, 1946, S. 912;
Bericht über »German Research on Rectifiers 40
and Semi-Conductors« des British Intelligence
objectives sub-committee vom 1. 7. 1946, S. 22, 23.

Entgegengehaltene ältere Rechte:

Deutsche Patentanmeldungen H 11624 VIIIc/21g, 45
W 2733 VIIIc/21g.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

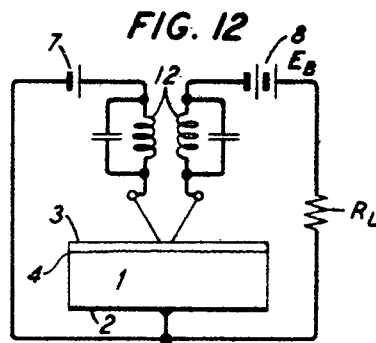
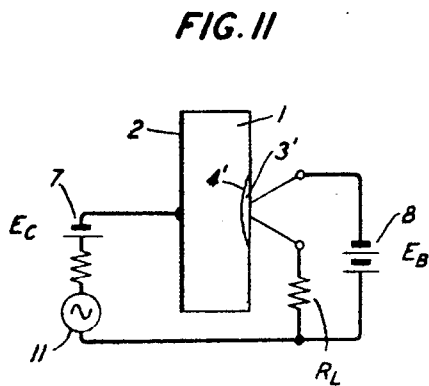
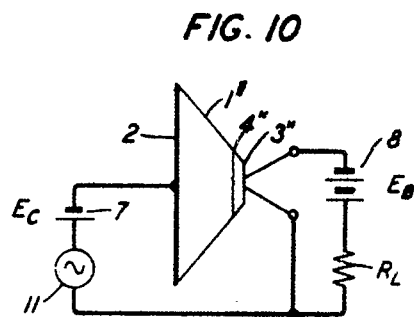
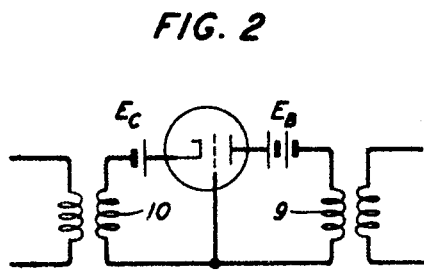
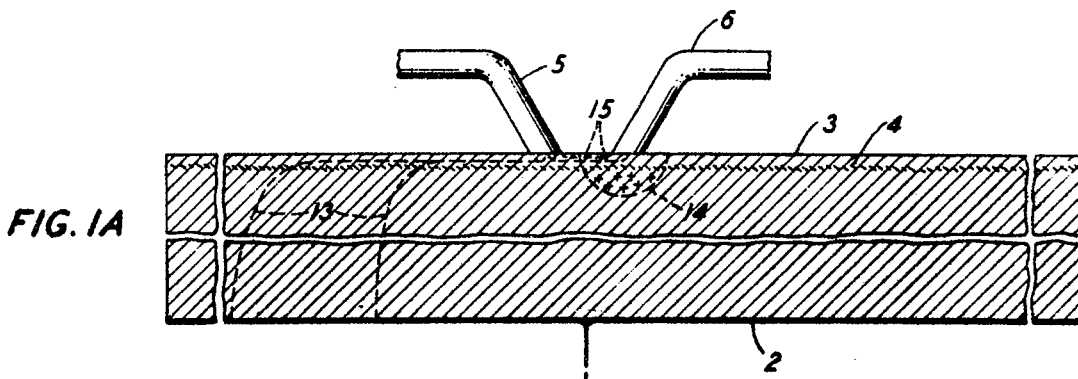
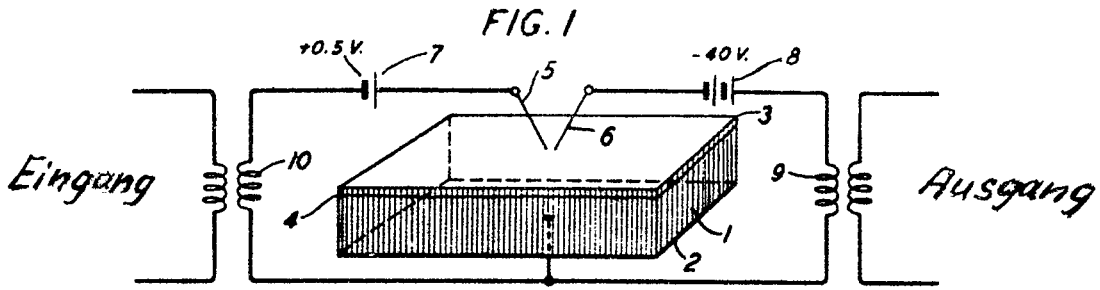


FIG. 3

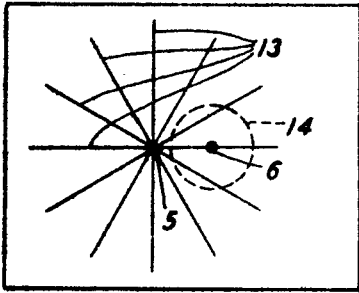


FIG. 3A

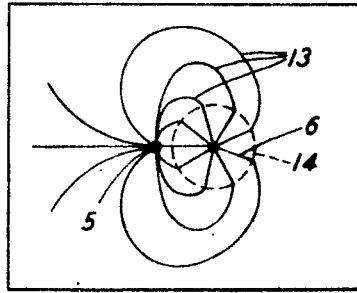


FIG. 4

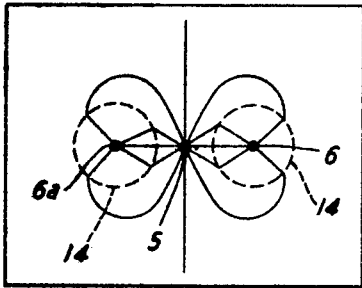


FIG. 5

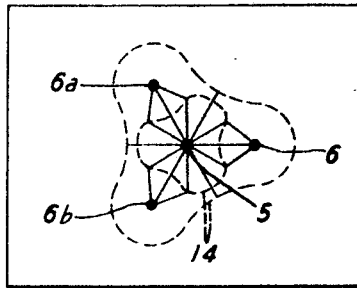


FIG. 6

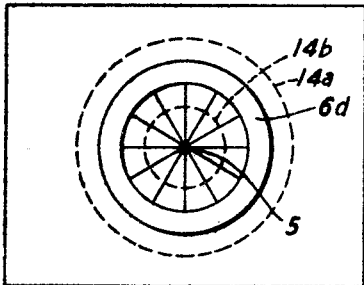


FIG. 7

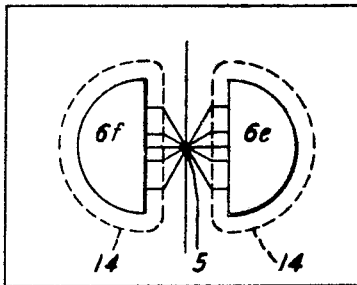


FIG. 8

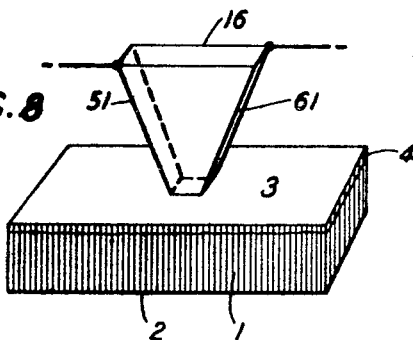


FIG. 9

