

Erteilt auf Grund des Ersten Überleitungsgesetzes vom 8. Juli 1949

(WiGBL S. 175)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



AUSGEGEBEN AM
24. SEPTEMBER 1951

DEUTSCHES PATENTAMT

PATENTSCHRIFT

Nr. 814 487

KLASSE 21g GRUPPE 1102

p 41700 VIII c / 21 g D

William Shockley, Madison, New Jersey (V. St. A.)
ist als Erfinder genannt worden

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

Feste, leitende elektrische Vorrichtung unter Verwendung von Halbleiterschichten zur Steuerung elektrischer Energie

Patentiert im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vom 5. Mai 1949 an

Patenterteilung bekanntgemacht am 26. Juli 1951

Die Priorität der Anmeldung in den V. St. v. Amerika vom 26. Juni 1948 ist in Anspruch genommen

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Mittel
und Verfahren zur Übertragung und Steuerung
elektrischer Signale, insbesondere auf Schaltungs-
elemente, die die Halbleitermaterialien verwenden,
5 und auf Systeme, die solche Elemente enthalten.

Unter Steuerung und Übertragung werden ins-
besondere verstanden Verstärkung, Erzeugung,
Modulation, Kreuzmodulation oder Umwandlung.

Die Übertragung und Steuerung elektrischer
10 Signale wird durch Änderung oder Regulierung der
Leiteigenschaften eines Halbleiterkörpers bewirkt.
Genauer gesagt wird solche Übertragung und Steu-
erung bewirkt durch die Beeinflussung der Eigen-
schaften, z. B. der Impedanz einer Schicht oder
15 Sperrschicht zwischen zwei Teilen eines Halb-
leiterkörpers, in solcher Weise, daß vorzugsweise

der Stromfluß zwischen den beiden Teilen geändert
wird.

Die Steuerung des Stromflusses geschieht durch
einen Halbleiterkörper mittels Ladungsträgern, die
ein entgegengesetztes Vorzeichen haben, wie es die
den Strom durch den Körper befördernden Träger
besitzen. 20

Ein wesentliches Merkmal der Erfindung besteht
darin, daß der Halbleiterkörper aufeinander-
folgende Zonen von Material entgegengesetzten
Leitfähigkeitstyps aufweist, wobei jede Zone von
den anderen durch eine elektrische Sperrschicht
25 getrennt ist und daß die Spannungen an elektrische
Anschlüsse für jede Zone an relativ weit vom Sperr-
schichtbereich liegenden Punkten und an einen
Anschluß an dem Sperrschichtbereich angelegt
30

sind, um den Stromfluß durch eine oder mehrere der elektrischen Sperrschichten zu steuern.

Ein zusätzliches Merkmal der Erfindung betrifft die Steuerung des Stroms, der durch den Halbleiterkörper fließt, und zwar mittels einer oder mehrerer elektrischer Gleichspannungsquellen, die zusätzliche Felder zu denjenigen erzeugen, die für den normalen Stromfluß durch den Körper verantwortlich sind.

Ein zusätzliches Merkmal bezieht sich auf einen Halbleiterkörper mit zwei Zonen aus Material ähnlichen Leitfähigkeitstyps und einer dazwischenliegenden Zone aus Material entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps, wobei die Zonen jeweils durch Sperrschichten getrennt sind; es werden wiederum die elektrischen Spannungen an elektrische Anschlüsse an den beiden Zonen und an einen dritten Anschluß an der dazwischenliegenden Zone angelegt, um die Wirksamkeit der Sperrschicht zu beeinflussen und dadurch den Stromfluß zwischen den Zonen aus ähnlichem Material zu steuern.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des Gegenstandes der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, daß er für Spannungs- und Leistungsverstärkung benutzt werden kann, sofern er mit zusätzlichen Gleichspannungsquellen ausgestattet ist, um bewegliche Ladungsträger bei verhältnismäßig niedriger Spannung in den Körper einzuführen und ähnliche Ladungsträger bei verhältnismäßig hoher Spannung zu entnehmen.

Dadurch ist insbesondere die Schaffung von Spannungs- und Sperrschichtbedingungen neben einem Ausgangsanschluß oder einer Stromentnahmestelle gegeben, durch die eine Stromverstärkung zusätzlich zur Spannungsverstärkung erzielt werden kann.

Andere Gegenstände und Merkmale der Erfindung werden vollständiger und klarer aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung ersichtlich, und zwar in Verbindung mit der Zeichnung; in der Zeichnung zeigt

Fig. 1 die Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach der Erfindung in Verbindung mit einer geeigneten Schaltung,

Fig. 2 die Schnittdarstellung einer anderen Ausführungsform nach der Erfindung mit der Erläuterung dienenden Schaltungsverbindungen,

Fig. 3 eine der Fig. 2 ähnliche Ausführungsform im Schnitt mit gewissen Abweichungen im Aufbau und mit einer geeigneten Schaltungsanordnung,

Fig. 3A und 3B Teilschnitte von geänderten Ausführungen nach Fig. 3,

Fig. 4 eine von Fig. 3 abweichende Ausführung im Schnitt, wobei eine eingelagerte Elektrode Anwendung findet,

Fig. 5 den Teilschnitt einer weiteren Änderung einer Vorrichtung der in Fig. 4 gezeigten Art; die vorgesehenen Einzelmerkmale sind auch bei den anderen Ausführungsformen anwendbar,

Fig. 6 eine Ausführungsform der Erfindung ähnlich derjenigen nach Fig. 3 mit einer abweichenden Anschlußanordnung an einem Teil der Vorrichtung,

Fig. 7 ein zusammengesetztes Plattengebilde mit

einigen besonderen Einzelheiten bezüglich des Aufbaus,

Fig. 8 eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform der Erfindung mit mehr als einem Steuerungsteil in Verbindung mit einer geeigneten Schaltung,

Fig. 9 die Schnittdarstellung einer der Fig. 8 ähnlichen Vorrichtung bei abweichender Schaltungsanordnung,

Fig. 10 eine der Fig. 3 ähnliche Vorrichtung mit zwei Elektroden, die als Laufzeitdiode angesehen werden kann, in Verbindung mit Energiepegeldiagrammen, die für die Erläuterung der Betriebsweise zweckdienlich sind,

Fig. 11 eine schematische Darstellung von Kurven, die sich auf Schaltelemente beziehen, um die Erläuterung bestimmter Grundgedanken der Erfindung zu erleichtern,

Fig. 12 eine schematische Darstellung, ähnlich derjenigen des Teils *a* nach Fig. 11, um die Wirkung der Anwendung verschiedener Materialien für bestimmte Teile der erfindungsgemäßen Vorrichtungen zu erläutern,

Fig. 13 eine schematische Illustration der Bedingungen in dem Ausgangsteil von Vorrichtungen, die entsprechend erfindungsgemäßen Merkmalen zur Stromverstärkung ausgeführt sind.

Zur Erleichterung des vollen Verständnisses der folgenden Beschreibung von speziellen Ausführungsformen der Erfindung erscheint es zweckmäßig, eine kurze Erläuterung einiger Grundgedanken und Erscheinungen sowie eine Erläuterung bestimmter Ausdrücke, die in der Beschreibung benutzt werden, zu geben.

Wie es z. B. aus der Veröffentlichung »Crystal Rectifiers« von H. C. Torrey und C. A. Whitmer, Band XV der M. I. T. Radiation Laboratories series (McGraw-Hill Book Company, Inc. 1948) bekanntgeworden ist, gibt es zwei Arten von Halbleitern, die man als innerlich (intrinsic) und äußerlich (extrinsic) bezeichnet. Obwohl einige der Halbleitermaterialien, die zu dem Gebiet der Erfindung gehören, beide Arten der Halbleitung aufweisen können, so ist die mit als äußerlich bezeichnete Art von grundsätzlicher Bedeutung.

Die Halbleitung kann man auch nach zwei Typen unterscheiden, von denen die eine als Leitung mittels Elektronen oder Überschuß-Leitungsvorgang bekannt ist, und die andere als Leitung mittels Löchern, oder als Mangelleitungsvorgang bezeichnet wird. Die Bezeichnung Löcher, die sich auf Träger von positiven elektrischen Ladungen zum Unterschied von den Trägern der negativen Ladungen, z. B. der Elektronen, bezieht, wird im nachfolgenden eingehender erläutert.

Als Halbleitermaterialien für Vorrichtungen nach der Erfindung haben sich Germanium und Silicium mit geringem Gehalt an bezeichnenden Unreinigkeiten als brauchbar erwiesen, die einen Weg zur Bestimmung der Art der Leitfähigkeit des Halbleitermaterials beherrschen (entweder den *N*-Typ oder den *P*-Typ). Der Typ der Leitfähigkeit kann auch in an sich bekannter Weise durch Energie-

65

70

75

80

85

90

95

100

105

110

115

120

125

beziehungen innerhalb der Halbleiter bestimmt werden. Die Bezeichnungen *N*-Typ und *P*-Typ werden Halbleitermaterialien zugelegt, welche das Bestreben haben, Strom leicht durchzulassen, wenn das Material negativ bzw. positiv ist mit Bezug auf einen leitenden, daran angelegten Kontakt, dagegen den Strom schwieriger durchzulassen, wenn das Umgekehrte der Fall ist, und welche auch mit Halleffekten und thermoelektrischen Effekten verbunden sind.

Der Ausdruck bezeichnende Unreinigkeiten ist hier für die Benennung solcher Unreinigkeiten gebraucht, welche die elektrischen Charakteristiken des Materials beeinflussen, wie z. B. den spezifischen Widerstand, Lichtempfindlichkeit, Gleichrichtung u. dgl., und sich von anderen Unreinigkeiten abheben, die keinen erkennbaren Einfluß auf diese Charakteristiken haben. Die Bezeichnung Unreinigkeiten soll sowohl absichtlich zugegebene Bestandteile als auch irgendwelche im Grundmaterial, wie es in der Natur gefunden wird oder im Handel greifbar ist, enthaltene Bestandteile umfassen. Germanium und Silicium sind solche Grundmaterialien, welche zusammen mit einigen typischen Unreinigkeiten bei der Beschreibung von erläuternden Beispielen der Erfindung erwähnt werden. Kristallgitterfehler, z. B. leere Gitterlagen und zwischenräumliche Atome, sofern sie bewirken, daß bewegliche Ladungsträger (Löcher und Elektronen) gebildet werden, sollen in dem Begriff bezeichnende Unreinigkeiten mit umfaßt sein. In Halbleitern, die chemische Verbindungen darstellen, z. B. Kupferoxydul oder Siliciumcarbid, können Abweichungen von stöchiometrischen Zusammensetzungen, und Kristallgitterfehler, z. B. fehlende Atome oder zwischenräumliche Atome, die bezeichnenden Unreinigkeiten darstellen.

Kleine Mengen von Unreinigkeiten, wie Phosphor in Silicium, und Antimon und Arsen in Germanium, werden Spender-Unreinigkeiten genannt, weil sie zur Leitfähigkeit des Grundstoffs beitragen, indem sie an eine nicht vollbesetzte Elektronenschale in dem Grundmaterial Elektronen spenden. Die gespendeten negativen Elektronen bilden in einem solchen Fall die Stromträger, und man sagt, daß das Material und seine Leitfähigkeit vom *N*-Typ sind. Dies ist auch bekannt als Leitung nach dem Überschußprozeß. Kleine Mengen anderer Unreinigkeiten, z. B. Bor in Silicium und Aluminium in Germanium, werden Nehmer-Unreinigkeiten genannt, weil sie zur Leitfähigkeit beitragen, indem sie von den Atomen des Grundmaterials in der vollbesetzten Elektronenschale Elektronen aufnehmen. Eine solche Aufnahme hinterläßt Lücken oder Löcher in der vollbesetzten Elektronenschale. Durch Auswechslung der in der vollbesetzten Elektronenschale verbleibenden Elektronen bewegen sich diese positiven Löcher wirksam rundherum und bilden die Stromträger; man sagt, das Material und seine Leitfähigkeit sind vom *P*-Typ. Der Ausdruck Fehlerprozeß kann auch für diese Art Leitfähigkeit angewandt werden.

Verfahren zur Herstellung von Silicium jeden

Leitfähigkeitstyps oder eines Siliciumkörpers, der beide Typen aufweist, sind bekannt. Solche Materialien sind geeignet zur Verwendung in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung. Germaniummaterial kann auch in jedem Leitfähigkeitstyp hergestellt werden oder in Körpern, die beide Typen enthalten, und es kann so behandelt werden, daß es befähigt ist, hohen Spannungen in der umgekehrten Richtung zur Gleichrichtung standzuhalten. Körper aus Halbleitermaterial, die für die praktische Anwendung der Erfindung bestimmt sind, können auch durch Niederschlagen usw. von Silicium oder Germanium mit geeigneten bezeichnenden Unreinigkeiten auf pyrolytischem Wege vorbereitet werden. Die Ausdrücke Sperrschicht (barrier) oder elektrische Sperrschicht, wie sie in der Beschreibung und Erläuterung der Vorrichtung gemäß der Erfindung gebraucht werden, beziehen sich auf die einen hohen Widerstand bildende Fläche zwischen in Berührung stehenden Halbleitern von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp oder zwischen einem Halbleiter und einem metallischen Leiter, wobei in jedem Fall Strom relativ leicht in einer Richtung und relativ schwer in der anderen Richtung fließt.

Die im folgenden zu beschreibenden Vorrichtungen sind verhältnismäßig klein, weshalb es notwendig wurde, im Interesse des besseren Verständnisses der Erläuterungen gewisse Übertreibungen hinsichtlich der Proportionen anzuwenden; die Darstellungen sind hauptsächlich und im wesentlichen schematisch. Die erwähnten Übertreibungen beziehen sich besonders auf die Zwischenschichten, die gewöhnlich sehr dünn sind. In einigen Fällen ist diese Schicht, z. B. die *P*-Schicht in Fig. 11, breiter dargestellt worden als die angrenzenden *N*-Schichten, damit die gleichzeitig wiedergegebenen Energiepegeldiagramme klarer dargestellt werden können. Die Bemessung in der senkrecht zur Zeichenebene verlaufenden Richtung kann entsprechend der erforderlichen Querschnittsgröße schwanken.

Die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung besteht aus einem Körper oder Block aus Halbleitermaterial, z. B. Germanium, das bezeichnende Unreinigkeiten enthält. Der Block umfaßt zwei Zonen 10 und 11 aus *N*-Typ- bzw. *P*-Typ-Material, welche durch die Sperrschicht 12 voneinander getrennt sind. Die entgegengesetzten Enden des Blocks sind mit Anschlüssen 13 und 14 versehen, die aus metallischen Überzügen, z. B. getrockneter Silberpaste, aus einem Dampfniederschlag gewonnenen Metallüberzug o. dgl. bestehen kann. Die Mittel für die Herstellung eines Anschlusses an die Sperrschicht des Blocks bestehen aus einem Tropfen Elektrolyt 15, z. B. Glykolborat, in welchen eine Drahtschleife 16 oder ein anderer geeigneter Teil, z. B. eine Metallscheibe, eintauchen. Der Leiter 17 führt von dem Anschluß 14 zu einer Belastung R_L und von dort über eine Kraftquelle, z. B. eine Batterie 18 und einen Leiter 19 zurück zu dem Körper, und zwar zur Anschlußstelle 13. Eine Signalspannungsquelle 21 und eine Vorspannungsquelle 22 liegen zwischen dem Anschluß 16 an der Sperrschicht und dem

Anschluß 13, und zwar mittels der Leiter 23, 24 und 25. Bei Anordnung der *N*- und *P*-Zonen entsprechend Fig. 1 ist der negative Pol der Quelle 18 an die *P*-Zone und der positive Pol an die *N*-Zone angeschlossen.

Die durch den Elektrolyt 15 zu dem Körper, und zwar an die Sperrschicht führende Verbindung ist ein Mittel, um dieser Sperrschicht und parallel dazu ein Feld aufzudrücken; es handelt sich dabei um eine Art kapazitiven Anschluß, da eine wesentliche Isolation zwischen dem Elektrolyt und der Oberfläche des Körpers besteht. Die Vorspannungsquelle 22 ist nach der Darstellung mit ihrem negativen Pol an den Sperrschichtanschluß 16 angelegt, da mit einem solchen Anschluß günstigere Resultate erzielt worden sind. Man kann aber auch mit guten Ergebnissen eine positive Vorspannung anwenden.

Eine mit gutem Erfolg betriebene Vorrichtung dieser Art war etwa 2 cm lang, 0,5 cm breit und 0,5 cm dick. Die Sperrschicht lag etwa in der Mitte zwischen den Endflächen und im wesentlichen parallel zu denselben. Die Vorspannungen an den Elektroden 16 und 14 mit Bezug auf die Elektrode 13 waren von derselben Größenordnung und lagen zwischen 10 und 20 Volt.

Bei Verwendung von Vorrichtungen ähnlich derjenigen nach Fig. 1 wurde der Strom in dem Steuerkreis um wenige Mikroampere geändert, um in dem durch R_L verlaufenden Belastungskreis eine Stromänderung von einigen Milliampere hervorzurufen. Es wurde daher eine Stromverstärkung erzielt. Die Stromverstärkung war ausreichend, um bei den angewandten Spannungen eine Leistungsverstärkung hervorzurufen.

Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung enthält zwei Blöcke oder Körper 30 und 31 aus Isoliermaterial, z. B. aus keramischem Stoff; zwischen den beiden Körpern ist eine Elektrode 32 angebracht, während an den Außenenden der Körper Elektroden 33 und 34 befestigt sind. Auf einer Fläche des aus Elektroden und keramischen Körpern zusammengesetzten Gebildes ist ein Belag 36, 37 aus *P*-Typ-Germanium angebracht, welcher mit den Elektroden Ohmschen Kontakt bildet. Dieser Belag ist in der Zeichnung übertrieben dick dargestellt. Die Elektrode 32 kann aus einer Antimon- oder Phosphorlegierung, z. B. aus einer Kupfer-Antimon-Legierung oder Phosphorbronze, bestehen, so daß bei einer Erhitzung Antimon oder Phosphor in das *P*-Typ-Germanium diffundiert, und dabei letzteres in einer Zone 35, die zwischen 2-*P*-Typ-Zonen 36 und 37 liegt, zu *N*-Typ-Germanium verwandelt. Die drei Zonen sind durch Sperrschichten 38 bzw. 39 voneinander getrennt. Die Wärmebehandlung zur Diffundierung des Antimon aus der Elektrode 32 in die Zone 35 kann bei etwa 650° C erfolgen und diejenige zur Diffundierung von Phosphor aus Phosphorbronze bei etwa der gleichen Temperatur. Die Diffundierung der bezeichnenden Unreinigkeiten in dem Belag kann so gesteuert werden, z. B. durch entsprechende Bemessung der Dauer der Hitzebehandlung, daß das Material an der Oberfläche der Zone 35, welches demjenigen gegenüberliegt, mit

welchem die Elektrode 32 in Berührung steht, im wesentlichen neutral ist oder nur geringen *N*-Typ aufweist oder auch seinen *P*-Typ beibehält. Im Sinne der Nomenklatur, welche für Vorrichtungen dieser Art benutzt worden ist, können die Elektroden 32, 33 und 34 als Grundelektrode, Strahler und Kollektor bezeichnet werden. Die Elektroden und übrigens auch die entsprechenden Elektroden in den anderen Darstellungen sind mit *B* (Grundelektrode = base), *E* (Strahler = emitter) und *C* (Kollektor = collector) bezeichnet worden, um das Verständnis des Aufbaus zu erleichtern.

Die Vorrichtung nach Fig. 2 kann als ein Verstärker oder eine Steuervorrichtung betrieben werden, und zwar durch Anlegung einer verhältnismäßig kleinen positiven Vorspannung, z. B. in der Größenordnung von 1 Volt und eines Signals von Quellen wie der Batterie 41 bzw. der Signalquelle 42 an die Elektrode 33, und zwar über die Eingangsverbindungen 43 und 44, wobei die negative Seite der Batterie 41 mit der Grundelektrode 32 in Verbindung steht. Der Ausgangskreis enthält eine verhältnismäßig hohe Spannungsquelle, deren Spannung beispielsweise zwischen 10 und 100 Volt liegt, etwa eine Batterie 45, deren negativer Pol an 34 und deren positiver Pol an die Grundelektrode 32 angeschlossen sind. In diesem Kreis befindet sich eine Belastung, die durch einen Widerstand R_L dargestellt ist.

Wenn kein *P*-Typ-Material in der Zone 35 verbleibt, geht der Betrieb wie folgt vor sich: Ein positiver oder Löcher-Strom fließt unter dem Einfluß der Quellen 41 und 42 in der *P*-Zone 36. Die negative Vorspannung in der *N*-Zone 35, die von der Batterie 41 beliefert wird, treibt Elektronen in diese Zone und verringert die Impedanz gegenüber dem Löcher-Strom. Die negative Vorspannung der Batterie 45 an der Elektrode 34 bewirkt danach, daß ein Löcher-Strom durch die Elektrode 34 zu dem Ausgang fließt. Es bleiben genügend Elektronen und Löcher ohne gegenseitige Bindung, so daß eine Steuerung ähnlich derjenigen in einer Dreielektrodenvakuumröhre zustande kommt. Der Eingangsstrom fließt in der Richtung der leichten Strömung durch die Sperrschicht 38; die Impedanz dieser Sperrschicht gegenüber dem Strom ist verhältnismäßig gering. Der Ausgangsstrom fließt in Richtung der schwierigen Strömung durch die entgegengesetzt betriebene Sperrschicht 39; der Ausgang hat daher eine hohe Impedanz. Der Ausgangsstrom ist dem Eingangsstrom vergleichbar, er muß aber eine wesentlich höhere Impedanz durchfließen; daher ist die Ausgangsleistung höher als die am Eingang bestehende Leistung. Eine vollständigere Erläuterung der Arbeitsweise dieser und der anderen Vorrichtung wird anschließend an die Beschreibung der anderen Ausführungsform der Erfindung gegeben werden. Wenn eine dünne Schicht aus *P*-Typ-Material an der Fläche verbleibt, die dem Kontakt von 32 entgegengesetzt ist, wird das Steuerfeld die wirksame Dicke dieser Schicht derart verändern, daß der Stromfluß beeinflußt wird.

Die Vorrichtung nach Fig. 3 enthält eine Schicht

Pi
Lu
55
10

oder Zone 51 aus *P*-Typ-Material, z. B. Germanium, die zwischen zwei Schichten oder Zonen 52 und 53 aus *N*-Typ-Material liegt; letztere können ebenfalls aus Germanium bestehen und sind mittels der Sperrschichten 54 und 55 abgetrennt. An jeder Schicht befinden sich Anschlüsse mittels der Elektroden 56, 57 bzw. 58, welche wie im Fall der Vorrichtung nach Fig. 2 als Strahler 56, Grundelektrode 57 und Kollektor 58 bezeichnet werden können. Diese Elektroden können wie bei der Vorrichtung nach Fig. 1 ausgeführt sein. Die Schaltungsanschlüsse sind denen nach Fig. 2 ähnlich, wobei die Polaritäten wegen der Vertauschung der *N*- und *P*-Zonen umgekehrt sind. Bei dieser Vorrichtung kann die *P*-Schicht 51 für die Steuerung benutzbar gemacht sein, indem man diese Schicht sehr dünn, z. B. 1×10^{-2} cm oder weniger ausführt, oder indem man diese Schicht leicht auf *P*-Typ einstellt, oder indem man beide Maßnahmen anwendet. Die dem Elektronenstrom entgegenwirkende Impedanz der *P*-Zone wird genügend klein sein, so daß die Einführung von Löchern (positive Ladung) in die *P*-Zone, und zwar durch die an derselben bestehende positive Vorspannung, eine beträchtliche Steuerungwirkung hat. Auf diese Weise kann man es einrichten, daß die Elektronen dank der Wirkung der Spannung an der Grundelektrode vergleichsweise leicht durch die *P*-Zone fließen und zu dem Kollektor 58 gezogen und von dort entnommen werden. Wie im Fall der Fig. 2 ist in einer Betriebsrichtung der Eingang von geringer Impedanz, der Ausgang von hoher Impedanz, woraus sich bei der Vergleichbarkeit der Eingangs- und Ausgangsströme eine Leistungsverstärkung ergibt.

In Fig. 4 ist eine Vorrichtung gezeigt, die derjenigen nach Fig. 3 ähnlich ist, aber ein unterschiedliches Anschlußmittel für die mittlere Zone des Halbleitermaterials aufweist. Bei dieser Ausführung liegt die *P*-Zone 61 zwischen den *N*-Zonen 62 und 63. Ein Metallgitter, von welchem Teile bei 64 dargestellt sind, ist in die *P*-Zone eingebettet und mit einem vorspringenden Teil 65 versehen, an welchem die äußere Verbindung angeschlossen werden kann. Dieses Gitter dient als Grundelektrode. Der Strahler und der Kollektor 66 bzw. 67 und die zugehörigen *N*-Zonen sind ähnlich denen bei der Vorrichtung nach Fig. 3. Diese Vorrichtung kann betrieben werden ähnlich wie es in Verbindung mit Fig. 3 angegeben worden ist, wobei geeignete Verbindungen zum Strahler, zur Grundelektrode und zum Kollektor vorgesehen sind.

Die Teildarstellung nach Fig. 5 veranschaulicht eine Vorrichtung, die derjenigen nach Fig. 4 ähnlich ist, von letzterer aber in Einzelheiten abweicht. Um einen guten, im wesentlichen Ohmschen Kontakt zwischen den Elektroden und dem Halbleitermaterial zu gewährleisten, ist an jeder Elektrode eine verhältnismäßig dünne Schicht aus Halbleitermaterial vorgesehen, das eine höhere Konzentration an bezeichnenden Unreinigkeiten vom gleichen Typ, der den Leitfähigkeitstyp kennzeichnet, aufweist. Diese Schichten von hohem Unreinigkeitsgrad haben eine größere Leitfähigkeit als das übrige Halbleiter-

material in der in Frage stehenden Zone und daher eine geringere Neigung zur Sperrschichtbildung an der Elektrodenhalbleiterzwischenfläche. Diese Schichten sind für die Strahler-, Grund-(Gitter-) und Kollektorelektrode mit 68, 69 bzw. 70 bezeichnet. Solche Schichten mit hohem Unreinigkeitsgrad können auch in den übrigen Ausführungsformen der Erfindung Anwendung finden.

Um die Gitter- oder Grundelektrode 64 gegen die Wirkungen des vom Strahler ausgehenden Feldes abzuschirmen, ist an der Seite des Gitters, die der Strahlerelektrode gegenüberliegt, eine Isolierschicht 71 vorgesehen. Der Strom der Ladungsträger wird auf diese Weise durch das Gitter, und zwar zwischen dessen Leitern geleitet.

Die in Fig. 6 gezeigte Vorrichtung ist derjenigen nach Fig. 3 ähnlich; die Schicht 53^a hat etwas verkleinerte Ausdehnung, so daß ein Kontakt 57^a an einer Stirnfläche der *P*-Schicht 51 angebracht werden kann.

In Fig. 7 sind eine Mehrzahl von zusammengesetzten Halbleiterschichten oder Platten 110 bis 113 veranschaulicht. Eine Isolierplatte 114 nimmt den Platz eines Teils der mittleren *P*-Schicht ein; die *N*-Schicht auf der Kollektorseite ist in Richtung zu dem Isolator verjüngt, wodurch die Seitwärtsströmung der Elektronen in dieser Schicht verringert und damit die Weglänge von *B* zu der *N*-Schicht auf der Kollektorseite verkürzt wird.

Zusätzliche Funktionen können mittels Vorrichtungen durchgeführt werden, die mehr Schichten und Elektroden aufweisen. Fig. 8 zeigt eine Ausführung, die als Mischer oder Umformer Verwendung finden kann. Es sind fünf Schichten oder Zonen 91 bis 95 vorgesehen, die abwechselnd vom *N*- und vom *P*-Typ sind. Die Schichten 91 und 95 sind den Strahler- und Kollektorschichten der Dreielektrodenanordnungen, z. B. derjenigen nach Fig. 3 ähnlich. Es sind aber zwei *P*-Schichten 92 und 94 vorgesehen, die durch eine *N*-Schicht 93 getrennt sind. Getrennte Elektroden 96 und 97 sind an die beiden *P*-Schichten angeschlossen, wodurch eine Vierelektrodenanordnung entsteht, bei welcher 98 und 99 die Strahler- und Kollektorelektroden darstellen. Der bei 99 ankommende Strom ist eine Funktion der an 96, 97 und 99 angelegten Spannungen, während 98 als geerdet angesehen wird. Diese Funktion ist nicht linear mit Bezug auf die Spannungen und enthält quadratische Größen, die Produkte aus den Spannungen bei 96 und 97 umfassen. Diese Produktgrößen spielen die gleiche Rolle wie bei anderen nicht linearen Mischern oder Umformern und haben Kollektorstromkomponenten im Gefolge mit Frequenzen, die Kombinationen derjenigen darstellen, die an 96 und 97 angelegt sind.

Die Spannungen können an 96 bzw. 97 von den Spannungsquellen 101, 104 und 102, 105 angelegt werden; es handelt sich dabei um Vorspannungs- oder Signalspannungsquellen, wie die Zeichnung erkennen läßt. Die Signalspannungen können von einem örtlichen Sender, z. B. von einem ankommenden Signal stammen, oder andere Signale sein, die gemischt werden sollen. Die Ausgangsleistung wird

bei 106 und 107 abgenommen, und die Quelle 103 liefert die Kollektorvorspannung. L_C und C_B sind Isolierdrosseln bzw. Blockkondensatoren.

Gemäß Fig. 9 ist eine der Fig. 8 ähnliche Vorrichtung mit einer zusätzlichen Elektrode 108 im mittleren N -Bereich versehen und so angeordnet, daß die Schichten 91, 92 und 93 mit geeigneten Verbindungen entsprechend der Darstellung einen Sender umfassen. Der Eingang ist an die Schicht 94 angelegt, und der gemischte Ausgang wird von 106 und 107 abgenommen. Die Energiequellen entsprechen denjenigen nach Fig. 8, wobei die Quelle 109 als Kollektorvorspannung für den Senderabschnitt hinzukommt. L_T und C_T sind Abstimmeelemente des Senderabschnitts. L_C und C_B stellen die Drosseln und Blockkondensatoren dar, und T bezeichnet den Kupplungstransformator.

Zusätzlich zu der Spannungs- und damit der Leistungsverstärkung, die mit Vorrichtungen dieser Art erreichbar sind, kann eine Stromverstärkung erzielt werden, indem man an der Kollektorelektrode eine Bedingung einstellt, die derjenigen, wie sie zur Gleichrichtung erforderlich ist, ähnlich ist. Dies kann geschehen, indem man die Kollektorelektrode als Gleichrichterkontakt vom Spitzen- oder Großflächentyp, nicht als im wesentlichen Ohmschen Kontakt ausbildet. Eine andere Möglichkeit hierfür besteht darin, daß man den vorhandenen Kontakt an der Elektrode als Ohmschen Kontakt bestehen läßt und rund um die Kollektorelektrode einen kleinen Bereich aus Material einführt, dessen Typ demjenigen der Kollektorzone entgegengesetzt ist, z. B. kann man bei einer Vorrichtung ähnlich derjenigen nach Fig. 3 eine Zone 80 aus P -Typ-Material zwischen der Kollektorelektrode 58 und der N -Zone 53 anbringen, wie Fig. 3A zeigt; man kann gemäß Fig. 3B einen Spitzenkontakt 81 an Stelle der Elektrode 58 vorsehen, oder die Elektrode 58 kann in solcher Weise angelegt werden, daß sich eine Sperrschicht einstellt. Mit Kollektoranschlüssen dieser Art kann der Ausgangsstrom größer gemacht werden als der Eingangsstrom, wie im folgenden erläutert wird.

Ausführungen ähnlich den beschriebenen, aber mit nur zwei Elektroden, können als negative Widerstandselemente bei sehr hohen Frequenzen angewandt werden, wobei Laufzeitwirkungen ausgenutzt werden. Fig. 10 zeigt eine solche Vorrichtung. In den Schaubildern der Fig. 10a und 10b stellen die schraffierten Winkel E und C die Metallelektroden E und C der Fig. 10 dar, wobei die gestrichelte, horizontale obere Begrenzungslinie den jeweils zugehörigen Fermipegel veranschaulicht. Da die Breite des Leitungsbandes nach diesen Schaubildern und auch nach den Schaubildern der Fig. 11, 12 und 13 bei der Erläuterung nicht von Bedeutung sind, ist die obere Begrenzung dieser Bänder, die man manchmal als eine vierte obere Linie darstellt, in jedem Schaubild weggelassen worden. In jedem Schaubild bezeichnet die untere schraffierte Fläche das volle Band, die unshraffierte Fläche das unerlaubte Band, während der Bereich oberhalb der oberen Linie das leitende Band darstellt (vgl. T o r r e y und W h i t-

m e r, a.a.O., Seiten 46, 49, 71). Es umfaßt drei im wesentlichen parallele Schichten NE , P und N_c mit abwechselndem Unreinheitsgehalt und ist an jeder Seite mit einer Metallelektrode E bzw. C versehen. Bei dem gezeigten Beispiel ist unterstellt, daß die Leitfähigkeit ganz auf Elektronen beruht. Wenn entsprechend dem Schaubild (a in Fig. 10) Spannungen angelegt werden, so besteht ein Elektronenstrom, der von N_c nach N_e fließt. Dieser Strom wächst natürlich mit der Erhöhung des angelegten Potentials. Wenn das Potential V_3 , welches die Resultierende des an die Elektrode C angelegten Potentials in dem NC -Bereich darstellt, erhöht wird, so wird eine entsprechende Erhöhung des resultierenden Potentials V_2 in dem P -Bereich eintreten. Infolgedessen wird der Elektronenfluß von V_1 der Resultierenden des an die Elektrode E angelegten Potentials durch den P -Bereich von V_2 gesteigert. Es wird aber eine zeitliche Nacheilung zwischen der Zunahme von V_3 und dem gegenwärtigen Elektronenfluß von P nach N_c bestehen. Infolgedessen wird der zwischen P und N_c fließende Elektronenstrom gegenüber der Spannung V_3 phasenverschoben sein. Bei dem gezeigten Typ des Aufbaus wird diese Phasenverzögerung ausreichen, um die Phasenverschiebung des zwischen P und N_c fließenden Stromes gegenüber der Spannung V_3 größer als 90° zu machen. Unter diesen Bedingungen wird die Impedanz der Vorrichtung von der V_3 -Klemme aus gesehen negativen Widerstand aufweisen.

Die Theorie von verwandten elektronischen Vorrichtungen, die negativen Widerstand auf Grund der Laufzeit enthalten, ist in der Literatur bekannt (vgl. z. B. Bell System Technical Journal, Jan. 1934, Bd. 13, und Okt. 1935, Bd. 14). Damit solche Vorrichtungen arbeiten können, ist es erforderlich, daß die Einschwingkurve für eine Änderung der an die Elektrode C angelegten Spannung bei V_3 eine geeignete Charakteristik aufweist. Das Haupterfordernis dieser Charakteristik besteht darin, daß die der Änderung von V_3 folgende Einschwingung des Stroms mit einer gewissen Verzögerung nach der Änderung von V_3 stattfindet. Bei der Vorrichtungsart gemäß Fig. 10 ergibt sich dieses erwünschte Merkmal von selbst. Der Grund hierfür ist der, daß die Elektronen relativ langsam durch den P -Bereich wandern, während sie den Spalt von P nach N_c rasch durchqueren wegen des dort bestehenden starken elektrischen Feldes. Infolgedessen befördern die Elektronen, welche während einer Phase von V_3 von N_e nach P fließen, ihren Hauptstrom von P nach N_c zu einem späteren Zeitpunkt und können so veranlaßt werden, mit einer Phasenverschiebung von mehr als 90° gegenüber der Spannung, die an V_3 angelegt ist, zu strömen und auf diese Weise negativen Widerstand zu liefern.

Diese Wirkungen lassen sich weiter steigern durch Anwendung eines Aufbaus gemäß Fig. 10 mit einer Sperrschicht zwischen N_c und Elektrode C , wofür das Schaubild in der schematischen Darstellung gemäß Fig. 10B veranschaulicht ist. Eine solche Sperrschicht an der Stoßstelle von N_c und Elektrode C läßt sich mittels einer Elektrode C schaffen, die dem

Kollektor C ähnlich ist, der oben in Verbindung mit den Fig. 3A und 3B beschrieben wurde. In diesem Fall besteht eine Sperrschicht für den von N_c nach C fließenden Elektronenstrom, wie das Ansteigen der Schaubildlinien in dem N_c -Bereich von Fig. 10B erkennen läßt. Die Elektronen, die sich in dem Potentialminimum links von C sammeln, steigern den Löcher-Fluß von C zurück nach P und von hier nach E . Laufzeitwirkungen werden sowohl in der Elektronenströmung von P nach N_c als auch in der Entwicklung einer Potentialdifferenz an der Sperrschicht vor C auftreten, und zwar auf Grund der Elektronenansammlung und der Löcher-Laufzeit durch den N_c -Bereich. Diese Wirkungen können wiederum ausgenutzt werden, um einen negativen Widerstand für die Vorrichtung bei einer Frequenz, die in geeigneter Weise auf die gesamte wirksame Laufzeit und auf die Form der Stromdurchgangskurve eingestellt ist, zu schaffen.

Es wird angenommen, daß eine logische Erläuterung der Arbeitsweise von Vorrichtungen entsprechend der Erfindung in Verbindung mit einer Vorrichtung ähnlich derjenigen nach Fig. 3 gegeben werden kann. Obgleich nach der Theorie die elektrischen Ströme, die bei Halbleitern von Interesse sind, von Elektronen befördert werden, so ist es entsprechend solcher Theorie auch wohlbekannt, daß die Elektronen den Strom entweder nach dem Überschußprozeß, den man Leitung mittels Elektronen nennt, oder nach dem Mangelprozeß, den man Leitung mittels Löchern nennt, befördern.

Für die Zwecke der Erläuterung soll betrachtet werden, wie zwei Leitungsprozesse mittels Elektronen eine übliche Vakuumröhre befähigen, zu arbeiten. In der Vakuumröhre bestehen die beiden Prozesse aus 1. metallischer Leitung und 2. Glühkathodenemission mit folgender Strömung durch den Raum. Wenn die Spannung am Gitter des Rohrs geändert wird, ändert sich seine Ladung durch den Stromfluß in seine Zuführungen und Drähte, und zwar bei metallischer Leitung. Diese Ladung erzeugt ein Feld, welches die Elektronenraumladung bei der Kathode anzieht oder zurückdrängt und auf diese Weise den durch das Gitter zur Anode gehenden Raumstrom steuert. Ein wichtiges und nützliches Merkmal einer Vakuumröhre ist es, daß diese beiden Ströme sich nicht mischen; die hohe Austrittsarbeit und niedrige Temperatur der Gitterdrähte hindern den Metalleitungsstrom daran, das Gitter zu verlassen und zu der Anode zu fließen. Die Tatsache, daß das Gitter mit Bezug auf die Kathode negativ ist, hindert den Raumstrom daran, das Gitter zu erreichen. Auf diese Weise steuert der Elektronenfluß infolge metallischer Leitung im Gitter den Raumstrom von der Kathode zur Anode. Praktisch wird von dem Gitter aber keine Leistung verbraucht, da sein Ladestrom von dem Raumstrom, den es steuert, getrennt ist. Diese Betrachtung, welche einige Elemente der Vakuumrohrtheorie außer acht läßt, wie z. B. Verschiebungsströme, Laufzeiteinflüsse usw., dient als eine Grundlage für die Feststellung, wie die beiden Leitungsprozesse in Halbleitern eine ähnliche nützliche

Steuerung einer Stromform durch die andere bewirken mögen.

In Fig. 11 ist eine Ausführung eines Halbleiteraufbaus gezeigt, die einer Dreielektrodenvakuumröhre entspricht. In dieser Fig. zeigen die Diagramme a , c und d die Elektronenenergien in den vollen Bändern (schraffierte Flächen) und in den Leitungsbändern (Bereich über der oberen Linie jedes Diagramms) des Halbleiters in der üblichen Weise; die Kreuze in dem unerlaubten Band (schraffurfreier Bereich zwischen der oberen und der mittleren Linie jedes Diagramms) bezeichnen die Spender und die Striche in dem P -Bereich des unerlaubten Bandes bezeichnen die Nehmer. Der physikalische Aufbau des Halbleiters ist bei e gezeigt und umfaßt drei Halbleiterzonen mit Anschlußelektroden E , B und C , die der Kathode, dem Gitter und der Anode einer Vakuumröhre entsprechen, wie das bei f veranschaulicht ist. Die verschiedenen Teile des Halbleiters stehen in engem Kontakt miteinander, so daß keine Oberflächenzustände, wie sie an freien Flächen von Halbleitern auftreten, oder andere größere Unvollkommenheiten an den Grenzflächen bestehen. Die hauptsächliche Änderung in den Eigenschaften sollte auf der unterschiedlichen Konzentration der Unreinigkeiten beruhen, wie bei b veranschaulicht ist, wo die Konzentration der Spender abzüglich der Konzentration der Nehmer gezeigt ist.

Nach Fig. 11a sind an die Elektroden keine Potentiale angelegt, und der Fermipegel ist lagenunabhängig, d. h. er ist beim Fehlen angelegter Potentiale durch den ganzen Körper gleich, wie das die horizontale gestrichelte Linie bei a zeigt. (Der Fermipegel, der zuweilen das chemische Potential für Elektronen genannt wird, ist der Parameter ϵ' in der Fermidiracverteilungsfunktion $f = 1 / [1 + \exp(\epsilon - \epsilon' / kT)]$). Er kann interpretiert werden als ein Potential durch Teilung durch die Ladung des Trägers, in diesem Fall die negative Ladung des Elektrons. Das Diagramm 11^a ist so ausgeführt worden, daß es eine wesentlich stärkere Elektronenkonzentration in N als Löcher in P zeigt, da der Fermipegel enger am Leitungsband in den N -Bereichen als im P -Bereich liegt. Die N -Konzentration ist in der Tat so hoch, daß ein entartetes Gas gebildet wird, wie in einem Metall.

Wenn die Elektroden E und B (Diagramm e der Fig. 11) beide auf einem Potential V_1 gehalten werden und C mehr positiv bis zu einem Potential V_3 gemacht wird, so ergibt sich die im Diagramm c veranschaulichte Situation. Das entspricht dem Anlegen einer Spannung in der umgekehrten Richtung über die N_c - P -Verbindung des Diagramms e . In diesem Fall fließt ein schwacher Strom, da die Spannungen derart sind, daß sie Elektronen von links nach rechts und Löcher von rechts nach links drängen. Die Elektronen, die nach rechts gedrängt werden können, sind diejenigen, die in dem P -Bereich verfügbar sind. Sie sind im Vergleich zu den im P -Bereich befindlichen Löchern nicht zahlreich, da der Fermipegel (in jedem Bereich durch horizontale gestrichelte Linien dargestellt) näher am vollen Band

als am Leitungsband liegt und, ausgenommen für den entarteten Fall, die Anzahl der Träger mit dem Ausdruck $\exp(-q \Delta V / kT)$ abnimmt, worin ΔV den Abstand zwischen dem Fermipegel und dem betroffenen Band und q die elektronische Ladung bedeutet. Als Folge der geringen Anzahl von Löchern im N_c -Bereich und Elektronen im P -Bereich fließen sehr schwache Ströme durch die Sperrschicht, und die umgekehrte Richtung weist hohen Widerstand auf.

Im Diagramm d der Fig. 11 ist die zusätzliche Wirkung der Anlegung von Spannung V_1 zwischen E und B in der Vorwärtsrichtung, durch die N_e - P -oder die linke Sperrschicht gezeigt. Es ist dies die Vorwärtsrichtung für diese Sperrschicht, und die Elektronen haben das Bestreben, von N_e nach P zu fließen. Dieser Strom schwingt exponentiell mit der Spannungsdifferenz zwischen V_1 und der in der P -Zone resultierenden Spannung V_2 ein. Zur gleichen Zeit fließen Löcher von P nach N_e . Nach dem dargestellten Aufbau aber wird der Löcher-Strom viel schwächer sein als der Elektronenstrom; der Grund hierfür besteht wesentlich darin, daß, da mehr Elektronen in N_e als Löcher in P verfügbar sind, wie das durch die Ausbildung der Vorrichtung festgelegt ist, bei einer gegebenen Potentialdifferenz mehr Elektronen als Löcher fließen. Die Elektronen, welche nach P fließen, diffundieren thermisch in P . Auch werden sie in jedem bestehenden Feld wandern. Infolgedessen werden sie das Maximum in P überwinden und nach N_e fließen, von wo sie zur Elektrode C gelangen.

Es sei bemerkt, daß es mehrere andere Wege gibt, um den Löcher-Strom von P nach N_e zu verringern. Zwei dieser Wege sind in Fig. 12 veranschaulicht. Die Diagramme a und b dieser Figur entsprechen dem Gleichgewicht oder den Nullstromlagen für die betrachtete Vorrichtung; das Diagramm a gilt für eine Vorrichtung, deren N - und P -Zonen aus dem gleichen Halbleitermaterial bestehen oder aus Halbleitermaterialien, die die gleiche Energiedifferenz aufweisen; Diagramm b gilt für eine Vorrichtung, bei welcher das N_e -Zonen-Material, z. B. Silicium, eine größere Energiedifferenz aufweist als das Halbleitermaterial, z. B. Germanium, das für die P -Zone und für die N_c -Zone verwendet wurde. Unter diesen Bedingungen ist die Anzahl der Löcher im N_c -Bereich durch die Potentialenergiedifferenz U_1 bestimmt. Wenn eine Potentialdifferenz zwischen N_e und P in der Vorwärtsrichtung an der Sperrschicht angelegt wird, wie in Fig. 11 d beispielsweise gezeigt wurde, dann neigt die durch den Strom von P bedingte Konzentration in Löchern in N_e zum Ansteigen, und zwar exponentiell mit der Spannungsdifferenz V_2 bis V_1 . Ähnlich nimmt die Konzentration der von N_e nach P fließenden Elektronen in der gleichen exponentiellen Weise zu, und zwar ausgehend von einem durch U_2 bestimmten Wert. Wenn daher U_2 anfänglich kleiner als U_1 ist, wird die Neigung der Elektronen, von N_e nach P zu fließen, größer sein als die Neigung der Löcher zur Strömung von P nach N_e .

Alle in Fig. 11 und 12 in Betracht gezogenen

Fälle sind so bemessen, daß diese erwünschte Differenz zwischen U_2 und U_1 geschaffen wird, d. h. daß U_2 kleiner als U_1 ist. In Fig. 11 und 12a ist das verwirklicht durch Anwendung unterschiedlicher Konzentration an Unreinigkeiten in N_e und P , und zwar in solcher Weise, daß die wirksame Konzentration der Elektronen in N_e größer ist als die Löcher-Konzentration in P . In Fig. 11 ist die Elektronenkonzentration so hoch, daß eine entartete Situation besteht, während in Fig. 12a eine nicht-entartete Situation gezeigt ist (der Fermipegel liegt in der unerlaubten Zone). Nach Fig. 12b ist diese Wirkung weiter gesteigert durch Benutzung von zwei unterschiedlichen Halbleitern, wie oben angegeben. Der für N_e verwandte Halbleiter hat eine breitere Energiedifferenz, da er zum N -Typ gehört. Das erhöht den Wert von U_1 im Vergleich zu U_2 in dem P -Bereich. Die N_e -Zone kann beispielsweise aus N -Typ-Silicium bestehen, und die beiden anderen Zonen aus P -Typ- bzw. N -Typ-Germanium.

Wenn wir den Aufbau für den Augenblick idealisieren und alle Widerstände an den Metallhalbleiterkontakt stellen sowie den Löcher-Strom zwischen P und N_e vernachlässigen, so wird der Vergleich zwischen dieser Vorrichtung und einem Vakuumrohr klar. An der Stelle des Gitters befindet sich der P -Bereich, der mit Bezug auf N_e mit Löchern geladen werden kann. Dadurch wird der Elektronenstrom von N_e nach P moduliert, genau wie die Ladung am Gitter den Elektronenstrom von der Kathode moduliert. Der aus Löchern bestehende, nach P gehende Ladestrom fließt ebenso wenig nach N_e wie der Ladestrom zum Gitter. Daher bietet die Tatsache, daß zwei Leitungsvorgänge durch den P -Bereich bestehen, die Möglichkeit, daß eine Steuerung ähnlich derjenigen in einem Vakuumrohr stattfinden kann.

Bevor überlegt wird, wie die vorstehende Erläuterung zu ändern ist, wenn die vernachlässigten Merkmale in Rechnung gestellt werden, soll das Merkmal betrachtet werden, welches allen Vorrichtungen gemeinsam ist, die unter Verwendung einer Gleichstromleistungsquelle Wechselstromleistung verstärken. Solche Vorrichtungen haben einen Eingangskreis und einen Ausgangskreis und können für die Zwecke der Erläuterung als Vierpol angesehen werden. In das Eingangsklemmenpaar fließt Gleichstrom- und Wechselstromleistung (Pide und Piac) und zu den Ausgangsklemmen besteht ein ähnlicher Strom (Podc und Poac). Für einen eingeschwungenen Zustand verlangt das zweite thermodynamische Gesetz, daß die Summe aller dieser Leistungen positiv ist. Für einen Verstärker aber ist Poac und Piac negativ, was bedeutet, daß die Vorrichtung Wechselstromleistung abgibt. Bei einer üblichen Schaltung wird die Leistung zwischen Anode und Kathode abgenommen, und unter Betriebsbedingungen sind Wechselstrom und -spannung ähnlich denen eines negativen Widerstandes. Das bedeutet, daß die Anodenstrompendelung positiv ist, wenn die Anodenpotentialpendelung negativ ist. Der Grund für dieses Verhalten liegt darin, daß die Anodenimpedanz relativ hoch ist. Wenn daher die Gitter-

pendelung plus ist, wird der Anodenstrom über den Gleichstromwert vergrößert werden und vergrößert bleiben, auch wenn eine negative Anodenpendelung stattfindet. Infolgedessen kann an die Anode Leistung geliefert werden.

Die N_c - P -Sperrschicht wirkt weitgehend in der gleichen Weise wie der Gitteranodenbereich der Vakuumröhre. Es besteht ein beständiger Gegenstrom, der jedoch relativ unempfindlich gegen Anodenpotential ist. Der durch die Potentialdifferenz zwischen E und B bedingte Elektronenstrom ist auch relativ unempfindlich gegen Kollektorspannung, da die Elektronen, sobald sie einmal den Punkt des maximalen Potentials passiert haben, mit praktischer Bestimmtheit nach C hingezogen werden. Daher kann der Wechselstrom durch die N_c - P -Sperrschicht gegen die Spannung an C phasenverschoben werden, und die Abgabe von Ausgangsleistung ist möglich.

Nunmehr soll die Tatsache in Rechnung gestellt werden, daß in Wirklichkeit ein Stromfluß zu B besteht, der Eingangsleistung absorbieren kann. Dieser Strom geht von verschiedenen Quellen aus. Löcher strömen von N_c nach P und einige Löcher werden auch von P nach N_c strömen. Jeder dieser Ströme hat das Bestreben, die Impedanz von B herabzusetzen, und erhöht den Leistungsbedarf für deren Steuerung. Da B positiv ist, werden auch einige in P eintretende Elektronen das Bestreben haben, zur Elektrode B zu fließen, und dadurch zum Entstehen einer weiteren Leistungsverbrauchsstelle beitragen. Löcher und Elektronen werden sich auch in P vereinigen, und zwar im Vergleich zum thermischen Gleichgewicht, in gesteigertem Maß, da sowohl die Löcher-Konzentration als auch die Elektronenkonzentration in P merklich größer als normal sind. Das erfordert einen zusätzlichen Löcherstrom von B nach P . Man kann jedoch geeigneten geometrischen Erfordernissen Rechnung tragen, z. B. indem die P -Zone nicht zu dick gemacht wird, so daß diese Ströme genügend verringert werden, um eine wesentliche Leistungsverstärkung zu ermöglichen.

Der Grund hierfür besteht darin, daß, solange die P -Schicht nicht zu dick ist, ein wesentlicher Teil der von N_c nach P strömenden Elektronen nach N_c weiterströmen. Das bedeutet, daß die Wechselstromkomponenten des Stroms in C mit den Wechselströmen in E und B vergleichbar sind. Wie später auseinandergesetzt werden wird, kann eine geeignete Bedingung an der Elektrode C in Wirklichkeit zu größeren Wechselstromkomponenten in C als in E oder B führen. Des weiteren ist die Impedanz zwischen E und B relativ niedrig, da die N_c - P -Verbindungsstelle in der Vorwärtsrichtung betrieben wird. Da die Leistung gleich I^2R ist und die Eingangs- und Ausgangsströme vergleichbar sind, die Ausgangsimpedanz aber viel höher ist, ist auch die Ausgangsleistung viel höher.

Es soll nunmehr ein weiteres Mittel betrachtet werden, um die Trennbarkeit der beiden Leitungsvorgänge in Halbleitern zu benutzen, um den Wechselstrom I_c bei C im Vergleich zum Strom I_e bei E

und I_b bei B zu vergrößern. Nach Fig. 13, Diagramm a , ist der unmittelbar vor der Metallelektrode C liegende Bereich so dargestellt, als ob eine Schicht P_c aus P -Typ-Material zwischen N_c und C angebracht wäre. Das kann dadurch geschehen, daß man wirklich eine dünne Schicht aus P -Typ-Material zwischen N_c und Elektrode C anbringt oder daß man die Elektrode C entsprechend Fig. 3 B durch einen Spitzenkontakt ersetzt. Wenn die Spannung an B positiv gemacht wird, wird die N_c - P_c -Verbindungsstelle in der Vorwärtsrichtung betrieben. Ein erheblicher Teil des Stroms zwischen P_c und N_c kann daher aus Löchern bestehen, und dieser Stromteil wird zunehmen, wenn P_c auf stärkeren P -Typ, d. h. auf höheren Nehmer-Gehalt eingestellt wird. Um die vorstehend betrachteten Wirkungen zu steigern, ist ein Löcher-Strom von P_c nach N_c und dann nach P erwünscht. Deshalb ist die Darstellung so ausgeführt, als ob P_c mehr Löcher hat als N_c Elektronen aufweist, weil der Fermipegel in dem N_c -Bereich, der geringe Elektronenkonzentration zeigt, und ebenso in dem P_c -Bereich, der starke Löcher-Konzentration zeigt, in beträchtlichem Abstand von dem Leitungsband gehalten ist. Der Vorteil dieses Aufbaus besteht darin, daß er zu einer Vervielfachung des an dem Kollektor ankommenden Elektronenstroms führt.

Diagramm b in Fig. 13 zeigt die Situation bei nicht angelegter Spannung in einem gegenüber Fig. 13a vergrößerten Maßstab, wobei die Elektronen und Löcher eingezeichnet sind. In dem Leitungsband und im vollen Band sind die Elektronen und Löcher mittels Strichen bzw. Kreisen veranschaulicht, während in dem unerlaubten Band die Plus- oder Kreuzzeichen die Spender und die Minuszeichen oder Striche die Nehmer kennzeichnen. In diesem Fall sind der reine Löcher-Strom und die Elektronenströme jeweils null. Im Diagramm c der Fig. 13 ist die Situation veranschaulicht, wenn ein Elektronenstrom von P einströmt. Damit dieser Strom nach rechts abströmen kann, muß die Potentialsperrung zwischen N_c und C verringert werden. Das wird bewerkstelligt mittels Elektronen, die sich bei x ansammeln, bis ihre Ladung das Potential genügend hebt. Sie fließen dann nach C ab. Diese Änderung des Potentials erhöht auch die Leichtigkeit, mit welcher Löcher von P_c nach N_c gelangen, und dann nach P fließen. Die Situation ist bei vertauschten Rollen der Löcher und Elektronen ganz ähnlich derjenigen am Strahler. Dort wird der Elektronenstrom durch die Löcher-Ladung in dem P -Bereich vergrößert. Hier wird der Löcher-Strom durch eine Elektronenansammlung in dem N_c -Bereich vergrößert. Wie vorher, kann auch der Löcher-Strom viel größer sein als der Elektronenstrom, da in diesem Fall mehr Löcher verfügbar sind. Daher kann ein kleiner Elektronenstrom einen viel größeren Löcher-Strom induzieren.

Es ist indessen nicht nötig, daß die Schicht P_c einen Überschuß an Nehmern aufweist, um die besprochene Stromsteigerung zu bewerkstelligen. Das wesentliche Merkmal besteht darin, daß der Kontakt zwischen dem Metall und dem N_c -Bereich für die

Löcher-Strömung eine kleinere Sperrschicht darstellt als für die Elektronenströmung. Das läßt sich, wie weiter oben beschrieben wurde, bewerkstelligen, indem man dem P_c -Bereich eine ausreichende Anzahl von Nehrern zufügt. Das gleiche ergibt sich aber auch, wenn der Kontakt zwischen C und N_c eine genügend hohe gleichrichtende Sperrschicht aufweist, wie in Fig. 13d durch das Ansteigen der Kurven am Kollektor C gezeigt ist, und welche z. B. dadurch geschaffen werden kann, daß man bei C einen Gleichrichterkontakt wie in Fig. 3b anbringt. In diesem Fall haben die von P strömenden Elektronen das Bestreben, sich links von der Sperrschicht anzusammeln, bis eine Raumladung zustande kommt, welche die Potentialenergie für Elektronen wie in Fig. 13c erhöht. Diese Potentialänderung zwischen N_c und C wird den Löcher-Strom von C nach P vergrößern, wie oben beschrieben wurde.

Mittels dieses Vorgangs kann der Wechselstromanteil des Stroms J_c viel größer als derjenige des Stromes J_e gemacht werden; infolgedessen kann das Verhältnis der Leistungen in den Eingangs- und Ausgangskreisen sowohl durch Stromverstärkung als auch durch Spannungsverstärkung vergrößert werden.

Gewisse Beschränkungen bestehen hinsichtlich der Dimensionen von Teilen der besprochenen Einheiten. Diese können in Verbindung mit Fig. 3 und 3A erläutert werden. Unter Arbeitsbedingungen wird ein gewisser Strom durch die P -Zone 51 abgezogen. Damit das Potential von 51 im wesentlichen gleichförmig ist, darf sein Widerstand in der Richtung des Stromflusses, nämlich von der Grundelektrode 57 in der Figur aufwärts, nicht zu groß sein. Für irgendeine gegebene Breite und Leitfähigkeit in 51 wird damit die Minimaldicke, d. h. der Abstand zwischen den Sperrschichten 54 und 55, begrenzt. Ein anderes damit eng verbundenes Erfordernis bezüglich der Dicke ergibt sich daraus, daß diese dem Elektronenstrom von der N -Zone 52 zur N -Zone 53 einen wesentlichen Widerstand entgegengesetzt. Wenn die P -Zone zu dünn ist, wird die durch die Betriebsverbindung 55 in der umgekehrten Richtung erzeugte Raumladungsschicht fast die

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{neu}}(Ax_0, Ay_0, Az_0) &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \frac{\varphi_n(x, y, z) dx dy dz}{[(x-Ax_0)^2 + (y-Ay_0)^2 + (z-Az_0)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \frac{A^{-2} \varphi_0(x/A, y/A, z/A) A^3 (dx/A) (dy/A) (dz/A)}{A \left[\left(\frac{x}{A} - x_0 \right)^2 + \left(\frac{y}{A} - y_0 \right)^2 + \left(\frac{z}{A} - z_0 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon} \int \frac{\varphi_0(x', y', z') dx' dy' dz'}{[(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 + (z' - z_0)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ &= \varphi(x_0, y_0, z_0) \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich, daß die Potentialverteilung in ihrer linearen Ausdehnung einfach vergrößert ist, damit sie zu dem neuen Aufbau paßt. Alle Laufzeiten werden mit dem Faktor A^2 vergrößert. Das ergibt sich aus der Tatsache, daß sowohl die Diffusionskonstante als auch die Beweglichkeit die

ganze P -Zone durchdringen und damit deren Löcher und erwünschte Leitfähigkeit parallel zu der Sperrschicht ausschalten.

Eine maximale Begrenzung hinsichtlich der Dicke der P -Zone ergibt sich aus der Wiedervereinigung von Löchern und Elektronen. Die P -Zone darf nicht so breit sein, daß Elektronen, die von der N -Zone kommen, sich mit Löchern vereinigen, bevor sie durch die P -Zone hindurchgegangen sind und die N -Zone erreicht haben. Die Erfahrung mit Germanium mit hoher Gegenspannung zeigt, daß Abstände von wenigstens 10^{-2} cm unter dieser Beschränkung annehmbar sind, obgleich kleinere vorteilhaft sind. Eine ähnliche Beschränkung beruht auf Laufzeitwirkungen. In der P -Zone wird es elektrische Felder geben, die bestrebt sind, eine Wanderung der Elektronen zu veranlassen; auch werden die Elektronen infolge Konzentrationsanstieg diffundieren. Wegen dieser Wirkungen wird eine gewisse Zeit vergehen zwischen einer Potentialänderung an 51 und der Änderung der Elektronenströmung von 51 nach 53. Eine zusätzliche Zeitspanne vergeht, bevor diese Elektronen die zusätzliche P -Zone (Schicht 80, Fig. 3A) erreichen und den Löcher-Rückstrom nach 51 erzeugen. Wenn eine dieser Laufzeiten mit einer Periode des aufgedrückten Signals vergleichbar ist, so ergibt sich ein Verlust in der Verstärkung.

Die Laufzeit und andere kapazitive Wirkungen können verringert werden, indem man alle Nehmer- und Spender-Konzentrationen vergrößert und den Umfang der Vorrichtung verkleinert. Die allgemeine Richtung des Verhaltens ergibt sich aus Dimensionsbetrachtungen. Wenn jede lineare Dimension der Vorrichtung mit einem Faktor A vergrößert wird und jede Ladungsdichte mit einem Faktor A^{-2} , wird die Potentialverteilung dem Werte nach unverändert bleiben und nur dem Umfang nach ausgedehnt werden. Wenn $\varrho_0(x, y, z)$ die alte Ladung bezeichnet und

$$\varrho_n(x, y, z) = A^{-2} \varrho_0(x/A, y/A, z/A)$$

die neue Ladung, dann ist das neue Potential an einem Punkt Ax_0, Ay_0, Az_0

Längendimension in der zweiten Potenz enthalten, d. h. cm^2/sec und $\text{cm}^2/\text{volt-sec}$. Alle Stromdichten wachsen mit dem ϱ -fachen des elektrischen Feldes für Abtriftstrom, d. h. mit A^{-3} , und mit dem Konzentrationsgradient für Diffusionsstrom, d. h. mit $\varrho/\text{Länge}$ oder A^{-3} . Daher verändern sich alle Kon-

duktanzen je Flächeneinheit wie A^{-3} . Alle Kapazitäten der N - P -Verbindungsstellen usw. verändern sich wie $1/A$ je Flächeneinheit, so daß alle Ladungszeitkonstanten, Kapazität/Konduktanz, sich wie A^2 verändern. Dieses gleiche Resultat kann für die Einheit als Ganzes erreicht werden; da der spezifische Widerstand proportional $1/\rho$ oder A^2 und Widerstand gleich spezifischer Widerstand geteilt durch Länge, so verändert sich der Widerstand der Einheit mit A . Die Gesamtkapazität ändert sich auch mit A , womit wiederum eine Zeitkonstante proportional A^2 gegeben ist.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß alle Zeitkonstanten sich wie A^2 ändern. Wenn zwei Einheiten hergestellt werden, die um den Ausdehnungsfaktor A , wie beschrieben, voneinander abweichen, so sollten ihre äußeren Impedanzen sich entsprechend A ändern und ihre effektiven Laufzeitwinkel oder die Phasenwinkel ihrer Impedanzen gleich sein bei Frequenzen, die wie A^{-2} variieren.

Wirkungen der Wiedervereinigung von Elektronen und Löchern sollten nicht in wesentlicher Weise durch Änderung in der Ausdehnung, d. h. hinsichtlich der Weglänge, welche die Träger zurückzulegen haben, geändert werden. Das ergibt sich aus der Tatsache, daß die Wahrscheinlichkeit je Zeiteinheit, daß ein Elektron sich unmittelbar oder unter der Einwirkung eines Spenders oder Nehmers mit einem Loch vereinigt, ist proportional der Konzentration von Löchern, Spendern oder Nehmern, d. h. A^{-2} . Der Aufenthalt in jedem Bereich ist jedoch proportional A^2 . Daher ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Elektron oder Loch eine bestimmte Schicht ohne Wiedervereinigung durchquert, von A unabhängig.

Die Temperaturzunahme wird von A abhängen. Unter der Annahme, daß die thermische Leitfähigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit unabhängig ist, was für Halbleiter mit ziemlich hohem Widerstand angenähert stimmen wird, wird die thermische Leitfähigkeit der Einheit sich mit A ändern. Da die Ströme und infolgedessen die Leistung sich entsprechend A^{-1} ändern, wird der Temperaturanstieg A^{-2} proportional sein. Diese Veränderung muß beim Entwurf besonderer Einheiten beachtet werden und kann es erforderlich machen, Einheiten kleiner Ausdehnung bei weniger günstigen Spannungen zu betreiben als Einheiten großer Ausdehnung, um Temperaturanstiege zu verringern. Jegliche thermische Zeitwirkungen verändern sich, wie aus der Theorie bekannt ist und wie oben abgeleitet werden kann, entsprechend A^{-2} und wechseln daher ihre Frequenz mit der Ausdehnung, genau wie es die elektrischen Wirkungen tun.

Diese Ähnlichkeitstheorie zeigt, daß große Vorzüge bestehen, wenn Materialien mit relativ hohen Konzentrationen an Spendern oder Nehmern verarbeitet werden, und zwar im Hinblick auf das Hochfrequenzverhalten. Selbst im Prinzip aber kann die Änderung der Ausdehnung nicht zu weit getrieben werden, da, wenn der Aufbau zu klein wird, der im wesentlichen abgesonderte Charakter der Ladungsdichte bedeutungsvoller wird. Auch

wird die mittlere freie Weglänge des Elektrons oder Lochs mit der Dicke der Schichten vergleichbar. Bei genügend hohen Konzentrationen werden sich außerdem entartete Elektronen- oder Loch-Gase bilden. Obwohl diese die Einzelheiten des Beweises beeinflussen, werden sie indessen nicht den Schluß ungültig machen, daß der Betrieb bei höheren Frequenzen auf zunehmenden Konzentrationen und verringertem Ausdehnung beruht.

Es besteht ein hoher Grad von Symmetrie zwischen dem Verhalten von Elektronen und Löchern (vgl. z. B. F. S e i t z »Modern Theorie of Solids«, Mc Graw-Hill, 1940, Seiten 456 und 457). Aus diesem Grunde sind alle oben besprochenen Ergebnisse anwendbar, wenn Spender an die Stelle von Nehmern, Löcher an die Stelle von Elektronen treten und die Energiediagramme so angesehen werden, als ob sie Potentialenergien für Löcher, nicht für Elektronen darstellen. Es ist klar, daß diese Umstellung in keiner Weise ein bedeutsames Merkmal der vorliegenden Erfindung verändert, nämlich die Änderung der Durchströmschwierigkeit eines Bereichs von einem Leitfähigkeitstyp für Träger eines anderen Typs, indem die Konzentration der normalerweise in dem Bereich vorhandenen Träger elektrisch verändert wird.

Es sei bemerkt, daß die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen der Erfindung nur der Erläuterung dienen, und daß mannigfache Änderungen daran vorgenommen werden können, ohne vom Wesen und Geist der Erfindung abzuweichen.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Feste, leitende elektrische Vorrichtung unter Verwendung von Halbleiterschichten zur Steuerung elektrischer Energie, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitermaterial wenigstens zwei Zonen von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp aufweist, von denen jeweils zwei Zonen unterschiedlichen Leitfähigkeitstyps in einem Sperrschichtbereich aneinanderstoßen und daß Spannungen an elektrische Anschlüsse für jede Zone an relativ weit vom Sperrschichtbereich liegenden Punkten und an einen Anschluß an dem Sperrschichtbereich angelegt sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eins der Mittel zur Anbringung elektrischer Anschlüsse an den Zonen unterschiedlichen Leitfähigkeitstyps eine Verbindungsstelle des anderen Leitfähigkeitstyps von Halbleitermaterial bildet.

3. Vorrichtung nach jedem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterkörper $n + 1$ Zonen aufweist, worin n eine gerade, positive und ganze Zahl ist und daß jeweils zwei Zonen gleichen Leitfähigkeitstyps durch eine Zone entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps getrennt sind, wobei ein Sperrschichtbereich zwischen jedem Paar aneinandergrenzender Zonen unterschiedlichen Leitfähigkeitstyps besteht.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zone von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp aus einem Halbleitermaterial, z. B. Silicium, mit einem Gehalt an bezeichnenden Unreinigkeiten besteht, das einen breiteren Energiedurchgang aufweist als das Halbleitermaterial der beiden anderen Zonen, die z. B. aus Germanium mit einem Gehalt an bezeichnenden Unreinigkeiten bestehen.
5. Vorrichtung nach jedem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zusätzliche elektrische Gleichspannungsquellen, um in den Körper im wesentlichen parallel zu jedem Sperrschichtbereich ein elektrisches Feld zu erzeugen.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch die Serienschaltung der zusätzlichen Gleichspannungsquellen mit den Steuerungs- und gesteuerten Stromkreisen.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Felder in solchem Sinne angelegt sind, daß elektrischer Strom den Körper in der gleichen Richtung durchfließt, und der elektrische Anschluß der Zwischenzone von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp Mittel enthält, um an den Sperrschichtbereich zwischen der Zwischenzone und einer der getrennten Zonen ein elektrisches Feld anzulegen, welches zwecks Steuerung des Stromflusses zu der anderen der getrennten Zonen veränderlich ist.
8. Vorrichtung nach Ansprüchen 3, 4, 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Anschlüsse der Zonen mit der zugehörigen Zone einen im wesentlichen Ohmschen Kontakt bilden.
9. Vorrichtung nach jedem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiequellen eine Quelle von relativ niedriger Spannung, die an eine der getrennten Zonen angeschlossen ist, und eine Quelle von relativ hoher Spannung, die an die andere der getrennten Zonen angeschlossen ist, umfassen, wobei die Richtung dieser Spannungen so gewählt ist, daß in dem Körper ein Stromfluß zu dem Anschluß mit relativ hoher Spannung zustande kommt, und der elektrische Anschluß an der Zwischenzone Mittel enthält, um diesen Stromfluß durch die Zwischenzone zu steuern.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Zone, an welche die niedrige Spannung angelegt ist, aus einem Halbleiter, z. B. Silicium, mit einem Gehalt an bezeichnenden Unreinigkeiten, besteht, der einen anderen Energiedurchgang aufweist als das Material der Zone, an welche die relativ hohe Spannung angelegt ist und welche z. B. aus Germanium mit einem Gehalt an bezeichnenden Unreinigkeiten besteht.
11. Vorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Anlegung einer relativ hohen Spannung in der mit Bezug auf einen Sperrschichtbereich umgekehrten Richtung sowie durch Anlegen einer veränderlichen Vorspannung an wenigstens einem der anderen Sperrschichtbereiche.
12. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Zonen aus Germanium besteht.
13. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Zonen aus Silicium besteht.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper aus einem oder mehreren Paaren voneinander getrennter Zonen aus Material mit *N*-Typ-Leitfähigkeit besteht, wobei jedes Paar eine Zwischenzone aus Material mit *P*-Typ-Leitfähigkeit aufweist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper aus einem oder mehreren Paaren voneinander getrennter Zonen aus Material mit *P*-Typ-Leitfähigkeit besteht, wobei jedes Paar eine Zwischenzone aus Material mit *N*-Typ-Leitfähigkeit aufweist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gitter in der Zwischenzone eingelagert ist und das Anschlußmittel für jede der getrennten Zonen einen leitenden Metallbelag auf einem Teil jeder der getrennten Zonen aufweist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß derjenige Teil jeder der getrennten Halbleiterzonen, der mit dem leitenden Metallbelag in Berührung steht, und derjenige Teil der Zwischenzone, der mit dem Gitter in Berührung steht, ein relativ hohes Verhältnis an bezeichnender Unreinigkeitscharakteristik von dem Leitfähigkeitstyp der zugehörigen Zone aufweisen.
18. Vorrichtung nach jedem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß diejenigen Zonenteile, die den Bereichen benachbart sind, wo die Mittel für die Herstellung elektrischen Kontakts mit den Zonen in Berührung stehen, zwecks Herabsetzung des Widerstands der Verbindungsstellen relativ hohe Konzentrationen an bezeichnenden Unreinigkeiten aufweisen, die den Leitfähigkeitstyp der Zonen bestimmen.
19. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannungsquellen zur Steuerung des elektrischen Energieflusses zwischen zwei der Anschlüsse eine gegenseitige Einwirkung elektrischer Einflüsse von den anderen Anschlüssen hervorrufen.
20. Vorrichtung nach jedem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zonen entgegengesetzten Leitfähigkeitstyps nebeneinanderliegen und die elektrischen Anschlußmittel für die Zonen eine Eingangsverbindung von relativ niedriger Impedanz enthalten, um den Strom zu veranlassen, in eine der Zonen zu fließen, und eine Ausgangsverbindung von relativ hoher Impedanz aufweisen, um den Strom von einer anderen Zone abzunehmen.

21. Vorrichtung nach jedem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel für die Herstellung elektrischer Anschlüsse an jeder Zone Mittel zur Herstellung gleichrichtender Verbindungen an in Abstand voneinander liegenden Zonen und einer Verbindung für die Einführung elektrischer Ladung in den Körper zwischen den in Abstand voneinander liegenden Zonen aufweisen zu dem Zweck, den zwischen den gleichrichtenden Verbindungen fließenden Strom zu steuern.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbindung für die Einführung elektrischer Ladung in den Körper zwischen den in Abstand voneinander liegenden Zonen zwischen den gleichrichtenden Verbindungen angebracht ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Mittel zur gegenseitigen Verbindung aufeinanderfolgender Zonen des Körpers zwecks Bildung eines Senderabschnitts, Mittel zur gegenseitigen Verbindung anderer Zonen des Körpers zwecks Bildung eines Steuerabschnitts und Mittel zur gegenseitigen Verbindung beider Abschnitte zwecks Erzielung eines gemischten Ausgangs.
24. Vorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch Mittel zur gegenseitigen Verbindung aufeinanderfolgender Zonen des Körpers zwecks Bildung eines Senderabschnitts und Mittel zur gegenseitigen Verbindung anderer Zonen des Körpers zwecks Bildung eines Steuerelements für den Sender.
25. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 7, gekennzeichnet durch Mittel zur Steigerung der Stromverstärkung, bestehend aus einer zusätzlichen Sperrschicht, die dem elektrischen Anschluß für die getrennten Zonen zugeordnet ist, der als Ausgangsanschluß dient.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangsanschluß einen im wesentlichen Ohmschen Kontakt mit einer zusätzlichen Zone aufweist, deren Leitfähig-

keitstyp mit demjenigen der Zwischenzone des Körpers übereinstimmt und daß die zusätzliche Zone zwischen derjenigen der getrennten Zonen, welche den Ausgangsanschluß trägt, und der Ausgangsverbindung eingefügt ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenzone in dem Stoßbereich nur an einem Teil der getrennten Zonen anliegt, während der restliche Stoßbereich der getrennten Zonen mit einer Isolierscheibe ausgefüllt ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß eine der voneinander getrennten Zonen verjüngt ist, derart, daß der dünnere Teil neben der Isolierscheibe liegt, und eine Hilfszone, deren Leitfähigkeitstyp mit demjenigen der Zwischenzone übereinstimmt, an die verjüngte Zone anschließt, wobei die Mittel für die Herstellung elektrischer Anschlüsse an die Hilfszone angeschlossen sind.

29. Feste, leitende elektrische Vorrichtung unter Verwendung von Halbleiterschichten zur Steuerung elektrischer Energie, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitermaterial wenigstens zwei Zonen vom gleichen Leitfähigkeitstyp, eine dritte zwischen je zwei der genannten Zonen liegende Zone von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp aufweist und daß Spannungen über elektrische Anschlüsse an jede der zwei Zonen vom gleichen Leitfähigkeitstyp angelegt sind.

30. Vorrichtung nach Anspruch 29, gekennzeichnet durch Mittel zum Aufdrücken eines veränderlichen Potentials zwischen der dritten bzw. jeder dritten Zone und einer der zwei Zonen.

31. Vorrichtung nach jedem der Ansprüche 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eins der Mittel zur Herstellung elektrischer Anschlüsse an das Zonenpaar gleichen Leitfähigkeitstyps eine Verbindung mit einer Hilfszone aufweist die aus Halbleitermaterial von entgegengesetztem Leitfähigkeitstyp besteht.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

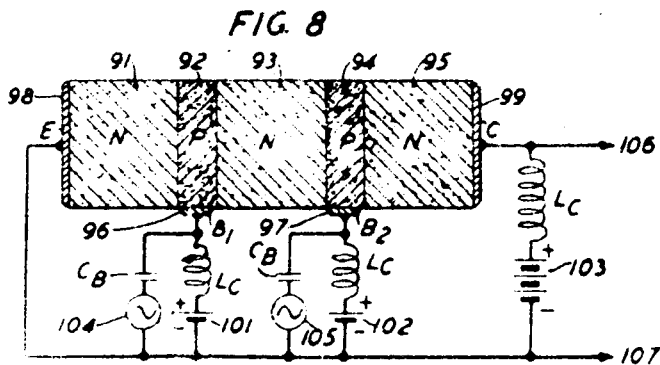
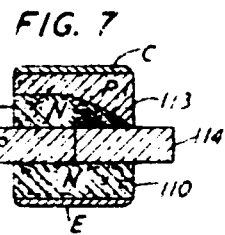
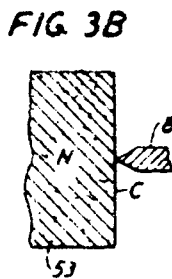
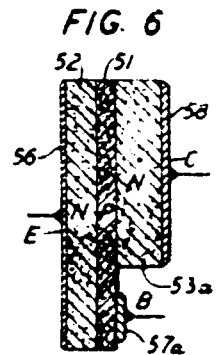
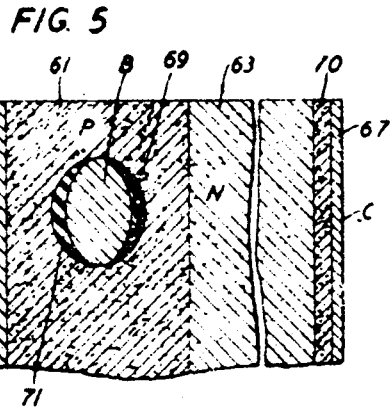
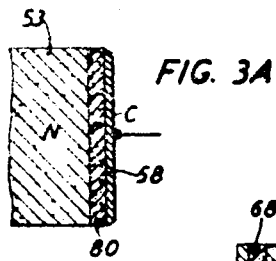
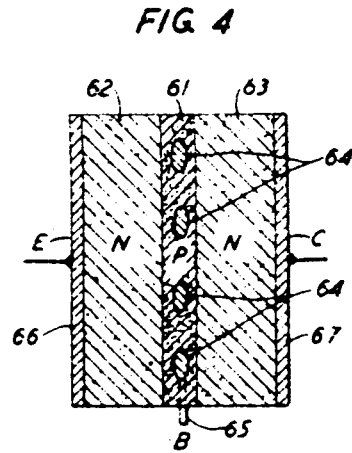
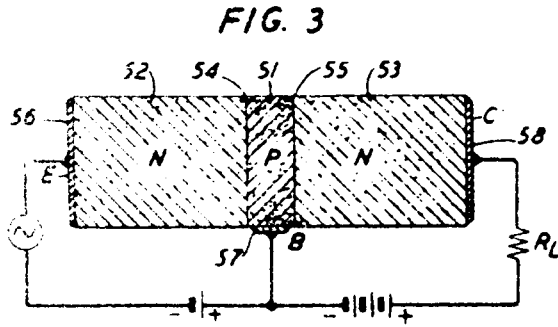
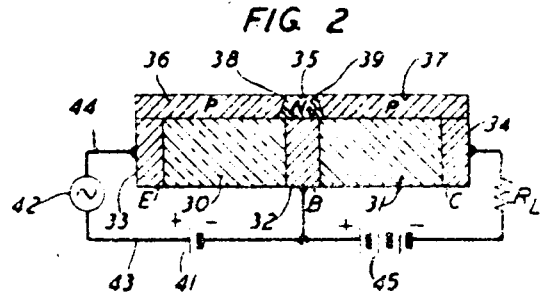
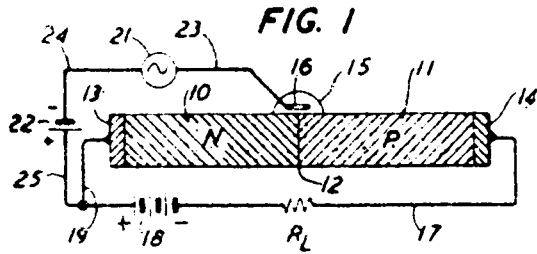


FIG. 9

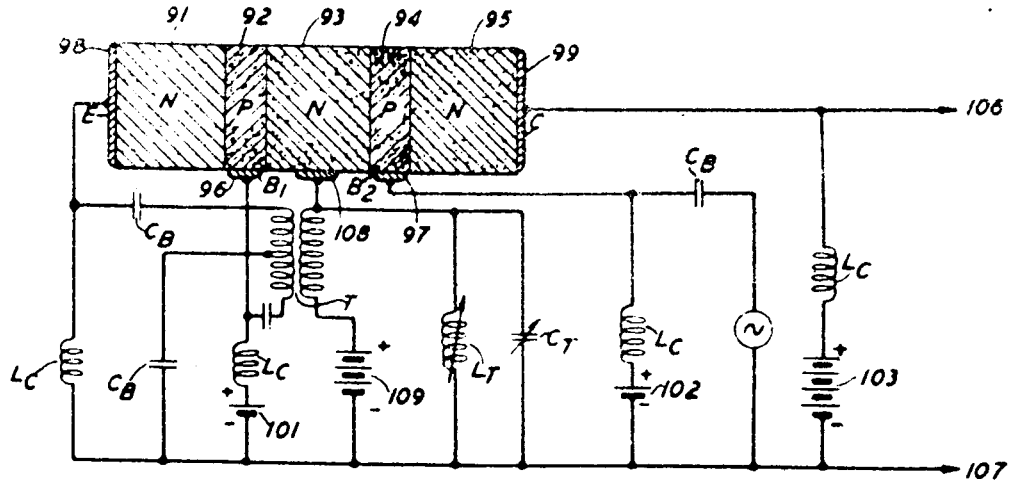


FIG. 10

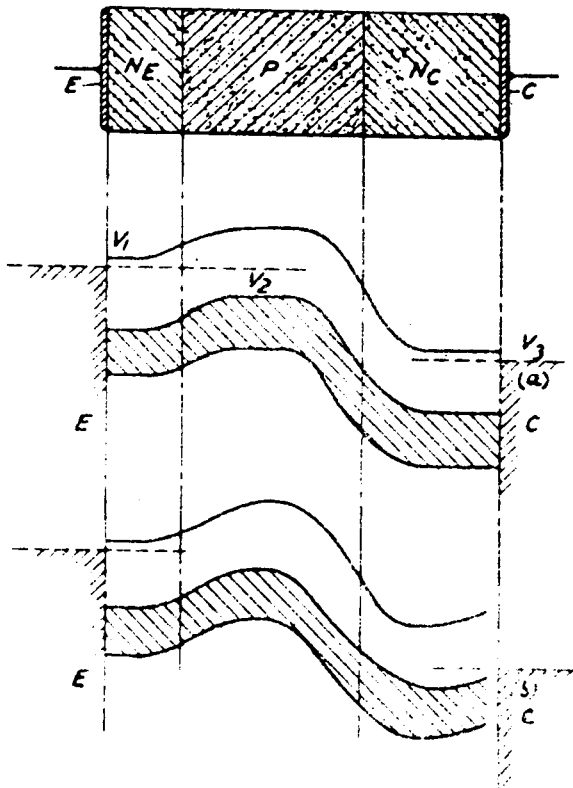


FIG. 12

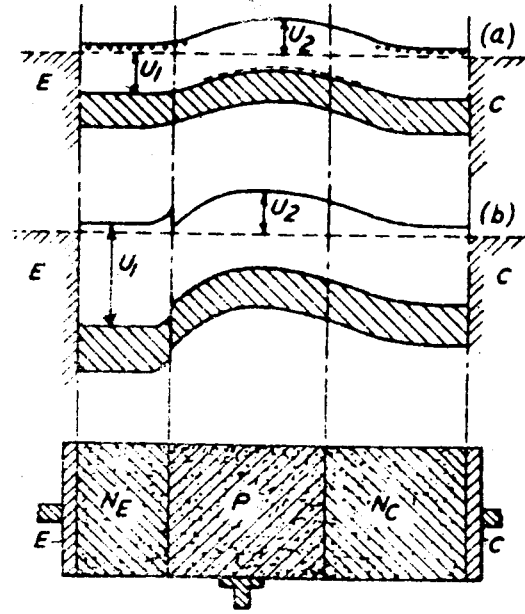


FIG. 11

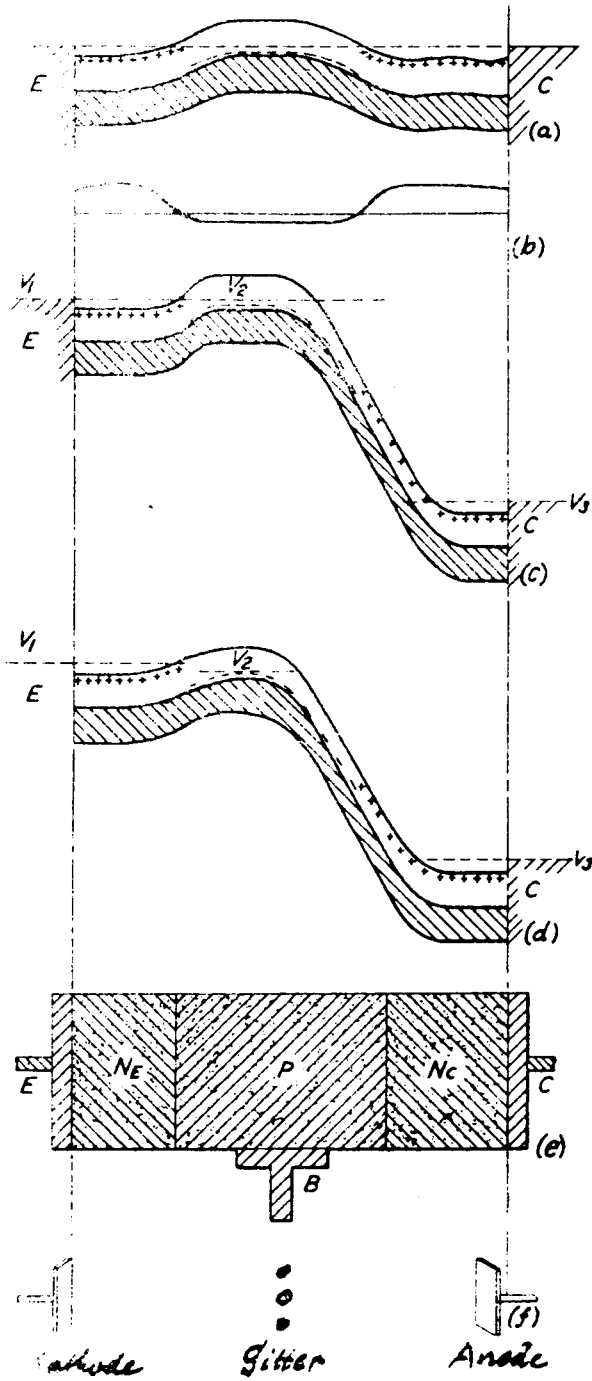


FIG. 13

