(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 0 977 299 A2

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.02.2000 Patentblatt 2000/05

(51) Int. Cl.[7]: **H01P 1/10**, H01P 3/08, H01P 5/04, H01P 7/08

(21) Anmeldenummer: **99113897.5**

(22) Anmeldetag: **16.07.1999**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **25.07.1998 DE 19833512**

(71) Anmelder: **DaimlerChrysler AG**
70567 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
- **Wenger, Josef, Dr.**
  89250 Senden (DE)
- **Stotz, Michael**
  89173 Lonsee (DE)
- **Downar, Hartmut, Dr.**
  88709 Hagnau (DE)
- **Scherber, Werner, Dr.**
  88697 Bermatingen (DE)

(54) Aktives Hochfrequenzsteuerelement

(57) Die Erfindung betrifft eine aktives HF-Steuerelement, mit

— einem HF-tauglichen Substrat, sowie einer darauf angebrachten HF-Leitungsanordnung;
— einem auf dem Substrat befindlichen Steuerschicht, deren elektrische Leitfähigkeit durch Temperaturänderung steuerbar ist, wobei die Steuerschicht an mindestens einer Stelle mit der HF-Leitungsanordnung gekoppelt ist,
— Mittel zur Temperaturänderung der Steuerschicht.

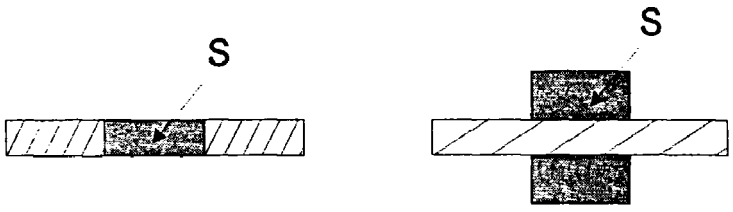


Fig. 1

EP 0 977 299 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein aktives Hochfrequenzsteuerelement sowie seine Verwendung in Hochfrequenzschaltungsanordnungen.

[0002] In Hochfrequenzschaltungsanordnungen (Hochfrequenz wird im folgenden mit HF abgekürzt) werden insbesondere aktive HF-Bauelemente wie z.B. Dioden, Transistoren, Röhren als Steuerelemente eingesetzt. Zur Herstellung dieser Bauelemente müssen jedoch aufwendige Technologien angewendet werden.

[0003] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein aktives Hochfrequenzsteuerelement zu schaffen, das kostengünstig herstellbar ist.

[0004] Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand weiterer Ansprüche.

[0005] Das erfindungsgemäße HF-Steuerelement basiert auf der Koppelung einer herkömmlichen HF-Leitung mit einer Steuerschicht, deren elektrische Leitfähigkeit durch Temperaturänderung steuerbar ist. Dabei sind solche Materialien zu bevorzugen, deren Leitfähigkeit eine sprunghafte Änderung, z.B. um mehrere Zehnerpotenzen erfährt. Die Steuerschicht ist wie die HF-Leitungsanordnung auf einem HF-tauglichen Substratmaterial (beispielsweise Keramikmaterialien wie Aluminiumoxid bzw. Saphir) aufgebracht.

[0006] Als Materialien für die Steuerschicht sind insbesondere Phasenübergangsmaterialien geeignet, die einen großen Leitfähigkeitssprung beim Übergang zeigen. Eine sehr gut geeignete Substanz ist Vanadiumdioxid VO_2, das bei $T_c = 68°C$ vom halbleitenden Zustand in einen metallischen Zustand übergeht. Unterhalb der Übergangstemperatur ist VO_2 hochohmig, bei Erwärmung über die Übergangstemperatur erhöht sich die Leitfähigkeit von VO_2 um einen Faktor von etwa 10^4. Durch Dotierung mit Metallionen läßt sich die Übergangstemperatur noch innerhalb gewisser Grenzen verschieben (etwa zwischen 0 und 100°C).

[0007] Bei anderen Einsatztemperaturen der Bauelemente können auch Materialien wie V_2O_3 (T_c= -115°C), NiS (-23°C), NbO_2 (800°C), $FeSi_2$ (700°C), $LaCoO_3$ (430°C), La_2NiO_3 (230°C), Ti_2O_3 (400°C), Ti_4O_7 (-150°C), Ti_5O_9 (-175°C) oder Fe_3O_4 (-180°C) und andere eingesetzt werden. Die Fig. 14 zeigt die elektrische Leitfähigkeit einiger Phasenübergangsmaterialien in Abhängigkeit von der reziproken Temperatur.

[0008] Um den Phasenübergang zu induzieren, muß die Temperatur möglichst schnell erhöht werden. Dies kann mit Hilfe eines Stromes durch resistives Heizen der Steuerschicht oder durch Heizen mittels elektromagnetischer Wellen realisiert werden.

Resistive Heizung:

[0009] Vanadiumdioxid zeigt bei Zimmertemperatur ein halbleitendes Verhalten. Wird ein Strom durch eine Leiterbahn, die aus diesem Material besteht, geleitet, wird das Material durch seinen hohen ohmschen Widerstand schnell erwärmt, bis es die Phasenübergangstemperatur erreicht. Handelt es sich um eine strombegrenzte Quelle, stoppt die Erwärmung wegen der drastischen Widerstandsreduzierung gerade oberhalb der Übergangstemperatur selbstständig. Die Aufheiz- bzw. Abkühlgeschwindigkeit ist einstellbar über die Wärmekopplung der Steuerschicht zum Substrat und durch die zugeführte elektrische Leistung. Die Wärmekopplung der Steuerschicht zum Substrat kann durch eine Wärmeisolationsschicht zwischen Substrat und Steuerschicht eingestellt werden.

Elektromagnetische Heizung:

[0010] Eine elektromagnetische Heizung kann zum Beispiel über eine Blitzlampe oder eine Laserdiode realisiert werden. Die zu schaltende Steuerschicht kann wie bei der elektrischen Heizung durch eine Wärmeisolationsschicht vom Substrat thermisch entkoppelt werden. Durch Bestrahlung der Steuerschicht wird diese sehr schnell erwärmt und schaltet in den leitfähigen Zustand.

[0011] Das erfindungsgemäße aktive Hochfrequenzsteuerelement bietet eine Reihe von Vorteilen:

- es kann die bekannten aktiven HF-Bauelemente, wie z.B. Dioden, Transistoren, Röhren ersetzen;
- es sind einfache und kostengüngstige Technologien zur Herstellung möglich;
- es ist kompatibel zu planaren Schaltungen.

[0012] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1, 3	jeweils Ausführungen des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements;
Fig. 2	Wellenwiderstandsänderung und Phasenänderung in Abhängigkeit von der Breite einer Streifenleitung;
Fig. 4	zwei Ausführungen des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements mit resistiver Heizung der Steuerschicht;
Fig. 5	Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem SPST-Schalter;
Fig. 6	Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem SPDT-Schalter;
Fig. 7	Streuparameter eines SPDT-Schalters nach Fig. 6;

Fig. 8 Transmissionsverluste eines SPDT-Schalters nach Fig. 6;

Fig. 9 Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem SPDT-Schalter;

Fig. 10 Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem Phasenumschalter;

Fig. 11 Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem schaltbaren Interdigitalkondensator;

Fig. 12 Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einer schaltbaren Induktivität;

Fig. 13 Verwendung des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in einem schaltbaren Resonator;

Fig. 14 Elektrische Leitfähigkeit einiger für das erfindungsgemäße HF-Steuerelement geeigneter Materialien in Abhängigkeit von der reziproken Temperatur.

[0013] Die Fig. 1 zeigt zwei mögliche Ausführungen des erfindungsgemäßen Hochfrequenzsteuerelements. In der in Fig. 1a gezeigten Ausführung bildet die Steuerschicht S aus einem Material mit steuerbarer Leitfähigkeit einen Abschnitt einer durchgehenden HF-Leitung. Steuerschicht S und HF-Leitung sind also seriell geschaltet. Bei Erwärmung über oder Abkühlung unter die Übergangstemperatur des Materials der Steuerschicht S kann die Transmissionseigenschaft der Leitung zwischen durchgängig (Transmission) und leerlaufend (Isolation) modifiziert werden.

[0014] In Fig. 1b ist die erfindungsgemäße Steuerschicht S parallel zu einer durchgehenden HF-Leitung angeordnet. Durch Temperaturänderung kann der Wellenwiderstand und die Phase der Leitung gesteuert werden.

[0015] Fig. 2 veranschaulicht die Wellenwiderstandsänderung und die Phasenänderung einer 10 mm langen Streifenleitung auf 125 µm dickem Aluminiumoxid-Substrat als Funktion der Leiterbreite.

[0016] Das erfindungsgemäße Steuerelement kann auch Verwendung finden zum Schalten von Signalen auf planaren Leitungsstrukturen. Fig. 3a und Fig. 3b zeigen beispielhaft anhand einer Streifenleitung die prinzipielle Funktionsweise. Wahlweise kann das Ende einer leerlaufenden Leitung über die Steuerschicht S kurzgeschlossen (Fig. 3a) oder mit weiteren Leitungsstrukturen verbunden werden oder eine Durchgangsleitung wird an definierter Stelle mit der Masse (Fig. 3b) oder mit anderen Leitungen kontaktiert. Ferner kann die Steuerschicht S den Endabschnitt einer HF-Stichleitung bilden, wie in Fig. 3 c dargestellt. Somit kann die für die Hochfrequenz wirksame Länge der Stichleitung eingestellt werden.

[0017] Die Funktion des erfindungsgemäßen Steuerelements ist in den Fig. 1 und 3 exemplarisch für eine planare Streifenleitung demonstriert. Es kann aber auch bei anderen Leitungstypen realisiert werden (Koplanarleitung, Schlitzleitung, Finleitung, etc.).

[0018] Das Erwärmen der Steuerschicht über die kritische Temperatur kann beispielsweise durch eine resistive Heizung erfolgen. Zwei Ausführungen des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements mit resistiver Heizung sind in den Fig. 4a und 4b dargestellt. Die dort gezeigten HF-Steuerelemente basieren auf den in der Fig. 1a und Fig. 3b gezeigten Ausführungen. Unter Einsatz einer (hier nicht dargestellten) Stromquelle wird durch die Steuerschicht S hindurch ein elektrischer Strom geleitet, der zu einer resistiven Erwärmung der Schicht führt. Die schmalen Schlitze GT in der Hochfrequenzleitung sorgen für die galvanische Trennung. Die Hochfrequenzsignale werden kapazitiv über die Schlitze GT gekoppelt.

[0019] Im folgenden wird der Einsatz des erfindungsgemäßen HF-Steuerelements in HF-Schaltungsanordnungen beschrieben.

Einfachschalter (Ein-/Ausschalter, SPST=single-pole-single-throw)

[0020] Ein SPST-Schalter entsteht zum Beispiel, wenn die erfindungsgemäße Steuerschicht S zum Umschalten einer Stichleitung (Stub) SL zwischen Leerlauf und Kurzschluß gegen eine Massemetallisierung MM in einer T-Verzweigung eingesetzt wird. Ausführungen eines solchen Schalters sind in Fig. 5 dargestellt. Die erfindungsgemäße Steuerschicht ersetzt dabei die üblicherweise in HF-Schaltern eingesetzten Halbleiterbauelemente (Dioden oder Transistoren).

[0021] In Fig. 5a ist ein derartiger Ein-/Ausschalter in Streifenleitungstechnik skizziert. Fig. 5b zeigt einen Schalter in Koplanarleitungstechnik mit Innenleiter IL und Massenmetallisierung MM. Der Entwurf eines derartigen Schalters ist im folgenden für eine Betriebsfrequenz von 24,125 GHz (Mittenfrequenz des ISM-Bandes) beschrieben. Die Freiraumwellenlänge λ_0 bei 24,125 GHz beträgt 12,44 mm. Für Leitungstransformatoren ist jedoch die Leitungswellenlänge λ entscheidend, die wie folgt definiert ist:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{r\,eff}}} .$$

[0022] Für die in diesem Beispiel gewählte 50Ω Koplanarleitung beträgt die effektive Dielektrizitätszahl $\varepsilon_{r\,eff} = 5{,}39$. Die Leitungswellenlänge ergibt sich damit zu 5,36 mm.

[0023] Zu Beginn des Entwurfes ist festzulegen, ob

der Schalter unterhalb der Sprungtemperatur der Steuerschicht auf Transmission oder Isolation geschaltet sein soll. Wählt man eine offene Stichleitung, deren Länge gleich der Hälfte der Leitungswellenlänge (oder ein ganzzahliges Vielfaches davon) ist, so hat die Leitung keine Transformationseigenschaften. Dies bedeutet, daß im Ersatzschaltbild in Fig. 5c der Widerstand R als unendlich angenommen werden kann. Da die Stichleitung SL für die eingespeiste HF-Leistung nun keine Wirkung hat, verhält sich die T-Struktur wie eine einfache Durchgangsleitung. Wählt man jedoch die Länge der Stichleitung SL zu $\lambda/4$ (oder als ein ungerades Vielfaches von $\lambda/4$), so transformiert die Leitungslänge den Leerlauf in einen Kurzschluß (bezogen auf die Referenzebene). Dies bedeutet im Ersatzschaltbild $R=0\Omega$ und die T-Struktur verhält sich wie eine aufgetrennte Leitung.

[0024] Nachdem der Leitungsentwurf festgelegt ist, geschieht das Schalten mittels der erfindungsgemäßen Steuerschicht wie folgt:

[0025] Wählt man die Länge der Stichleitung SL gleich der Hälfte der Leitungswellenlänge (oder einem Vielfachen davon), und befindet sich die Steuerschicht S im isolierenden Zustand, so ist der SPST-Schalter geschlossen (Transmission). Durch Temperaturänderung kann die Leitfähigkeit der mit der Masse verbundenen Steuerschicht S drastisch erhöht werden, so daß ein Kurzschluß mit der Masse hergestellt wird. Der Schalter befindet sich nun im offenen Zustand (Isolation).

[0026] Wählt man dagegen die Länge der Stichleitung SL zu $\lambda/4$ (oder einem ungeraden Vielfachen von $\lambda/4$) und befindet sich die Steuerschicht im isolierenden Zustand, so ist der SPST-Schalter offen (Isolation). Durch Temperaturänderung und entsprechende Erhöhung der Leitfähigkeit der Steuerschicht S kann in den geschlossenen Zustand (Transmission) geschaltet werden.

[0027] Ein weiterer SPST-Schalter kann durch Änderung der wirksamen Länge einer Stichleitung bei einer T-Verzweigung realisiert werden, wie in der Fig. 3c dargestellt. Der Endabschnitt der Stichleitung ist dabei erfindungsgemäß aus der Steuerschicht S gefertigt. Die Länge dieses Abschnitts beträgt $\lambda/4$ (oder ein ungerades Vielfaches von $\lambda/4$). Je nachdem, ob die Steuerschicht S sich im isolierenden oder leitfähigen Zustand befindet, wird die für die Hochfrequenz wirksame Länge der Stichleitung unterschiedlich sein, so daß der Schalter zwischen offenem (Isolation) und geschlossenem Zustand (Transmission) geschaltet werden kann.

[0028] Über die Länge der Stichleitung (ohne dem aus der Steuerschicht gefertigten Abschnitt) kann der Grundzustand des Schalters für Temperaturen unterhalb der kritischen Temperatur der Steuerschicht S eingestellt werden.

Wechselschalter (SPDT=single-pole-double-throw)

[0029] Unter Ausnutzung der beschriebenen Eigenschaften läßt sich ein Wechselschalter (SPDT) entwerfen. In Fig. 6a ist ein derartiger Schalter in Mikrostreifenleitungstechnik skizziert. Fig. 6b zeigt einen SPDT in Koplanarleitungstechnik, der unten detailliert beschrieben wird. Der SPDT-Schalter ist in beiden Ausführungen als T-Verzweigung ausgebildet, wobei der Eingang sowie die beiden Ausgänge an den drei Endpunkten des T liegen. Die Anordnung weist außerdem zwei unterschiedlich lange Stichleitungen SL auf, die von dem die beiden Ausgänge verbindenden Leitungsabschnitt ausgehen. Der Endabschnitt der beiden Stichleitungen SL wird jeweils von der erfindungsgemäßen Steuerschicht S aus einem Material mit steuerbarer Leitfähigkeit, z.B. VO_2, gebildet, über die die Stichleitungen mit der Masse verbunden werden können.

[0030] Für beide Ausführungen sind beispielhafte Abmessungen der einzelnen Leitungsabschnitte eingezeichnet. Die Länge der linken Stichleitung (ohne die Steuerschicht S) beträgt dabei $\lambda/2$ oder ein ganzzahliges Vielfaches davon. Die Länge der rechten Stichleitung (ohne die Steuerschicht S) beträgt $\lambda/4$ oder ein ungerades Vielfaches davon. Die Länge des Leitungsabschnitts zwischen Eingangszweig und der jeweiligen Stichleitung beträgt $\lambda/4$ oder ein ungerades Vielfaches davon. Die Länge der Steuerschicht S aus einem Material mit steuerbarer Leitfähigkeit ist für den im folgenden beschriebenen Schalteffekt nicht von Bedeutung. Wichtig ist nur, daß im leitfähigen Zustand der Steuerschicht ein Kurzschluß mit der Masse erreicht wird.

[0031] Das Schalten des in Fig. 6 b dargestellten Elements läuft nun wie folgt ab:

[0032] Bei Raumtemperatur wird die in den unteren Zweig eingespeiste Leistung am linken Zweig des Schalters ausgekoppelt, denn die beiden Steuerschichten S aus VO_2 befinden sich im isolierenden Zustand. Wird nun das Substrat erwärmt und damit auch die beiden Steuerschichten, werden die beiden leerlaufenden Stichleitungen SL kurzgeschlossen und der Schalter schaltet von Port 2 auf Port 3 um.

[0033] Die aus einer Simulation ermittelten Streuparameter des Wechselschalters nach Fig. 6b sind in der Fig. 7 dargestellt.

[0034] Dabei bedeuten:

S_{11} die Eingangsanpassung des Schalters;

S_{21} den Übertragungsparameter zwischen Eingang und Port 2;

S_{31} den Übertragungsparameter zwischen Eingang und Port 3.

[0035] Fig. 7 a zeigt den frequenzabhängigen Verlauf dieser Übertragungsparameter S_{xx} bei Raumtempera-

tur, d.h. unterhalb der Sprungtemperatur des schaltbaren Materials der Steuerschicht. Fig. 7b zeigt die gleichen Parameter oberhalb der Sprungtemperatur des schaltbaren Materials.

[0036] In den Simulationen wurde die Steuerschicht als Widerstand zwischen Stub-Ende und Massemetallisierung eingesetzt. Im Betrieb unterhalb der Sprungtemperatur wird für den Widerstand ein Wert von 1 kΩ angenommen. Höhere Widerstandswerte verbessern die Isolation des Schalters zum Part 3, sind jedoch technologisch schwer realisierbar. Für Temperaturen oberhalb der Sprungtemperatur des steuerbaren Materials wird der Widerstandswert auf 0,1Ω gesetzt, dies entspricht einer Leitfähigkeitsänderung um den Faktor 10^4.

[0037] Die unterschiedliche Isolation zwischen Port 1 und Port 3 (S_{31} in Fig. 7a) bzw. zwischen Port 1 und Port 2 (S_{21} in Fig. 7b) hat folgenden Grund:

[0038] Theoretisch sollte unterhalb der Sprungtemperatur ein unendlich hoher Widerstand zwischen dem Stichleitungsende und der Massemetallisierung sein. In der Praxis läßt sich jedoch nur ein endlicher Widerstandswert realisieren, der im Rahmen dieser Untersuchung zu 1 kΩ angenommen wurde. Gemäß der Beziehung

$$Z = \frac{(Z_{\gamma/4})^2}{Z_L}$$

wird die 1 kΩ-Last Z_L von der λ/4 langen 50Ω Leitung in einen Wellenwiderstand von 2,5Ω transformiert (Port 3). Wird jedoch der Schalter oberhalb der Sprungtemperatur betrieben, wird für den Kurzschluß ein Widerstand von 0,1Ω angesetzt, was gemäß Ersatzschaltbild in Fig. 5c eine höhere Isolation zur Folge hat (Port 2).

[0039] Die Dämpfung der einzelnen Zweige ist ebenfalls unterschiedlich. So wird unterhalb der Sprungtemperatur die leerlaufende Stichleitung in der Simulation durch einen 1 kΩ Widerstand gegen Masse realisiert (Port 2). Am Port 3 erreicht man jedoch oberhalb der Sprungtemperatur am Ende der Stichleitung einen Widerstand von 25 kΩ gegen Masse. Dies erklärt die unterschiedlichen Transmissionsverluste in Fig. 8 zwischen Eingang und Port 3 bzw. zwischen Eingang und Port 2.

[0040] Eine weitere mögliche Ausführungsform eines Wechselschalters ist in Fig. 9 skizziert. Sie enthält die in der Fig. 1a und in Fig. 3b dargestellten Leitungsstrukturen. Es handelt sich um eine T-förmige Verzweigung, wobei im rechten Zweig die Steuerschicht S einen Abschnitt der durchgehenden HF-Leitung bildet, und im linken Zweig die Steuerschicht S an einer definierten Stelle der HF-Leitung mit dieser gekoppelt ist und einen schaltbaren Kurzschluß zur Masse bildet. Die Stichleitung SL des linken Zweigs weist eine Gesamtlänge von λ/4 oder ein ungerades Vielfaches davon auf. Die Stichleitung SL des rechten Zweigs weist eine Gesamtlänge von λ/2 oder ein ganzzahliges Vielfaches davon auf.

[0041] Unterhalb der Sprungtemperatur der beiden Steuerschichten S wird die am Eingang eingespeiste Leistung am linken Zweig des Schalters ausgekoppelt, oberhalb der Sprungtemperatur wird die Leistung am rechten Zweig ausgekoppelt.

Phasenumschalter

[0042] Unter Verwendung von zwei SPDT-Schaltern gemäß Fig. 6a, Fig. 6b oder Fig. 9 kann ein einfacher Phasenumschalter aufgebaut werden. Eine Ausführung ist in der Fig. 10 dargestellt. Mittels der beiden Schalter SPDT kann zwischen zwei HF-Leitungen L1, L2 unterschiedlicher Länge umgeschaltet werden.

Temperaturschalter

[0043] Aufgrund der sprunghaften Änderung der Leitfähigkeit infolge Temperaturerhöhung kann die Steuerschicht S in einfacher Weise (analog Fig. 1a oder Fig. 3a) als Temperaturschalter innerhalb einer HF-Schaltungsanordnung eingesetzt werden.

Leistungsbegrenzer

[0044] Die Anordnung gemäß Fig. 3a kann bei geeigneter Wahl der Geometrie hinsichtlich Schichtdicke und Leiterbreite als Leistungsbegrenzer bzw. Sicherung oder Überlastschutz verwendet werden.

Schaltbare Kapazität

[0045] Durch Integration einer erfindungsgemäßen Steuerschicht kann die Kapazität einer beliebigen Leiteranordnung verändert werden. In Fig. 11 ist beispielhaft ein Interdigital-Kondensator skizziert, wobei Endabschnitte an einem der beiden beteiligten Leiter durch schaltbare Steuerschichten S gebildet werden. Durch Temperaturänderung kann der Kapazitätswert des Interdigitalkondensators zwischen zwei Werten umgeschaltet werden.

Schaltbare Induktivität

[0046] Ähnlich der Kapazität kann auch die Induktivität einer beliebigen Leitungsstruktur durch Modifikation der Leiterbreite mittels der erfindungsgemäßen Steuerschicht geschaltet werden. Beispielhaft ist hierzu in Fig. 12 eine Spiralspule dargestellt, wobei die Steuerschicht S parallel zu der HF-Leitung angeordnet ist.

Schaltbare Resonatoren

[0047] Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der schaltbaren Steuerschichten S ist ihr Einsatz in HF-Resonatoren, z.B. Patchresonatoren (Fig. 13a), Ringresonatoren (Fig. 13b) oder Leitungsresonatoren (Fig. 3c). Die Patchresonatoren können auch als Grundele-

ment von Patchantennen verwendet werden, deren Fläche durch die Steuerschicht änderbar ist und deren Resonanzfrequenz dadurch umgeschaltet werden kann.

Filter

[0048] Eine Anordnung bestehend aus einem oder mehreren der in Fig. 1b, Fig. 3c oder Fig. 13a gezeigten Strukturen kann zur Realisierung von HF-Filtern dienen.

Patentansprüche

1. Aktives HF-Steuerelement, mit

- einem HF-tauglichen Substrat, sowie einer darauf angebrachten HF-Leitungsanordnung;
- einem auf dem Substrat befindlichen Steuerschicht, deren elektrische Leitfähigkeit durch Temperaturänderung steuerbar ist, wobei die Steuerschicht an mindestens einer Stelle mit der HF-Leitungsanordnung gekoppelt ist,
- Mittel zur Temperaturänderung der Steuerschicht.

2. Aktives HF-Steuerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschicht einen Abschnitt einer durchgehenden HF-Leitung bildet, oder parallel zu dieser geschaltet ist.

3. Aktives HF-Steuerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschicht am leerlaufenden Ende einer HF-Stichleitung angeordnet ist.

4. Aktives HF-Steuerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschicht an einer definierten Steile entlang einer durchgehenden HF-Leitung mit dieser gekoppelt ist.

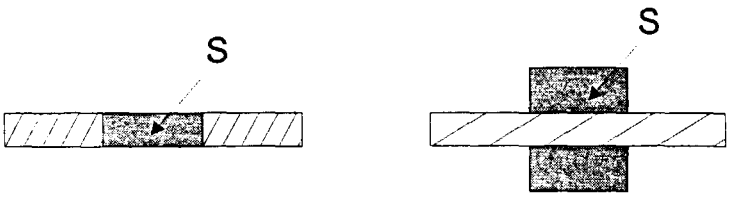
5. Aktives HF-Steuerelement nach einem der vorangehenden Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschicht als schaltbarer Kurzschluß zur Masse ausgebildet ist.

6. Aktives HF-Steuerelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Temperaturänderung der Steuerschicht eine Stromquelle zur resistiven Heizung der Steuerschicht oder eine elektromagnetische Strahlungsquelle umfassen.

7. Aktives HF-Steuerelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Material der Steuerschicht einen Phasenübergang halbleitend/metallisch aufweist.

8. Aktives HF-Steuerelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, das Material der Steuerschicht VO_2, V_2O_3, NiS, NbO_2, $FeSi_2$, $LaCoO_3$, La_2NiO_3, Ti_2O_3, Ti_4O_7, Ti_5O_9 oder Fe_3O_4 ist.

9. Verwendung eines aktiven HF-Steuerelements nach einem der vorangehenden Ansprüche in einem SPST- oder SPDT-Schalter, einem Phasenstellglied, einem Leistungsbegrenzer, einem Temperaturschalter, einer schaltbaren Kapazität, einer schaltbaren Induktivität, einem HF-Filter oder einem schaltbaren Resonator.



(a) (b)

Fig. 1

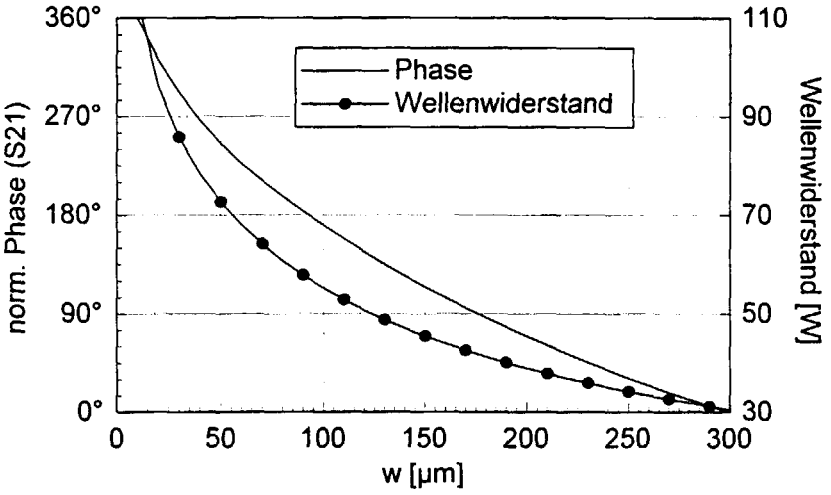
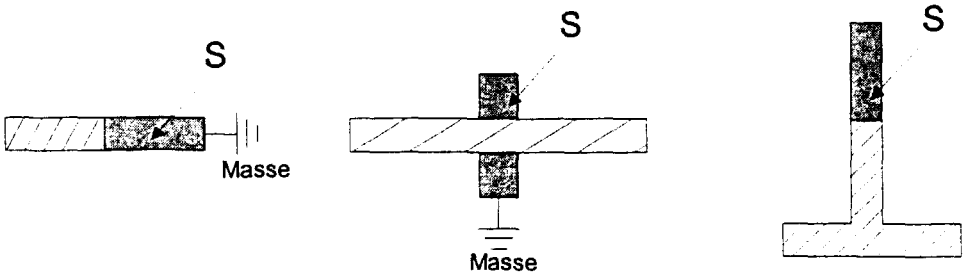
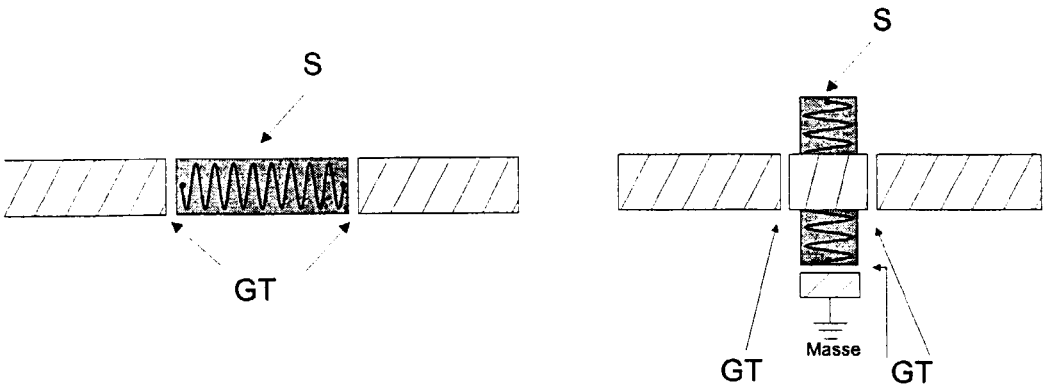


Fig. 2



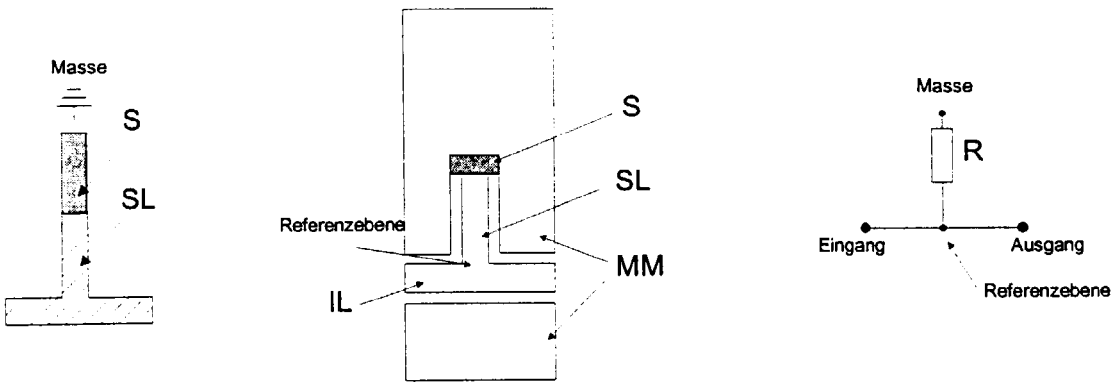
(a) (b) (c)

Fig. 3



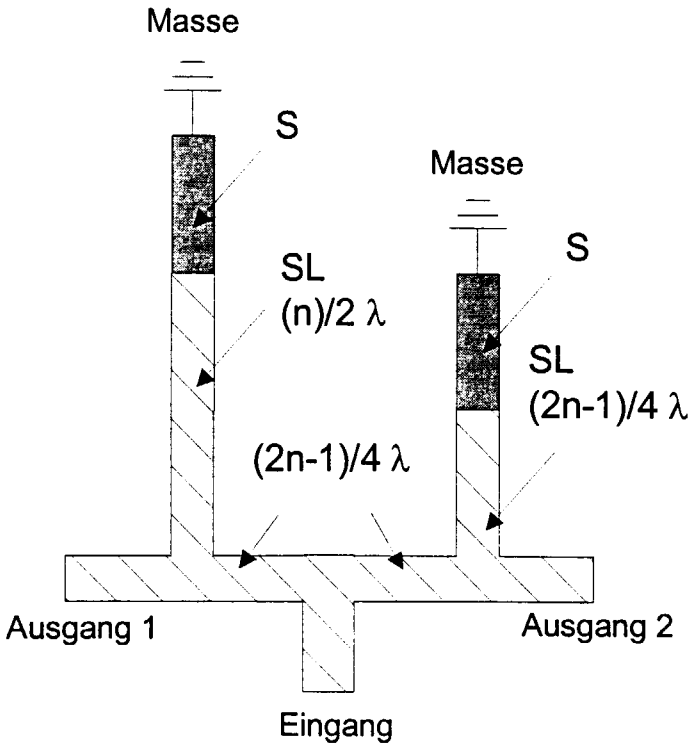
(a) (b)

Fig. 4

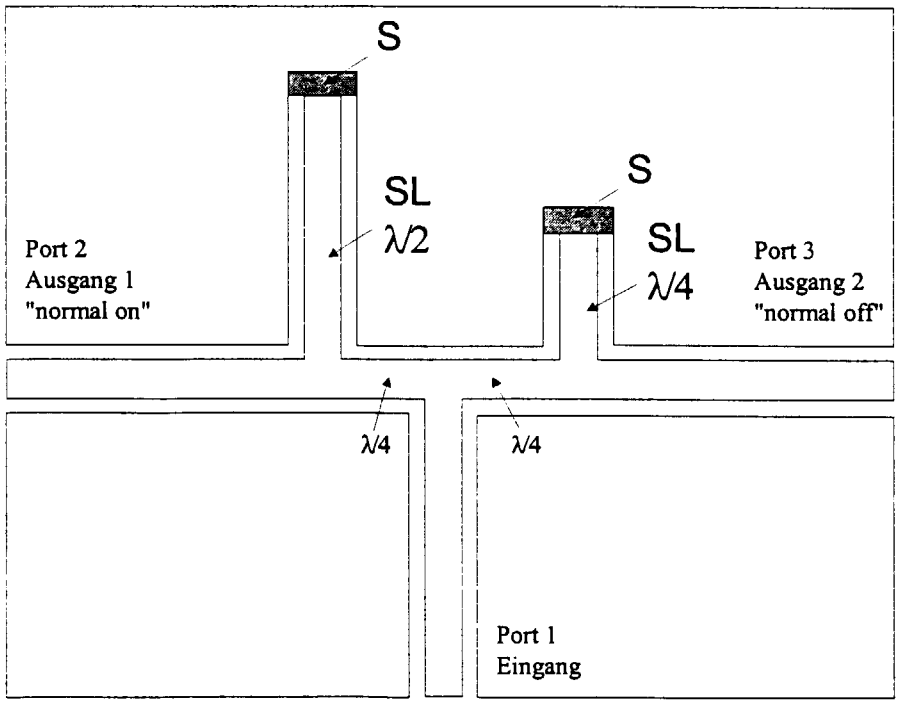


(a) (b) (c)

Fig. 5

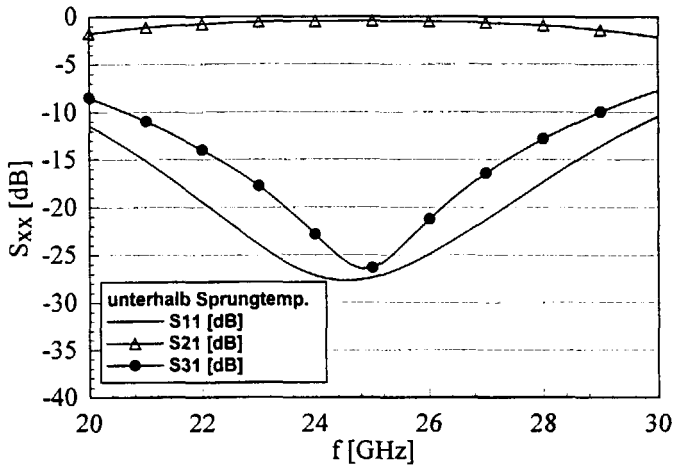

Masse
S
Masse
S
SL
(n)/2 λ
SL
(2n-1)/4 λ
(2n-1)/4 λ
Ausgang 1
Ausgang 2
Eingang

(a)

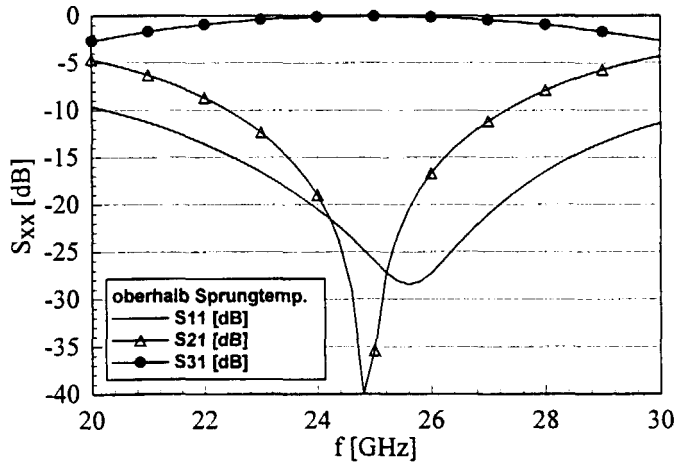

S
S
SL
λ/2
SL
λ/4
Port 2
Ausgang 1
"normal on"
Port 3
Ausgang 2
"normal off"
λ/4
λ/4
Port 1
Eingang

(b)

Fig. 6


0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
Sxx [dB]
20
22
24
26
28
30
f [GHz]
unterhalb Sprungtemp.
S11 [dB]
S21 [dB]
S31 [dB]

(b)


0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
Sxx [dB]
20
22
24
26
28
30
f [GHz]
oberhalb Sprungtemp.
S11 [dB]
S21 [dB]
S31 [dB]

(a)

Fig. 7

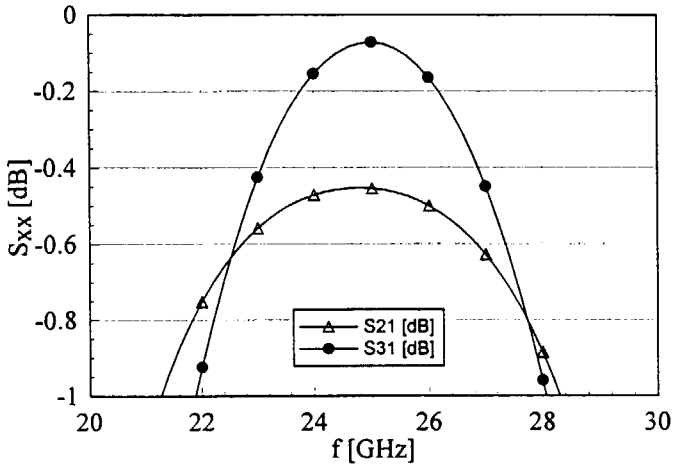

0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
Sxx [dB]
20
22
24
26
28
30
f [GHz]
S21 [dB]
S31 [dB]

Fig. 8

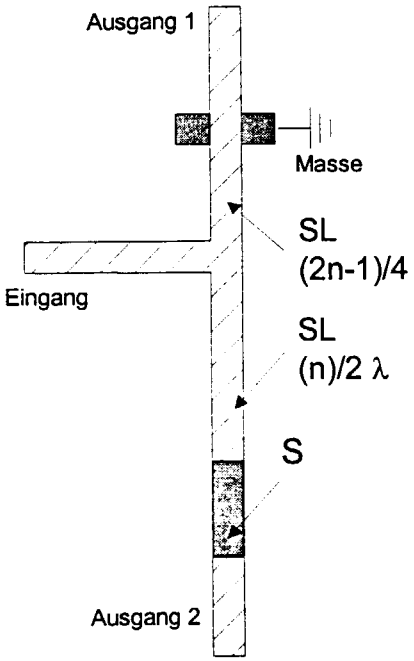

Ausgang 1
Masse
SL
(2n-1)/4
Eingang
SL
(n)/2 λ
S
Ausgang 2

Fig. 9

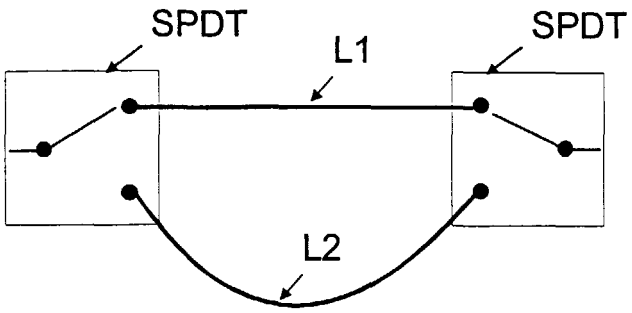


Fig. 10

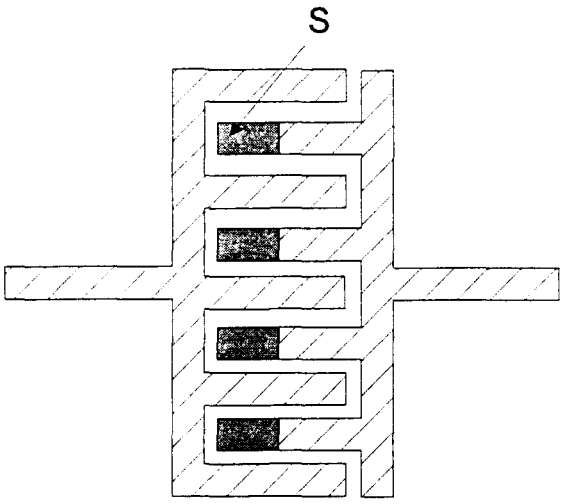


Fig. 11

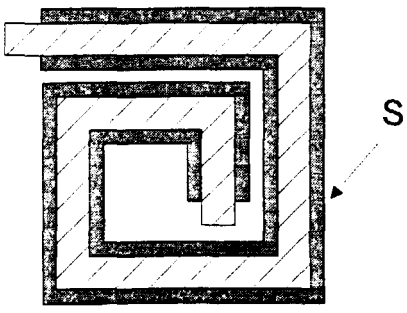


Fig. 12

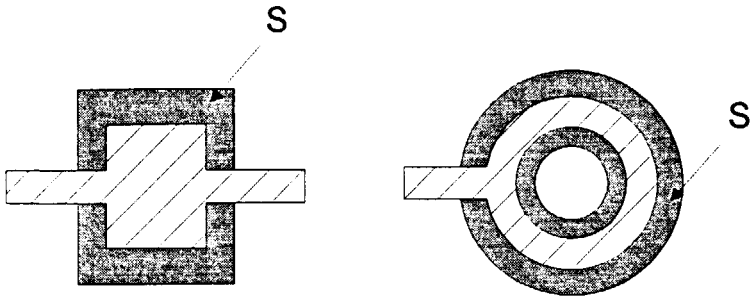

S
S
(a)
(b)

Fig. 13

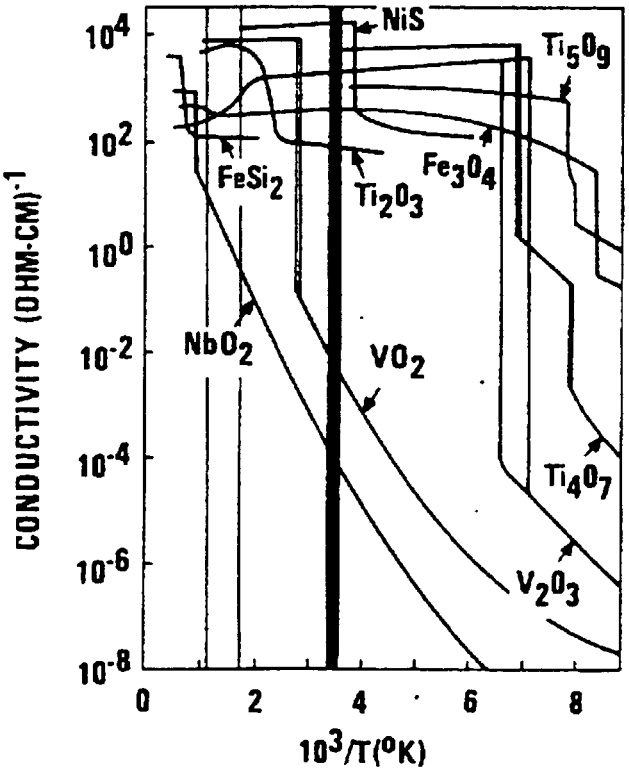

CONDUCTIVITY (OHM-CM)-1
10^4
10^2
10^0
10^-2
10^-4
10^-6
10^-8
0
2
4
6
8
10^3/T(°K)
NiS
Ti5O9
FeSi2
Ti2O3
Fe3O4
NbO2
VO2
Ti4O7
V2O3

Fig. 14