



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤① Int. Cl.³: H 01 L 29/743

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑪

629 338

②① Gesuchsnummer: 15832/77

⑦③ Inhaber:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.,
Baden

②② Anmeldungsdatum: 22.12.1977

②④ Patent erteilt: 15.04.1982

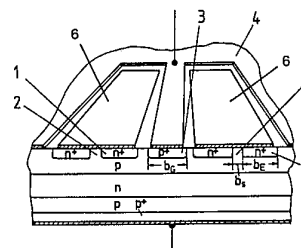
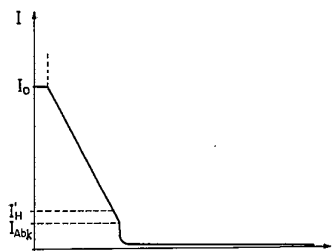
④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.04.1982

⑦② Erfinder:
Dr. Manfred Lietz, Würenlos
Dr. Roland Sittig, Umiken

⑤④ Ohne Sperrverzögerung abschaltbarer Thyristor.

⑤⑦ Der Thyristor schaltet bei Abkommutierungsgeschwindigkeiten, di/dt , wie sie in Schaltungsanordnungen mit Leistungsthyristoren üblich sind (0,1 bis 0,5 A/ μ s), ohne Sperrverzögerungszeit, ab; d.h. der Thyristor nimmt bereits bei positivem Anodenstrom wieder Spannung auf. Dieses wird durch Erhöhung der Zahl und/oder durch die Formgebung der Emitterkurzschlüsse (2) und/oder durch die Dotierung der kathodenseitigen Basiszone erreicht.

Um die durch diese Ausbildung bedingten hohen Zündströme zu erzeugen (die Halteströme liegen etwa zwischen 1 und 20 A), werden vorzugsweise Thyristorstrukturen verwendet, bei denen die Zündung durch Einstrahlung von Licht in das zwischen den Kathodenmetallisierungen (6) befindliche Gebiet erfolgen kann.



PATENTANSPRÜCHE

1. Ohne Sperrverzögerungszeit abschaltbarer Thyristor, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodenseitige Emitterzone (1) mit Emitterkurzschlüssen (2) versehen ist, wobei die Zahl und/oder die Form der Emitterkurzschlüsse, d. h. die Vershortung, und/oder die Dotierung der kathodenseitigen Basiszone derart gewählt sind, dass ein Sperren des Thyristors bei der maximal zulässigen Abkommutierungsgeschwindigkeit, dI/dt , noch bei positivem Anodenstrom erfolgt.

2. Thyristor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die kathodenseitige Emitterzone (1) und die Emitterkurzschlüsse (2) eine periodische Parallelstreifenanordnung bilden, wobei die Breite einer Emitterzone, b_E , zwischen 200 und 600 μm und die Breite eines Emitterkurzschlusses, b_S , zwischen 20 und 200 μm beträgt.

3. Thyristor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die vorwärtssperrenden pn-Übergänge (5) im Bereich zwischen den, den Emitterkurzschlüssen (2) abgewandten Rändern der Emitterzonen, gekrümmt sind und jeweils an der kathodenseitigen Oberfläche des Thyristors enden.

4. Verfahren zum Betrieb eines Thyristors nach Anspruch 3, mit Unterbrüchen in der Kathodenmetallisierung, dadurch gekennzeichnet, dass der Thyristor durch Einstrahlung von Licht in das zwischen den Kathodenmetallisierungen (6) befindliche Gebiet oder mittels Avalanchestrom, d. h. Überkopfzündung, gezündet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Lichtquelle ein Laser verwendet wird.

Die in der Stromrichtertechnik verwendeten Leistungsthyristoren werden dadurch ausgeschaltet, dass der Anodenstrom jeweils kurzzeitig unter den Wert des Haltestromes gesenkt wird. Dazu wird der Thyristor zunächst von der Durchlassrichtung in die negative Sperrrichtung geschaltet. Innerhalb der sogenannten Sperrverzögerungszeit, t_v , werden dabei die beiden äusseren Sperrschichten aufgrund des bestehenden elektrischen Feldes von freien Ladungsträgern geräumt. Die Höhe des Rückstromes I_R während der Sperrverzögerungszeit hängt im wesentlichen von der Steilheit des Stromabfalls (im folgenden auch als Abkommutierungsgeschwindigkeit bezeichnet) dI/dt , von der Höhe des vorherigen Durchlassstromes I_0 , und von der Höhe der Sperrschichttemperatur ab (vgl. z.B. BBC Silizium Stromrichterhandbuch, Baden 1971, S. 60 ff.).

Sind die beiden äusseren Sperrschichten frei von Ladungsträgern, so wird der restliche Teil der Freiwerdezeit, t_f im wesentlichen durch die Rekombination der Ladungsträger innerhalb der Basiszonen bestimmt.

Zur Verkürzung der Freiwerdezeit ist es bekannt, entweder Thyristoren mit dünnen Basiszonen zu verwenden, was zwangsweise zu einer Verschlechterung der Spannungsfestigkeit führt oder die Lebensdauer der Ladungsträger in der Basis herabzusetzen, was zu einer Verschlechterung der Durchlasseigenschaften dieser Bauelemente führt.

Ferner sind auch Thyristoren bekannt, bei denen versucht wird, das Freiwerdeverhalten durch das Anlegen einer negativen Gatespannung zu verbessern (vgl. Raderecht, in: J. Electronics 36 (1974, S. 399-416).

Der vorliegenden Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Thyristor zu schaffen, der abgeschaltet werden kann, ohne dass eine Sperrverzögerungszeit auftritt, d. h. der Thyristor soll bereits bei einem positiven Anodenstrom Spannung aufnehmen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die kathodenseitige Emitterzone mit Emitterkurzschlüssen ver-

sehen ist, wobei die Zahl und/oder die Form der Kurzschlüsse, d. h. die Vershortung, und/oder die Dotierung der kathodenseitigen Basiszone derart gewählt sind, dass ein Sperren des Thyristors bei der maximal zulässigen Abkommutierungsgeschwindigkeit, dI/dt , noch bei einem positiven Anodenstrom erfolgt.

Die Erfindung beruht also auf der Erkenntnis, dass ein Sperren des Thyristors bei positivem Anodenstrom nicht nur im stationären Zustand: $dI/dt \approx 0$ eintritt, sondern auch für dI/dt -Werte, die üblicherweise in Schaltungsanordnungen mit Leistungsthyristoren vorkommen und etwa zwischen 0,1 und 5 $\text{A}/\mu\text{s}$ liegen können. Um dieses zu erreichen, wird bei einem Thyristor beispielsweise die Anzahl der Shorts so lange erhöht, bis der Thyristor für die vorgegebene Abkommutierungsgeschwindigkeit bei einem Strom $0 < I_{\text{Abk}} \leq I_H$ abschaltet.

Durch die stärkere Vershortung wird schon im stationären Durchlasszustand die Überschwemmungskonzentration am kathodenseitigen pn-Übergang abgesenkt. Bei kleiner werdendem Strom wird der Übergang entsprechend schneller völlig frei von beweglichen Ladungsträgern; es kommt zum Sperren des kathodenseitigen Übergangs.

Je grösser die Vershortung, d. h. je kleiner der grösste Abstand eines Punktes der Kathodenfläche vom nächsten Shortrand ist, bzw. je höher die Dotierung der kathodenseitigen Basiszone ist, desto grösser ist auch der maximale dI/dt -Wert, bei dem der Thyristor noch bei positivem Anodenstrom sperrt.

Für Abkommutierungsgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 5 $\text{A}/\mu\text{s}$ wie sie üblicherweise in Schaltungen mit Zwangskommutierung auftreten, muss die Vershortung so gross gewählt werden, dass die dadurch bedingte Haltestromerhöhung um den Faktor 10 bis 100 höher liegt als bei den üblichen in derartigen Schaltungen verwendeten Thyristoren. Der Haltestrom der neuen Thyristoren liegt daher etwa zwischen 1 und 20 A.

Dieser Zusammenhang zwischen Haltestromerhöhung und Abnahme des Sperrverzögerungs- und damit auch Freiwerdezeit darf indessen nicht verwechselt werden mit der in der Literatur bekannten Beziehung (vgl. z.B. S.M. Sze: Physics of Semiconductor Devices, New York 1969, S. 340):

$$t_{\text{off}} = \tau_p \ln I_0/I_H \quad (1)$$

wobei mit t_{off} die Freiwerdezeit, mit τ_p die Lebensdauer der Ladungsträger in der anodenseitigen Basiszone, I_0 der Strom zur Zeit $t = 0$ und I_H der Haltestrom bezeichnet sind. Diese Gleichung bezieht sich nur auf den Fall, dass bei Bestimmung der Freiwerdezeit die Sperrverzögerungszeit vernachlässigt werden kann. Der Spannungsverlauf der treibenden Spannung wird ausserdem als Sprung vorausgesetzt, während es sich in der Regel um einen - in der Nähe des Strom-Nulldurchganges - eingepprägten linearen Stromverlauf handeln wird (Netzspannung). Gerade der durch die Gleichung (1) gegebene Zusammenhang hat bisher verhindert, Thyristoren mit kurzer Freiwerdezeit aufgrund einer Erhöhung des Haltestroms zu bauen, weil nach dieser Gleichung die Wirkung aufgrund des logarithmischen Zusammenhanges relativ gering ist (vgl. Raderecht: The development of a gate assisted turn-off thyristor for use in high frequency applications, Int. J. Electronics 36 (1974), S. 401). Im Gegensatz hierzu zeigt die vorliegende Erfindung, dass bereits relativ geringe Haltestromerhöhung die Sperrverzögerungszeit beseitigen und damit die Freiwerdezeit zusätzlich verkürzen. In Schaltungsanordnungen, in denen der geringe Sperrstrom aufgrund der Rekombination in den Basiszonen nicht stört, steht mit dem neuen Thyristor überdies ein Bauelement zur Verfügung, das praktisch ohne jede durch das Bauelement selbst verursachte Verzögerung geschaltet werden kann.

Für einen herkömmlichen Frequenzthyristor muss die Ladungsträgerlebensdauer in der Basis sehr genau eingestellt

werden, damit ein optimaler Kompromiss zwischen kurzer Freiwerdezeit und niedrigen Durchlassspannungsabfall erzielt wird. Diese Einstellung erfordert einen technologisch aufwendigen Prozess.

Bei einem Bauelement gemäss der Erfindung braucht dagegen die Ladungsträgerlebensdauer in der Basis nicht mehr so genau kontrolliert zu werden, da das Abschaltverhalten weitgehend durch die Vershortung kontrolliert werden kann.

Andererseits kann aber bei einer geeigneten mittleren Lebensdauer der ausnutzbare dI/dt -Bereich dadurch vergrössert werden, dass die Lebensdauer im Bereich des kathodenseitigen pn-Übergangs niedriger eingestellt wird. Das kann etwa durch eine Golddiffusion von der Kathodenseite her geschehen.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele des neuen Thyristors anhand von Zeichnungen erläutert, aus denen weitere Vorteile der Erfindung hervorgehen. Es zeigt:

Fig. 1 schematisch jeweils den Stromverlauf beim Abkommutieren für einen bestimmten dI/dt -Wert bei einem Thyristor mit geringer Vershortung (Fig. 1a) und einem Thyristor mit grosser Vershortung (Fig. 1b),

Fig. 2 schematisch einen perspektivischen Ausschnitt eines Thyristors mit grosser Vershortung,

Fig. 3 ein Dotierungsprofil eines Leistungsthyristors, wie es bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 verwendet wurde, und

Fig. 4 eine Schnittzeichnung durch einen Thyristor ohne Steuerelektrode (Gate) und mit kathodenseitig gekrümmten pn-Übergängen.

In Fig. 1a ist der zeitliche Verlauf des Anodenstroms I , während der Umschaltung von der Durchlassrichtung in die negative Sperrrichtung für einen typischen Leistungsthyristor schematisch dargestellt. Dabei ist mit I_0 der Durchlassstrom zu Beginn des Abkommutierens (z.B. 200 A) und mit I_H der Haltestrom bezeichnet (z.B. 0,1 A). Beim Nulldurchgang des Stromes I sind immer noch freie Ladungen in den pn-Übergängen vorhanden. Es fliesst daher während der Sperrverzögerungszeit t_V ein Rückstrom, der erst verschwindet, wenn die überschüssigen Minoritätsträger über die pn-Übergänge abgeflossen sind bzw. in den anschliessenden Zonen rekombinieren konnten.

Fig. 1b zeigt den zeitlichen Verlauf des Anodenstroms I eines entsprechenden Thyristors mit starker Vershortung, wie er etwa in Verbindung mit Fig. 2 näher beschrieben werden wird. Bei gleicher Abkommutierungsgeschwindigkeit beginnt der kathodenseitige Übergang bereits mit einem positiven Strom I_{Abk} Spannung aufzunehmen. Die Sperrverzögerungszeit t_V ist in diesem Fall praktisch Null. Der Haltestrom I_H' hingegen ist bei dem neuen Thyristor höher (etwa 5 A) als bei dem Thyristor gemäss Fig. 1a.

Eine Möglichkeit, die Vershortung eines Thyristors zu erhöhen, zeigt Fig. 2. Dabei sind die Emitter 1 sowie die Shorts 2 in Form von Streifen ausgebildet. Die Streifenbreite b_E eines n^+ -Streifens des Emitters 1 liegt bei Leistungsthyristoren mit einem Dotierungsprofil (Konzentration der Dotierungsatome

als Funktion der Eindringtiefe), wie es beispielsweise in Fig. 3 wiedergegeben wurde, zwischen 200 und 600 μm . Die Breite b_S der Shorts 2 hingegen liegt zwischen 20 und 200 μm . Das mit 3 bezeichnete Gate weist eine Streifenbreite b_G auf, die so gewählt wird, dass eine ausreichend leitfähige Metallisierung einfach aufgebracht werden kann.

Um die relativ hohen Zündströme zur Verfügung zu stellen, die mit der Erhöhung der Halteströme verbunden sind, kann der Thyristor mit einem – in Fig. 2 nicht dargestellten – integrierten Hilfsthystor (Amplifying Gate) versehen werden (zur Wirkungsweise und Verwendung von integrierten Hilfsthystoren vgl.: J. Burtscher: Thyristoren mit innerer Zündverstärkung; in: Dynamische Probleme der Thyristortechnik; Berlin 1971, S. 128-146).

Eine andere Möglichkeit, die relativ hohen Zündströme zur Verfügung zu stellen, besteht in einer Zündung mittels Avalanchestrom (Überkopffzündung). Eine solche Zündung mittels Avalanche- oder Lawinendurchbruchstrom ist bekannt aus der CH-PS 594 984. Sie bietet die Vorteile, dass kein eigener Gatekreis benötigt wird und sehr kurze Einschaltzeiten erreicht werden. Eine Struktur, die so gezündet werden kann, ist in Fig. 4 dargestellt. Sie unterscheidet sich von Fig. 2 im wesentlichen dadurch, dass anstelle des Gatebereichs 3 (Fig. 2), gekrümmte pn-Übergänge 5 (Fig. 4) vorgesehen sind. Der Avalanchestrom setzt gerade in diesen Bereichen ein und wirkt wie der Gatestrom in einem Thyristor nach Fig. 2.

Besonders gut bewährt haben sich auch Zündanordnungen, bei denen die Zündung mittels Licht erfolgt (vgl. J.R. Davis and J.S. Roberts: Ultra Fast, High Power Laser-Activated Switches, PESC 76 Record, S. 272-279). Hierzu wird die in Fig. 2 mit 4 bezeichnete Gatemetallisierung weggelassen und das Licht dann in das zwischen den Kathodenmetallisierungen (6) befindliche Gebiet eingestrahlt. Durch die Lichtzündung wird im Thyristor in sehr kurzer Zeit eine hohe Konzentration an Ladungsträgern erzeugt. Damit wird eine grossflächige Zündung mit sehr geringen Einschaltverlusten möglich. Im Gegensatz zur Lichtzündung bei bekannten Anordnungen können für das hier vorgeschlagene Bauelement Laser geringer Leistung, also insbesondere Halbleiterlaser als Lichtquellen verwendet werden, weil die Intensität in diesem Fall nur ausreichen muss, um die Ladungsträgerkonzentration am kathodenseitigen pn-Übergang so hoch zu machen, dass es hier zur Ausbildung eines Zündkanals kommt.

Als besonders vorteilhaft erweist sich zur Lichtzündung die Verwendung von Strukturen gemäss Fig. 4, denn im Bereich der gekrümmten, sich an die Oberfläche erstreckenden pn-Übergänge wird die Quantenausbeute noch zusätzlich vergrössert.

Mit der Struktur gemäss Fig. 4 ist auch ein gemischter Betrieb Überkopf-Licht-Zündung denkbar. Durch eine konstante geringe Lichtleistung kann dabei die Spannung für die Überkopffzündung variiert werden.

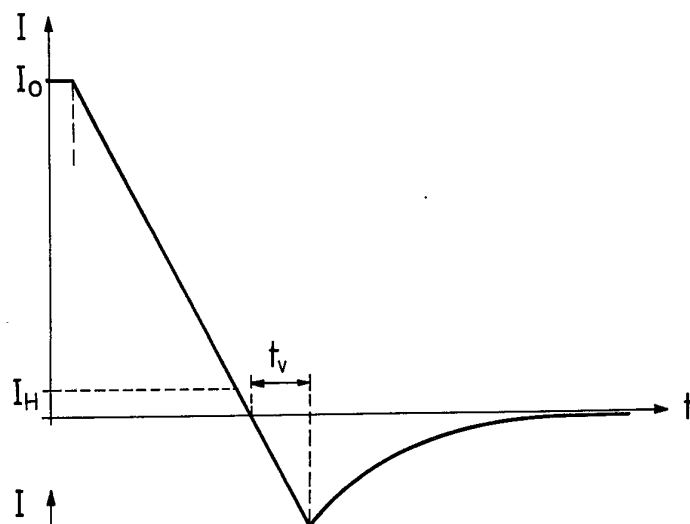


FIG.1a

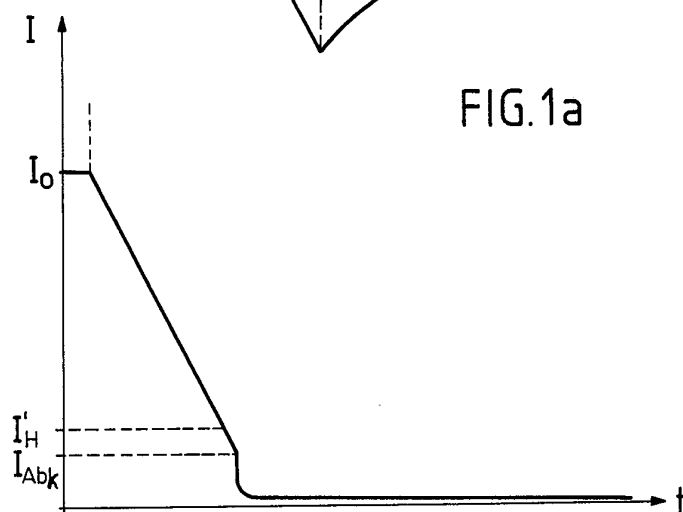


FIG.1b

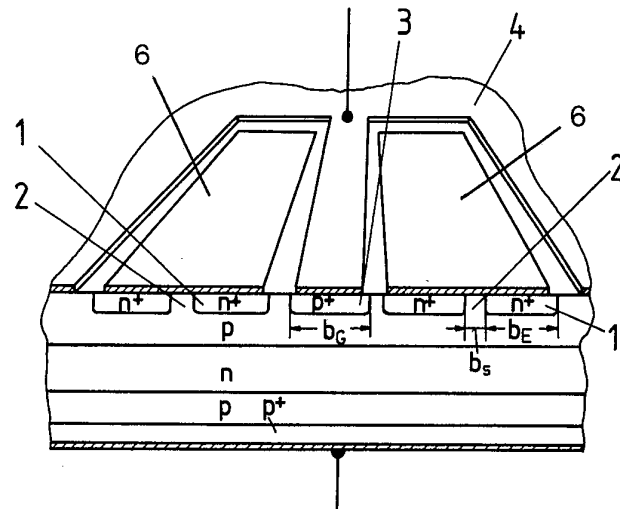


FIG. 2

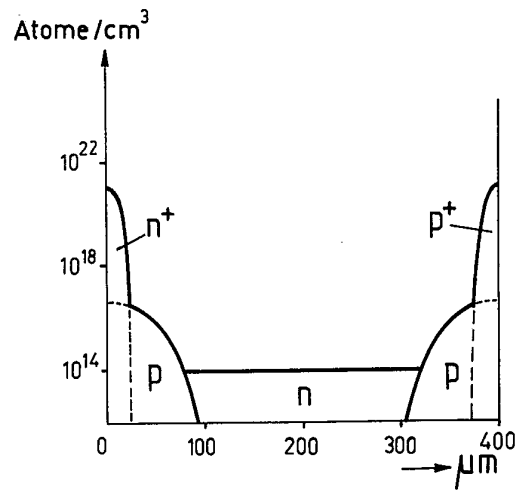


FIG. 3

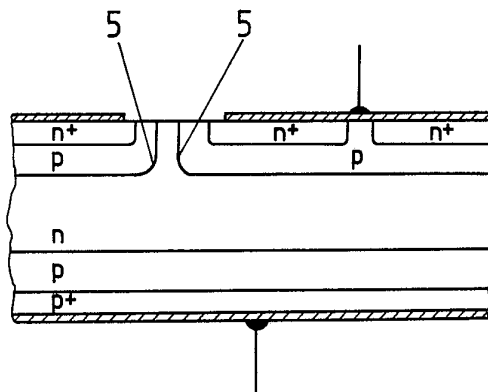


FIG. 4