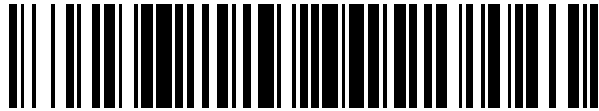


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 498 890**

51 Int. Cl.:

C23C 16/44 (2006.01)

C01B 33/035 (2006.01)

C23C 16/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2011 E 11720394 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.07.2014 EP 2572016**

54 Título: **Aparato y procedimiento de suministro de energía eléctrica a un reactor de CVD**

30 Prioridad:

17.05.2010 DE 102010020740

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

25.09.2014

73 Titular/es:

**SITEC GMBH (100.0%)
Gewerbepark Lindach A 12
84489 Burghausen, DE**

72 Inventor/es:

VOLLMAR, WILFRIED

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 498 890 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aparato y procedimiento de suministro de energía eléctrica a un reactor de CVD

La presente invención se refiere a un procedimiento y a un aparato para aplicar una tensión a través de una pluralidad de varillas de silicio en un reactor de CVD, varillas de silicio que están conectadas en serie.

5 En la técnica de los semiconductores y de la industria fotovoltaica es conocido el procedimiento de fabricación de varillas de silicio de gran dureza, por ejemplo, de acuerdo con el procedimiento Siemens en reactores de deposición, también designados como reactores de CVD (CVD = deposición de vapores químicos). En este procedimiento, las varillas de silicio delgadas son inicialmente recibidas en los reactores, sobre los cuales se deposita silicio durante un proceso de deposición. Las varillas de silicio delgadas son recibidas en unos aparatos de
10 sujeción y contacto, los cuales mantienen las varillas de silicio delgadas en una orientación deseada y que también proporcionan el contacto eléctrico de las mismas. En sus respectivos extremos libres, las varillas de silicio delgadas están típicamente conectadas por medio de unas crestas conductoras de electricidad, con el fin de hacer posible el cierre de un circuito eléctrico por medio de unos elementos de contacto, los cuales están dispuestos en el mismo lado del reactor. Como alternativa, también es posible situar en contacto las varillas de silicio delgadas dispuestas en sus extremos opuestos, esto es, desde arriba y desde abajo, con el fin de hacer posible la conducción de una corriente a través de las varillas de silicio delgadas. Un par de varillas de silicio delgadas que está conectado por medio de un puente eléctricamente conductor, así como las varillas de silicio delgadas, las cuales están en contacto en sus extremos opuestos, son designadas como varilla de silicio por razones de sencillez.

Las varillas de silicio son calentadas a una temperatura predeterminada, a la cual se produce la deposición de silicio desde la fase de vapor o de gas desde las varillas de silicio. El calentamiento se consigue durante el proceso mediante el flujo de corriente a una tensión sustancialmente predeterminada por medio de calentamiento por resistencia. La temperatura de deposición oscila típicamente de 900 a 1350 grados Celsius y, en particular, a aproximadamente 1100 grados Celsius, pero también puede situarse a otras temperaturas.

Dado que las varillas de silicio inicialmente presentan una elevada resistencia, que desciende a temperaturas más altas, es necesario, en primer término, aplicar una tensión inicial elevada a través de las varillas de silicio con el fin de iniciar un flujo inicial de corriente, también designada como ignición de las varillas de silicio. Después del calentamiento inicial de las varillas de silicio por el flujo de corriente y la reducción con ello de la resistencia de las varillas de silicio, la tensión aplicada a través de las varillas de silicio se puede reducir a una tensión operativa. La regulación posterior de las varillas de silicio puede ser básicamente controlada por medio de la corriente.

El documento DE 10 2009 021403 A describe un aparato y un procedimiento para una aplicación de tensión en dos etapas para unas varillas de silicio delgadas en un reactor de CVD. En particular, en el aparato descrito, se dispone una primera unidad de suministro que incorpora una pluralidad de transformadores, en la que cada transformador suministra una tensión a un par respectivo de las varillas de silicio delgadas en una fase de puesta en marcha. Así mismo, se dispone una segunda unidad de suministro, capaz de suministrar pares de varillas de silicio delgadas conectadas en serie durante una fase operativa con una tensión. Los transformadores de la primera unidad de suministro están conectados con una red de suministro de tres fases dispuesta en su lado primario. Así mismo, entre cada transformador y la red de suministro de tres fases, se disponen una bobina de autoinducción y un regulador de potencia bajo la forma de un regulador de potencia de tiristor bidireccional. Los reguladores de potencia pueden ser operados para ajustar y mantener un nivel de tensión en el lado secundario de los respectivos transformadores y también para limitar el flujo de la corriente a través de ellos. Los reguladores de potencia se utilizan especialmente para contrarrestar una reducción de la tensión con un flujo de corriente incrementado, que se produce típicamente en los transformadores manteniendo el nivel de tensión en el lado secundario. Dichos reguladores de potencia, sin embargo, son costosos y requieren un control de cada uno, lo que conduce a la implicación de sistemas electrónicos controlados.

45 Constituye, por tanto, un objeto de la presente invención proporcionar un aparato y un procedimiento para aplicar tensión a través de una pluralidad de varillas de silicio en un reactor de CVD que proporcionan, de una manera fácil y rentable, un suministro de tensión multietapa de acuerdo con las respectivas necesidades.

De acuerdo con la presente invención, el objeto se solventa mediante un aparato de acuerdo con la reivindicación 1 y con un procedimiento de la reivindicación 9. Formas de realización adicionales de la invención se divulgan en las reivindicaciones dependientes.

El aparato comprende en concreto una conexión en serie en la cual pueden ser insertadas como resistores las varillas de silicio, al menos una primera unidad de suministro de corriente, al menos una segunda unidad de suministro de corriente, al menos una tercera unidad de suministro de corriente y al menos una unidad de control, capaz de aplicar una tensión a través de las varillas de silicio en la conexión en serie por medio de las primera, segunda y tercera unidades de suministro. Las respectivas unidades de suministro de corriente son, de modo preferente, transformadores y, en concreto, de modo preferente, transformadores para transformar tensiones de línea de base única, que presentan una pluralidad de entradas en su lado primario para suministrar al menos una tensión de línea externa y, en su lado secundario una pluralidad de salidas para aplicar la al menos una tensión de

línea transformada con cargas óhmicas y / o inductivas. Con la expresión una pluralidad de entradas / salidas se debe en lo sucesivo entender una o más entradas / salidas. La primera unidad de suministro de corriente comprende una pluralidad de primeros transformadores, cuyas salidas están conectadas en serie con al menos una varilla de silicio, en el que los primeros transformadores presentan una primera tensión de circuito abierto y una primera corriente de cortocircuito. La segunda unidad de suministro de corriente comprende una pluralidad de segundos transformadores, cuyas salidas están conectadas en serie con al menos el mismo número de varillas de silicio que los primeros transformadores y que pueden estar dispuestos en paralelo con uno o más de los primeros transformadores, en los que los segundos transformadores presentan una segunda tensión en circuito abierto y una segunda corriente de cortocircuito y en el que la segunda tensión en circuito abierto es inferior a la primera tensión en circuito abierto y en el que la corriente de cortocircuito es superior a la primera corriente de cortocircuito. La tercera unidad de suministro de corriente comprende unas salidas que están conectadas con la serie de varillas de silicio y puede estar dispuesta en paralelo con los primero y segundo transformadores, en el que la tercera unidad de suministro de corriente es capaz de proporcionar una corriente a una tensión por debajo de la tensión en circuito abierto del segundo transformador, siendo la corriente mayor que la corriente de cortocircuito de los segundos transformadores. Dicho aparato permite, de una manera fácil, la aplicación multietapa de diferentes tensiones a través de las varillas de silicio. Mediante la provisión de diferentes transformadores en las primera y segunda unidades de suministro de energía que pueden aplicar selectivamente tensiones a las varillas de silicio controladas por la unidad de control, en comparación con la segunda unidad de suministro de corriente, es posible omitir por ejemplo, los reguladores de energía y un sistema correspondiente de control en el lado primario de los controladores. Así mismo, se pueden utilizar transformadores más sencillos.

De modo preferente, cada uno de los segundos transformadores está conectado en serie a un número más amplio de varillas de silicio que a los que están conectados los primeros transformadores. Al hacerlo, el número de transformadores de la segunda unidad de suministro de corriente se puede reducir respecto al número de transformadores existente en la primera unidad de suministro de corriente, lo que puede conducir a una reducción del coste y / o del espacio respecto de la segunda unidad de suministro de corriente. En concreto, cada uno de los segundos transformadores está conectado en serie a dos veces el número de varillas de silicio en comparación con el número de los primeros transformadores. Al hacerlo, el número de transformadores de la segunda unidad de suministro de corriente se reduce a la mitad. Así mismo, las salidas de la tercera unidad de suministro de corriente están, de modo preferente, conectadas en serie a al menos dos veces el número de varillas de silicio en comparación con los segundos transformadores. Al hacerlo, se produce un aumento de la conexión en serie de las varillas de silicio.

Para simplificar la protección o las técnicas de seguridad requeridas, los primeros y / o segundos transformadores, que están conectados en serie con varillas de silicio adyacentes, son bobinados de manera inversa. Esto hace posible que los extremos exteriores de las varillas de silicio de la serie estén respectivamente en un potencial, cuyo valor absoluto sea el más bajo y, de modo preferente, se sitúe alrededor de cero voltios.

En una forma de realización de la invención, se dispone al menos una cuarta unidad de suministro de energía que comprende al menos un cuarto transformador, cuyas salidas están conectadas en serie a más varillas de silicio que las salidas de los respectivos segundos transformadores, y dicho cuarto transformador presenta una cuarta tensión en circuito abierto, inferior a la segunda tensión en circuito abierto, y una cuarta corriente de cortocircuito superior a la segunda corriente de cortocircuito. En este caso, la al menos una segunda unidad de control es capaz de aplicar, como alternativa, una tensión a las varillas de silicio en la conexión en serie también por medio de la cuarta unidad de suministro de corriente, y la tercera unidad de suministro de corriente es capaz de proporcionar una corriente mayor que la cuarta corriente de cortocircuito a una tensión por debajo de la cuarta tensión en circuito abierto. La cuarta unidad de suministro de corriente proporciona incrementos adicionales del suministro de tensión para las varillas de silicio, con lo cual, el tercer suministro de tensión puede proporcionar un nivel de tensión máxima más bajo, lo que reduce el coste global del aparato.

De modo preferente, los transformadores de la primera unidad de suministro de energía presentan una característica de corriente / tensión más pronunciada que los transformadores de la segunda unidad de suministro de energía, y los transformadores de la segunda unidad de suministro de energía presentan una característica de corriente / tensión más pronunciada que la tercera unidad de suministro de energía. Al hacerlo, es fácil el ajuste de un cambio de resistencia dependiente de la temperatura de las varillas de silicio. La resistencia específica de las varillas de silicio disminuye al principio de forma pronunciada cuando aumenta la temperatura y, a continuación, pasa a un estado de saturación. Las diferentes características de corriente / tensión de la unidad de suministro de energía reflejan esta tendencia en los distintos gradientes.

Con el fin de evitar la sobrecarga de los transformadores de las primera y segunda unidades de suministro de energía, la unidad de control es capaz de efectuar la conmutación a una unidad de suministro de energía diferente dependiendo de un flujo de corriente a través de los respectivos primeros y segundos transformadores. Esto hace posible, de una manera sencilla, una conmutación entre distintas tensiones de acuerdo con las necesidades del momento.

En el procedimiento de acuerdo con la invención, las etapas mencionadas en la presente memoria en las líneas que siguen se llevan a cabo de manera secuencial. En primer lugar, se aplica una primera tensión a través de las varillas

de silicio por medio de una pluralidad de primeros transformadores. El término primera tensión se refiere a un valor efectivo medio de la tensión, que es promediado a lo largo del tiempo durante el cual la corriente se aplica por medio de los primeros transformadores. A continuación, se aplica una segunda tensión a través de las varillas de silicio por medio de la pluralidad de segundos transformadores, en el que la segunda tensión es inferior a la primera tensión. El término segunda tensión se refiere a un valor efectivo medio de la tensión, que es promediado a lo largo del tiempo durante el cual la tensión es aplicada por medio de los segundos transformadores. Con un aumento de la temperatura de las varillas de silicio que es provocada por un flujo de corriente iniciada por la primera y / o segunda tensión la tensión respectiva puede disminuir a lo largo del tiempo, mientras que se está produciendo un aumento del flujo de la corriente. Por último, se aplica una tercera tensión a través de las varillas de silicio utilizando una unidad de suministro de energía, en el que la tercera tensión es menor que la segunda tensión. El término tercera tensión se refiere a un valor efectivo medio de la tensión que es promediado a lo largo del tiempo durante el cual se aplica la tensión por medio de la unidad de suministro de energía. También aquí, con un incremento de la temperatura de las varillas de silicio, la tensión puede disminuir a lo largo del tiempo mientras se está produciendo un incremento adicional de la corriente. El procedimiento hace posible las ventajas mencionadas con anterioridad mediante una aplicación sencilla y en múltiples etapas de la tensión a través de las varillas de silicio en un reactor de CVD.

De modo preferente, la tercera tensión es aplicada a través de todas las varillas de silicio que están conectadas en serie, mientras que la primera y / o la segunda tensión es aplicada a través de una varilla de silicio única o a grupos de varillas de silicio. La primera tensión puede ser aplicada a través de cada varilla de silicio única y la segunda tensión puede ser aplicada a través de dos varillas de silicio que están conectadas en serie. Al hacerlo, se consigue un incremento por etapas en la conexión en serie de las varillas de silicio.

Con el fin de evitar la sobrecarga de los primeros y segundos transformadores, se determina el flujo de corriente a través de las varillas de silicio y a menos puede ser controlada una conmutación entre diferentes tensiones de acuerdo con el flujo de corriente así determinado. Los reactores de posición pueden presentar un número diferente de varillas de silicio que estén conectadas en serie. La trayectoria disruptiva del circuito puede ser utilizada varias veces en un solo reactor.

De acuerdo con una forma de realización de la invención, se aplica una tensión de fuerza a través de las varillas de silicio después de aplicar la segunda tensión y antes de aplicar la tercera tensión, en el que la cuarta tensión se aplica por al menos un tercer transformador y puede situarse entre las segunda y tercera tensiones. El término cuarta tensión se refiere a un valor efectivo medio de la tensión que es promediado a lo largo del tiempo en el que la tensión se aplica por medio de el al menos un tercer transformador.

Al aplicar la primera y / o la segunda tensión por medio de los primeros y segundos transformadores, respectivamente, la tensión es aplicada de tal modo que en los extremos de la conexión en serie, el nivel de la tensión sea el más bajo en valor absoluto. Al hacerlo, el aislamiento requerido o la técnica de seguridad pueden ser simplificadas.

En las líneas que siguen se describirá la invención con mayor detalle, con referencia a los dibujos:

En los dibujos:

La FIG. 1 es una vista lateral esquemática de una disposición de pares de varillas de silicio en un reactor de CVD con y sin silicio depositado sobre ellos;

la Fig. 2 es una disposición de circuito esquemática para aplicar diferentes tensiones a varillas de silicio en un reactor de CVD;

la Fig. 3 muestra características de corriente / energía de las diferentes unidades de suministro de corriente mostradas en la Fig. 2 y, así mismo, se muestra de forma esquemática una característica típica de corriente / tensión de una varilla de silicio de un reactor de CVD antes de la deposición de silicio;

la Fig. 4 es una disposición de circuito esquemática para aplicar diferentes tensiones a varillas de silicio en un reactor de CVD de acuerdo con una forma de realización alternativa;

la Fig. 5 es una característica de corriente / energía de diferentes unidades de suministro de corriente según se muestra en la Fig. 4;

la Fig. 6 es una disposición de circuito esquemática para aplicar diferentes tensiones a varillas de silicio de un reactor de CVD de acuerdo con otra forma de realización de la invención.

La Fig. 1 muestra una vista lateral esquemática de una disposición de unos pares 1 de varillas de silicio en un reactor de CVD que no se muestran con detalle. Con el fin de simplificar la representación, solo se muestran dos pares 1 de varillas en un plano vertical próximos uno al otro. Debe destacarse, sin embargo, que en un reactor de CVD, pueden ser recibidos más de dichos pares 1 de varillas que no estén orientados uno con respecto a otro en un

plano. Típicamente, se disponen de cuatro a veinticuatro de dichos pares 1 de varillas en un reactor de CVD aunque, evidentemente, pueden disponerse más o menos pares 1 de varillas.

La Fig. 1 muestra dos pares 1 de varillas cada uno de los cuales se compone de dos varillas 3 de silicio delgadas y de un puente 4 de conexión. El par de varillas derecho de la Fig. 1 muestra la configuración inicial antes de una deposición en fase gaseosa. El par de varillas izquierdo muestra la configuración después de una deposición en fase gaseosa de silicio sobre las varillas de silicio delgadas, que también se indica en el par de varillas izquierdo por una línea de puntos.

Cada una de las varillas de silicio delgadas está dispuesta de la manera consabida en las disposiciones 6 de electrodo en el suelo 7 del reactor de CVD. El puente 4 de conexión de los pares 1 de varillas conecta los extremos libres de las varillas 3 de silicio delgadas. Las varillas 4 de conexión se componen también de silicio y, de modo preferente, presentan las mismas características eléctricas que las varillas 3 de silicio delgadas. En particular, los puentes 4 de conexión pueden ser fabricados a partir de varillas de silicio delgadas y pueden estar conectados de cualquier forma apropiada a los extremos libres de las varillas 3 de silicio en la disposición mostrada en la Fig. 1.

Dicha disposición de pares 1 de varillas permite el contacto eléctrico de las varillas 3 de silicio delgadas exclusivamente por medio de la disposición 6 de electrodos dispuesta en el suelo 7 del reactor de CVD. En las líneas que siguen, para simplificar la descripción, tanto las pares 1 de varillas de silicio de acuerdo con la Fig. 1, como las varillas de silicio delgadas únicas que están conectadas en ambos extremos con los electrodos, son designadas como varillas de silicio.

La Fig. 2 muestra una disposición 10 de circuito esquemática para aplicar diferentes tensiones a través de las varillas S1 a S4 de silicio, las cuales pueden ser recibidas en un reactor de CVD (no mostrado) y de la manera mostrada en la Fig. 1.

La disposición 10 de circuito de acuerdo con la Fig. 2 está diseñada para cuatro varillas S1 a S4 de silicio, pero también puede estar dispuesta para un número diferente, en el que cuatro de un número entero múltiple de estas es en la actualidad el número preferente de varillas de silicio para una disposición 10 de circuito. Dependiendo del número de varillas de silicio dispuestas en un reactor de CVD, se puede disponer un número correspondiente de disposiciones 10 de circuito. Las varillas S1 a S4 de silicio están eléctricamente conectadas en serie. La disposición 10 de circuito presenta una primera unidad 12 de suministro de energía, una segunda unidad 14 de suministro de energía, una tercera unidad 16 de suministro de energía y una unidad de control que no se muestra.

La primera unidad 12 de suministro de energía presenta en total cuatro transformadores 21 a 24 los cuales pueden estar conectados en su lado primario por medio de unos respectivos conmutadores 26 a 29 a una tensión con alternación de fase de, por ejemplo, 400 Voltios. Los transformadores 21 a 24 presentan, en su lado secundario, una tensión en circuito abierto de aproximadamente 8.000 Voltios y una corriente de cortocircuito de aproximadamente 6 Amperios. En la Fig. 3, se muestra una característica K1 de corriente / tensión de los transformadores 21 a 24. Como se muestra, cada uno de los transformadores 21 a 24 presenta un pronunciado gradiente de la característica de corriente / tensión, esto es, la tensión en el lado secundario desciende rápidamente cuando el flujo de corriente aumenta.

Cada uno de los transformadores 21 a 24 está asignado a una de las varillas S1 a S4 de silicio y cada una de las salidas existentes en el lado secundario de los transformadores 21 a 24 está conectada a los extremos opuestos de las varillas S1 a S4 de silicio. De esta manera, cada uno de los transformadores 21 a 24 es capaz de aplicar una tensión de 8.000 Voltios a través de una varilla respectiva de las varillas S1 a S4 de silicio en la conexión en serie. Los devanados secundarios de los transformadores 21, 23 están bobinados de forma opuesta a los devanados secundarios de los transformadores 22, 24 de forma que los transformadores 22, 24 que presentan los lados primario y secundario bobinados en la misma dirección alternen con los transformadores 21, 23 que presentan sus lados primarios y secundarios bobinados de forma opuesta con respecto a la fila de varillas de silicio adyacentes. En particular, los transformadores 21 a 24 están bobinados y conectados a las varillas S1 a S4 de silicio de tal forma que los extremos externos de las varillas S1 a S4 de silicio que están conectadas en serie están en el nivel más bajo con respecto al valor absoluto y, en particular, están a una tensión aproximada de 0 Voltios cuando la tensión es aplicada a través de las varillas S1 a S4 de silicio por medio de los transformadores 21 a 24.

La segunda unidad 14 de suministro de energía presenta dos transformadores 31, 32, que pueden estar conectados por medio de unos respectivos conmutadores 34, 35 a una tensión con alternación de fase de, por ejemplo, 400 Voltios en su lado primario. Los transformadores 31, 32, según se muestra, presentan cada uno una tensión en circuito abierto de 4000 Voltios y una corriente de circuito cerrado de 20 Amperios en su lado secundario. En la Fig. 3 se muestra una característica K2 de corriente / tensión de los transformadores 31, 32. Como se muestra, los transformadores 31, 32 presentan un gradiente menos pronunciado de la característica de corriente / tensión comparado con los transformadores 21 a 24 de la primera unidad 12 de suministro de energía.

Cada uno de los transformadores 31, 32 está asignado a dos varillas adyacentes de las varillas S1 a S4 de silicio y cada una de las salidas existentes en el lado secundario de los transformadores 31, 32, está conectada a los extremos opuestos del grupo de dos varillas adyacentes de las varillas S1 a S4 de silicio que están conectadas en

serie. De esta manera, cada uno de los transformadores 31, 32 es capaz de aplicar una tensión de aproximadamente 2.000 Voltios a unos bornes respectivos de las varillas S1 a S4 de silicio en la conexión en serie (las varillas de silicio conectadas en serie actúan esencialmente como divisorias de la tensión). Los lados secundarios de los transformadores 31, 32 están asignados al revés. En particular los transformadores 31, 32 están bobinados y conectados de tal manera a las varillas S1 a S4 de silicio que, cada uno de los extremos exteriores de las varillas S1 a S4 de silicio de la conexión en serie está dispuesto al nivel más bajo en el valor absoluto y en concreto a aproximadamente 0 Voltios cuando se aplique una tensión a través de las varillas S1 a S4 de silicio por medio de los transformadores 31, 32.

La tercera unidad 16 de suministro de energía es cualquier suministro de corriente regulada que sea capaz de proporcionar una tensión en un intervalo por debajo de la tensión en circuito abierto de los transformadores 31, 32 de la segunda unidad de suministro de energía y el flujo de corriente por encima del cortocircuito de los transformadores 31, 32 de la segunda unidad 14 de suministro de energía. En la forma de realización mostrada, la tercera unidad 16 de suministro de energía es, por ejemplo, capaz de proporcionar una tensión en su salida de entre 2.500 a 50 Voltios y una corriente de 10 a 3400 Amperios. En la Fig. 3 se muestra la característica de corriente / tensión de la tercera unidad 16 de suministro de energía. Como se muestra, la tercera unidad de suministro de energía presenta un gradiente menos pronunciado que la característica de corriente / tensión de los transformadores de la segunda unidad 14 de suministro de energía.

El tercer suministro de energía está conectado a las varillas S1, S2, S3, S4 de silicio que estén conectadas en serie de forma que la tensión caiga a lo largo de la fila de las varillas S1 a S4 de silicio que están conectadas en serie, esto es, estén conectadas a los extremos exteriores de las varillas S1 a S4 de silicio de las varillas de silicio conectadas en serie.

El dispositivo de control, no mostrado, es capaz de aplicar de forma selectiva y secuencial una tensión a través de las varillas S1 a S4 de silicio por medio de las primera, segunda o tercera unidades 12, 14, 16 de suministro de energía. Al hacerlo, los respectivos transformadores 21 a 24 de la primera unidad 12 de suministro de energía y los transformadores 31, 32 de la segunda unidad 14 de suministro de energía pueden ser conectados y desconectados individualmente, en grupos o de forma conjunta, como se muestra mediante los respectivos conmutadores 26 a 29 y 35, 36.

Cada uno de los transformadores 21, 22, 23, 24, 34 y 35 de las unidades 12, 14, de suministro de energía presentan una característica "blanda" y, cada uno, puede ser del tipo que presenta una bobina de autoinducción separada o interna, un espacio libre de aire o un transductor. El suministro 16 de energía ajusta la tensión y la corriente a las condiciones cambiantes durante el proceso de deposición.

A continuación, se analizará con mayor detalle la operación de la disposición 10 de circuito durante un proceso de deposición de CVD, en la que la descripción se limita a las cuatro varillas S1 a S4 de silicio de acuerdo con la Fig.2. Al principio del proceso todas las unidades 12, 14, 16 de suministro de energía están desconectadas. A continuación, la primera unidad 12 de suministro de energía es activada por medio de la unidad de control para cerrar los conmutadores 26 a 29. Una tensión de hasta 8.000 Voltios es entonces aplicada a través de las varillas S1 a S4 de silicio individuales por medio de los transformadores 21 a 24. Debido a la alta tensión, a pesar de la elevada resistencia inicial de las varillas S1 a S4 de silicio, se produce un flujo de corriente dentro de las varillas S1 a S4 de silicio. Debido a este flujo de corriente, tendrá lugar el calentamiento de las varillas S1 a S4 de silicio, lo que conduce a una reducción de su resistencia. El flujo de corriente incrementado debido a la resistencia reducida existente dentro de las varillas S1 a S4 de silicio conduce entonces a una reducción de la tensión aplicada por medio de los transformadores, como se muestra en la característica K1 de la Fig. 3. En la Fig. 3, también se muestra de forma esquemática, mediante una línea de puntos, un gráfico descriptivo de la característica de corriente / tensión de un par de varillas de combustible delgadas como el que se utiliza en el reactor de CVD para la deposición de silicio al principio de la deposición de silicio. Como se muestra en este gráfico, se requiere una tensión inicial elevada con el fin de iniciar un flujo de corriente capaz de provocar un incremento de la temperatura suficientemente alto en el par de varillas de combustible que pueda conducir a un descenso significativo de la resistencia del par de varillas de combustible delgadas. Al principio del proceso, la tensión inicial es, por tanto, elevada y la corriente inicial es muy baja. Como alternativa, las varillas de silicio pueden ser también primeramente calentadas utilizando, por ejemplo, emisores de IR, lámparas halógenas u otros medios para calentar el silicio a una temperatura inicial lo suficientemente alta para que, a la tensión inicial aplicada, pueda fluir una corriente inicial, que sea lo suficientemente alta para conseguir el calentamiento adicional de la varilla de silicio. La tensión inicial primeramente cae a un primer gradiente pronunciado cuando se produce un incremento de la temperatura y la corriente inicial aumenta en la medida correspondiente. En el despliegue posterior, el gráfico se hace más plano y lentamente se aproxima a un valor de saturación, se reduce en mayor medida la resistencia del par de varillas de silicio delgadas, la corriente que fluye a través del silicio se incrementa, dado que se incrementa también la temperatura del silicio y el proceso de deposición comienza.

La característica K1 de corriente / tensión de los transformadores 21 a 24 se ajusta al cambio de resistencia dependiente de la temperatura de las varillas S1 a S4 de silicio de forma que la tensión caiga en un gradiente pronunciado con un incremento del flujo de la corriente con el fin de evitar el calentamiento no controlado de las varillas de silicio en la fase de puesta en marcha.

Si el flujo de la corriente a través de las varillas S1 a S4 de silicio llega a un nivel determinado de, por ejemplo, 4 a 5 Amperios debido a la reducción de resistencia de las varillas de silicio, los conmutadores 26 a 29 de la primera unidad 12 de suministro de energía se abren y los conmutadores 35, 36 de la segunda unidad 14 de suministro de energía se cierran. Una tensión de hasta 4.000 Voltios es entonces aplicada a los pares S1, S2; S3, S4 de varillas de silicio por medio de los transformadores 31, 32, de forma que se aplique una tensión máxima de aproximadamente 2.000 Voltios a través de cada una de las varillas S1 a S4 de silicio individuales.

El flujo de corriente a través de las varillas S1 a S4 de silicio aumenta cuando aumenta la temperatura de las varillas de silicio y la resistencia se reduce más aún. La característica K2 de corriente / tensión de los transformadores 21, 32 es más plana, correspondiendo a la característica de corriente / tensión de las varillas de silicio, en comparación con la característica de corriente / tensión de los transformadores 21 a 24. Los transformadores 31, 32, son capaces de proporcionar una corriente más alta en comparación con los transformadores 21, 22, 23, 24.

Cuando el flujo de corriente a través de las varillas S1 a S4 alcanza un tercer nivel de, por ejemplo, 10 a 12 Amperios, debido a la reducción de resistencia de las varillas de silicio, los conmutadores 35, 36 de la segunda unidad 14 de suministro de energía se abren y la tercera unidad 16 de suministro de energía es conectada con el fin de aplicar una tensión a través de las varillas S1 a S4 conectadas en serie. En este momento, se termina la ignición de las varillas S1 a S4 de silicio, esto es, las varillas de silicio presentan una temperatura lo suficientemente alta para que los incrementos adicionales de la temperatura puedan ser ajustados sustancialmente por medio de la regulación de la corriente. Por consiguiente, la característica K3 de corriente / tensión de la tercera unidad de suministro de energía es sustancialmente más plana que la de los transformadores 31, 32 de la segunda unidad de suministro de energía.

Después de que las varillas de silicio han alcanzado una temperatura suficientemente alta, la deposición de silicio sobre las varillas S1 a S4 de silicio comienza dentro del reactor de CVD. El silicio crece ahora continuamente sobre las varillas hasta que han obtenido un grosor predeterminado. En este momento, la tercera unidad de suministro de energía es desconectada. Las varillas S1 a S4 de silicio ya no son calentadas por medio de una corriente de flujo y, por tanto, son enfriadas y pueden entonces ser tomadas del reactor de CVD y pueden ser alimentadas a otro dispositivo para su tratamiento posterior.

El número anteriormente dado de varillas de silicio y el correspondiente número de transformadores de las primera y segunda unidades de suministro de energía se ofrece solo como ejemplo y no debe ser considerado en modo alguno limitativo aun cuando en la actualidad se tomen en cuenta con respecto a un reactor de CVD que presente un número entero de cuatro varillas de silicio. Así mismo, las tensiones en circuito abierto referidas y las corrientes de cortocircuito de los transformadores se ofrecen solo como ejemplos por el hecho de que efectivamente se toman en cuenta para su uso en un reactor de CVD para inflamar las varillas de silicio, y, en verdad, están indicadas para este fin.

La Fig. 4 muestra una disposición 10 de circuito esquemática para aplicar tensiones diferentes a través de las varillas S1 a S4 de silicio de acuerdo con una forma de realización alternativa. En la Fig. 4, se utilizan los mismos signos de referencia utilizados en la Fig. 2 en tanto en cuanto se describan los mismos o similares elementos.

La disposición 10 de circuito de acuerdo con la Fig. 4 presenta una primera unidad 12 de suministro de energía, una segunda unidad 14 de suministro de energía, una tercera unidad 16 de suministro de energía y una unidad de control, que no se muestra. Estas son en esencia las mismas unidades anteriormente descritas en las que la tercera unidad de suministro de energía puede proporcionar un intervalo de tensión menor de entre, 20 y 3.000 Amperios. Sin embargo, de manera adicional, se dispone una cuarta unidad 40 de suministro de energía. La cuarta unidad 40 de suministro de energía incorpora un transformador 42 que puede estar conectado en su lado primario por medio de un conmutador 44 a una tensión de corriente alterna frontal de, por ejemplo, 400 Voltios. Los transformadores, según se muestra, presentan una tensión en circuito abierto de 3.000 Voltios y una corriente de cortocircuito de 40 Amperios en su lado secundario. En la Fig. 5 se muestra una característica K4 de corriente / tensión del transformador 42. La Fig. 5 muestra también las correspondientes características K1 a K3 de corriente / tensión de las primera a tercera unidades de suministro de energía. Como se muestra, la característica K4 de corriente / tensión del transformador 42 presenta un gradiente menos pronunciado en comparación con la característica K2 de corriente / tensión de los transformadores 31, 32 de la segunda unidad 14 de suministro de energía. La característica K4 de corriente / tensión, sin embargo, presenta un gradiente más pronunciado que la característica K3 de corriente / tensión de la tercera unidad 16 de suministro de energía.

A pesar del hecho de que la cuarta unidad 40 de suministro de energía que se muestra comprende un solo transformador 42, debe destacarse que pueden disponerse dos transformadores similares en la segunda unidad 14 de suministro de energía, los cuales pueden, por ejemplo, presentar una tensión en circuito abierto de 1500 Voltios y una corriente de cortocircuito de 40 Amperios. La incorporación de un solo transformador, sin embargo, es una solución preferente debido a razones de coste y espacio. Dicho transformador puede estar provisto de un tomacorriente central.

La operación de la disposición de circuito de acuerdo con la Fig. 4 es esencialmente la misma que la descrita con anterioridad, en la que después de la desconexión de la segunda unidad 14 de suministro de energía, la cuarta

unidad 40 e suministro de energía es conectada hasta que se consiga un flujo de corriente predeterminado de, por ejemplo, 20 a 25 Amperios a través de las varillas S1 a S4 de silicio. A continuación, es conmutada a la tercera unidad 16 de suministro de energía.

5 La Fig. 6 muestra una disposición 10 de circuito esquemática para aplicar tensiones diferentes a las varillas S1 a S4 de silicio de acuerdo con otra forma de realización. En la Fig. 6, se utilizan los mismo signos de referencia que en la Fig. 2 siempre que se describan los mismos o similares elementos.

La disposición 10 de circuito de acuerdo con la Fig. 6 presenta una primera unidad 12 de corriente, una segunda unidad 14 de suministro de corriente, una tercera unidad 16 de suministro de corriente y una unidad de control que no se muestra. Estas unidades son las mismas que las descritas con respecto a la Fig. 2.

10 Sin embargo, la forma de realización de la Fig. 6 difiere en el sentido de que los transformadores 21 y 22 de la primera unidad 12 de suministro de corriente están conectados en serie y pueden ser conectados en su lado primario por medio de un conmutador 50 común a una tensión en alternancia de fase de por ejemplo 400 Voltios. De modo similar, los transformadores 23 y 24 de la primera unidad 12 de suministro de corriente están conectados en serie y pueden estar conectados en su lado primario por medio de un conmutador 51 común a una tensión en
15 alternación de fase de, por ejemplo, 400 Voltios.

La operación de la disposición de circuito de acuerdo con la Fig. 6 es sustancialmente la misma que la descrita con anterioridad, en la que evidente los transformadores 21 y 22, por un lado, y los conmutadores 23 y 24, por el otro, son conectados y desconectados por un conmutador común. Dicha conexión en serie es especialmente útil cuando se aplican tensiones por encima de 8000V a las varillas S1 a S4 de silicio por medio de los transistores 21 a 24.
20 Cuando una de las varillas de silicio de conexión en serie se inflama antes que la otra, la tensión puede experimentar un tirón hacia arriba cuando los transformadores están conectados en serie. Cuando los transformadores están conectados en paralelo, la tensión puede ser limitada

La invención ha sido descrita en la presente memoria en las líneas anteriores con referencia a formas de realización preferentes sin limitación por las formas de realización específicas. En particular, la invención no está limitada a los
25 valores numéricos dados con respecto al número de elementos así como a los valores de tensión y corriente.

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato para aplicar una tensión a través de una pluralidad de varillas de silicio en un reactor de CVD, comprendiendo dicho aparato:

una conexión en serie en la que las varillas de silicio pueden ser insertadas como resistencias;

5 al menos una primera unidad de suministro de energía;

al menos una segunda unidad de suministro de energía;

al menos una tercera unidad de suministro de energía; y

al menos una unidad de control capaz de aplicar una tensión a través de las varillas de silicio en la conexión en serie por medio de las primera, segunda o tercera unidades de suministro de energía,

10 en el que la primera unidad de suministro de energía comprende una pluralidad de primeros transformadores, cada una de cuyas salidas está conectada con una varilla de silicio de la conexión en serie, y en el que los primeros transformadores presentan una primera tensión en circuito abierto y una primera corriente de cortocircuito,

15 en el que la segunda unidad de suministro de energía comprende una pluralidad de segundos transformadores, cuyas salidas están conectadas al mismo número de varillas de silicio que los primeros transformadores de la conexión en serie, en paralelo con uno o más de los primeros transformadores, y en el que los segundos transformadores presentan una segunda tensión en circuito abierto y una segunda corriente de cortocircuito, en el que la segunda tensión en circuito abierto es inferior a la primera tensión en

20 en el que la tercera unidad de suministro de energía comprende unas salidas que están conectadas con las varillas de silicio de la conexión en serie, en paralelo con los primeros y segundos transformadores, y en el que la tercera unidad de suministro de energía es capaz de proporcionar una corriente en un intervalo de tensión por debajo de la tensión en circuito abierto del segundo transformador, cuya corriente es superior a la corriente de cortocircuito del segundo transformador; y

25 en el que la primera unidad de suministro de energía presenta una característica de corriente / tensión más pronunciada que la segunda unidad de suministro de energía y la segunda unidad de suministro de energía presenta una característica de corriente / tensión más pronunciada que la tercera unidad de suministro de energía.

30 2.- El aparato de la reivindicación 1, **caracterizado porque** los segundos transformadores están conectados a un número mayor de varillas de silicio de la conexión en serie que los primeros transformadores.

3.- El aparato de la reivindicación 2, **caracterizado porque** cada uno de los segundos transformadores está conectado a un número doble de varillas de silicio de la conexión en serie que el de los primeros transformadores.

35 4.- El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** las salidas de la tercera unidad de suministro de energía están conectadas a al menos un número de varillas de silicio doble que el de los segundos transformadores.

5.- El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los primeros y / o segundos transformadores, que están conectados a varillas de silicio adyacentes de la conexión en serie, están bobinados de manera opuesta.

40 6.- El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** al menos una cuarta unidad de suministro de energía que comprende al menos un cuarto transformador, cuyas salidas están conectadas a más varillas de silicio de la conexión en serie que las salidas de los correspondientes segundos transformadores y que presenta una cuarta tensión en circuito abierto y una cuarta corriente de cortocircuito en el que la cuarta tensión en circuito abierto es inferior a la segunda tensión en circuito abierto y la cuarta corriente de cortocircuito es superior a la segunda corriente de cortocircuito,

45 en el que la al menos una unidad de control es capaz de aplicar una tensión a las varillas de silicio de la conexión en serie también por medio de la cuarta unidad de suministro de energía, en el que la tercera unidad de suministro de energía es capaz de proporcionar una corriente mayor que la cuarta corriente de cortocircuito en un intervalo de tensión por debajo de la cuarta tensión en circuito abierto.

50 7.- El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los al menos dos transformadores adyacentes de la primera unidad de suministro de energía están agrupados entre sí y conectados en serie.

- 8.- El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la unidad de control es capaz de conmutar entre las unidades de suministro de energía dependiendo del flujo de corriente a través de los respectivos primeros y segundos transformadores.
- 5 9.- Un procedimiento de aplicación de una tensión a través de una pluralidad de varillas de silicio que están conectadas en serie en un reactor de CVD, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas en secuencia:
- la aplicación de una primera tensión a las varillas de silicio por medio de una primera pluralidad de primeros transformadores;
- la aplicación de una segunda tensión a través de las varillas de silicio por medio de una segunda pluralidad de segundos transformadores, en el que la segunda tensión es inferior a la primera tensión; y
- 10 la aplicación de una tercera tensión a través de las varillas de silicio por medio de una unidad de suministro de corriente, en el que la tercera tensión es inferior a la segunda tensión;
- en el que los primeros transformadores presentan una característica de corriente / tensión más pronunciada que los segundos transformadores, y los segundos transformadores presentan una característica de corriente / tensión más pronunciada que la tercera unidad de suministro de energía.
- 15 10.- El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado porque** la tercera tensión es aplicada a través de todas las varillas de silicio que están conectados en serie.
- 11.- El procedimiento de la reivindicación 9 o 10, **caracterizado porque** la primera tensión es aplicada a través de cada varilla de silicio individual y la segunda tensión es aplicada a través de dos varillas de silicio conectadas en serie.
- 20 12.- El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** se determina el flujo de corriente a través de las varillas de silicio y al menos una conmutación entre diferentes tensiones es controlada dependiendo del flujo de corriente determinado.
- 13.- El procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, **caracterizado porque** una
- 25 cuarta tensión es aplicada a través de las varillas de silicio entre la aplicación de la segunda tensión y la aplicación de la tercera tensión, y en el que la cuarta tensión es aplicada por medio de un tercer transformador y la cuarta tensión se sitúa en el intervalo comprendido entre las segunda y tercera tensiones.
- 14.- El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, **caracterizado porque** en el momento de la aplicación de la primera y / o la segunda tensión por medio de los primeros y segundos transformadores, respectivamente, la tensión es aplicada de tal forma que, en los extremos de la conexión en serie, se produce el
- 30 nivel de tensión más bajo en valor absoluto.
- 15.- Un reactor de CVD para depositar silicio sobre una pluralidad de varillas de silicio que comprende un aparato para aplicar una tensión a través de la pluralidad de varillas de silicio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, así como unos medios independientes para calentar las varillas de silicio.

35

40

45

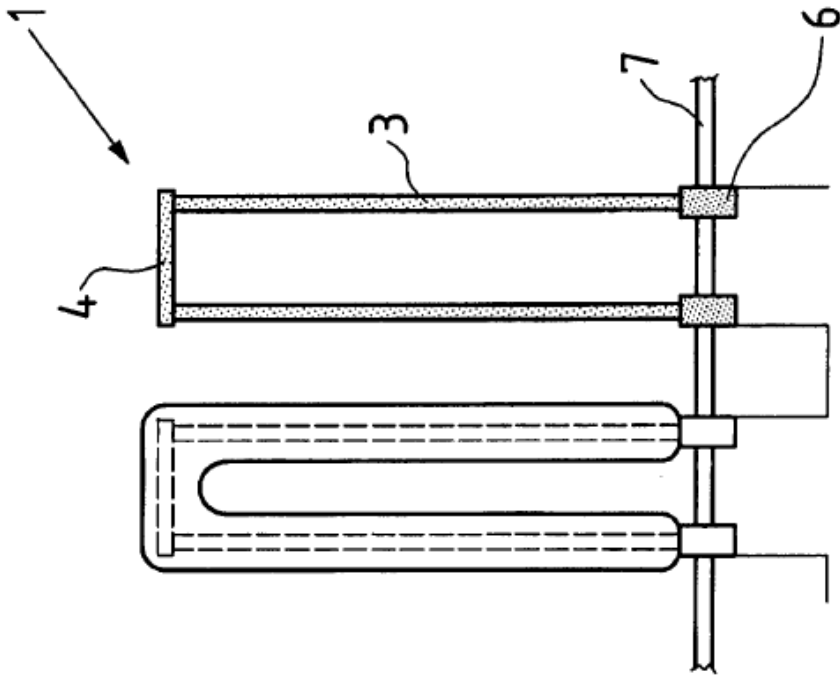


Fig. 1

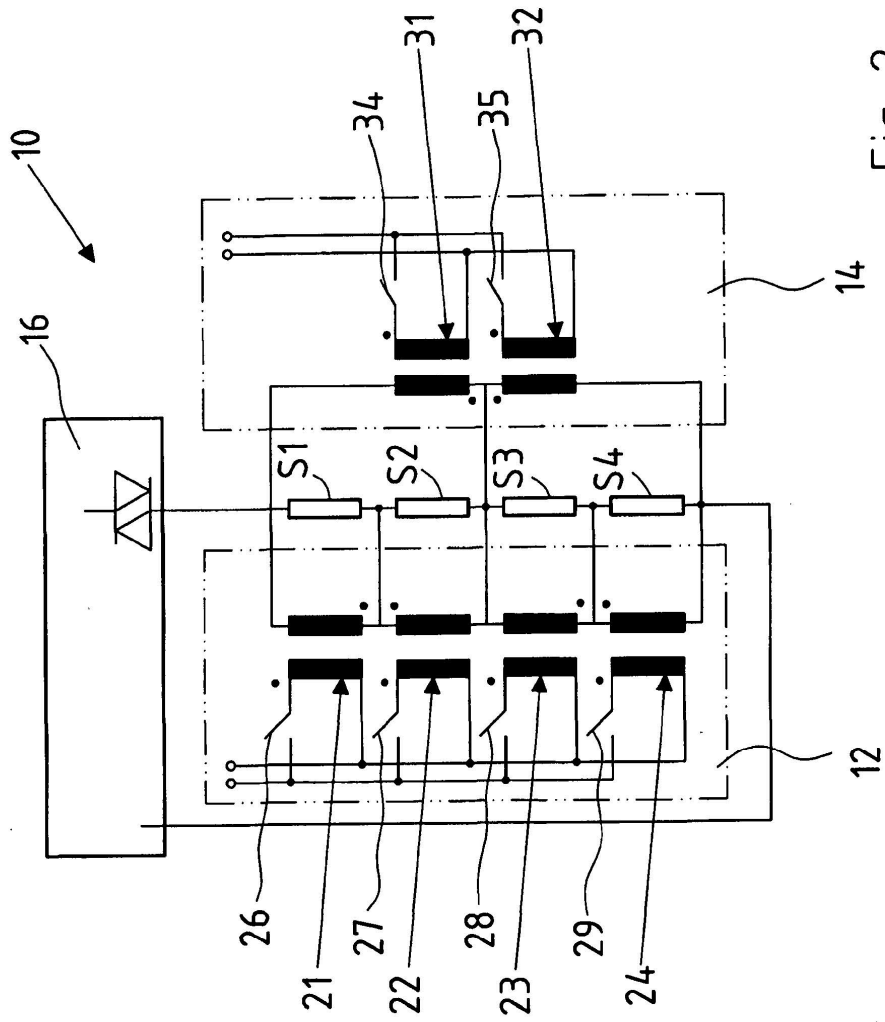


Fig. 2

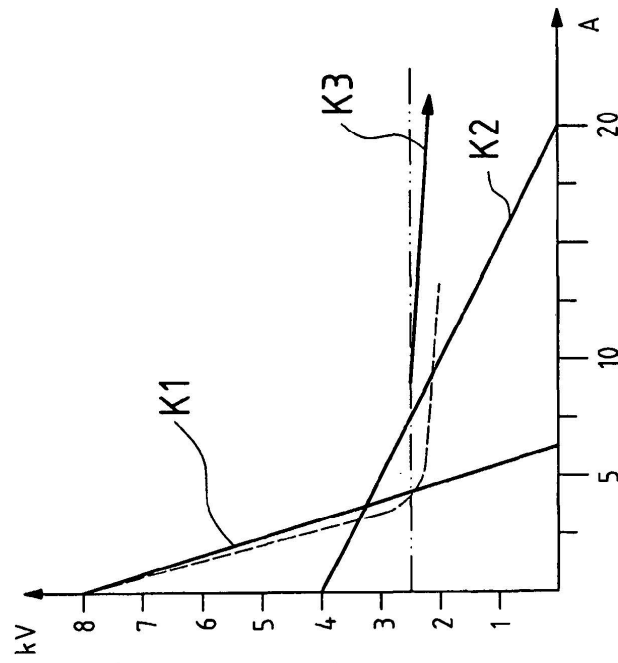


Fig. 3

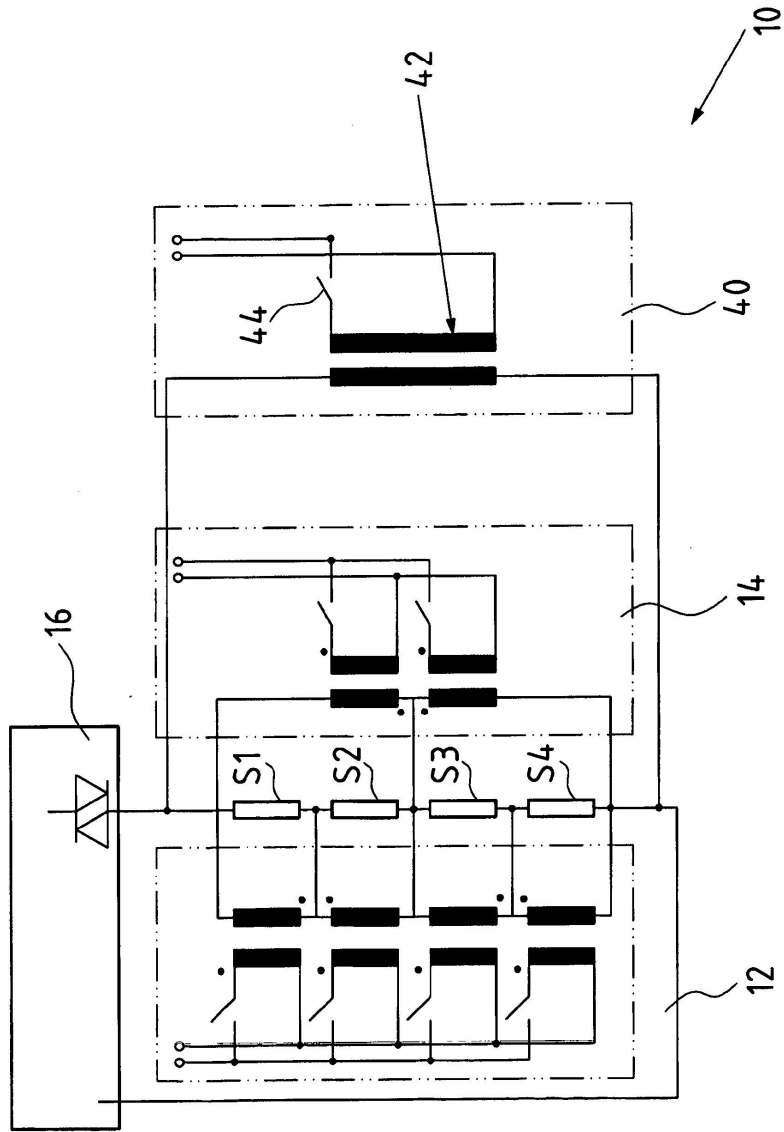


Fig. 4

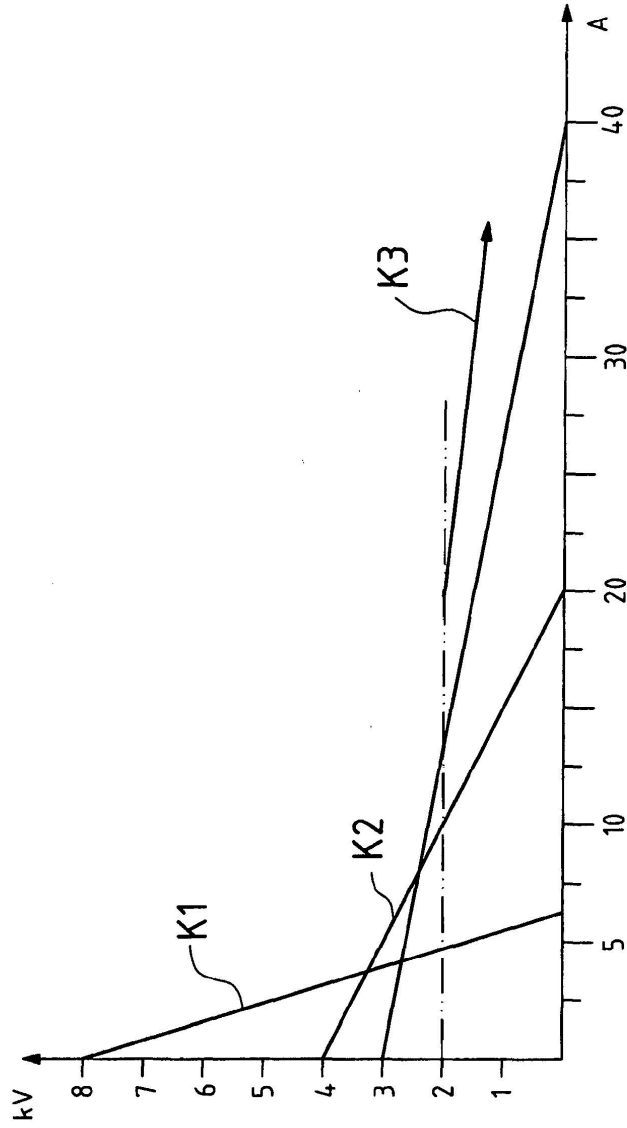


Fig. 5

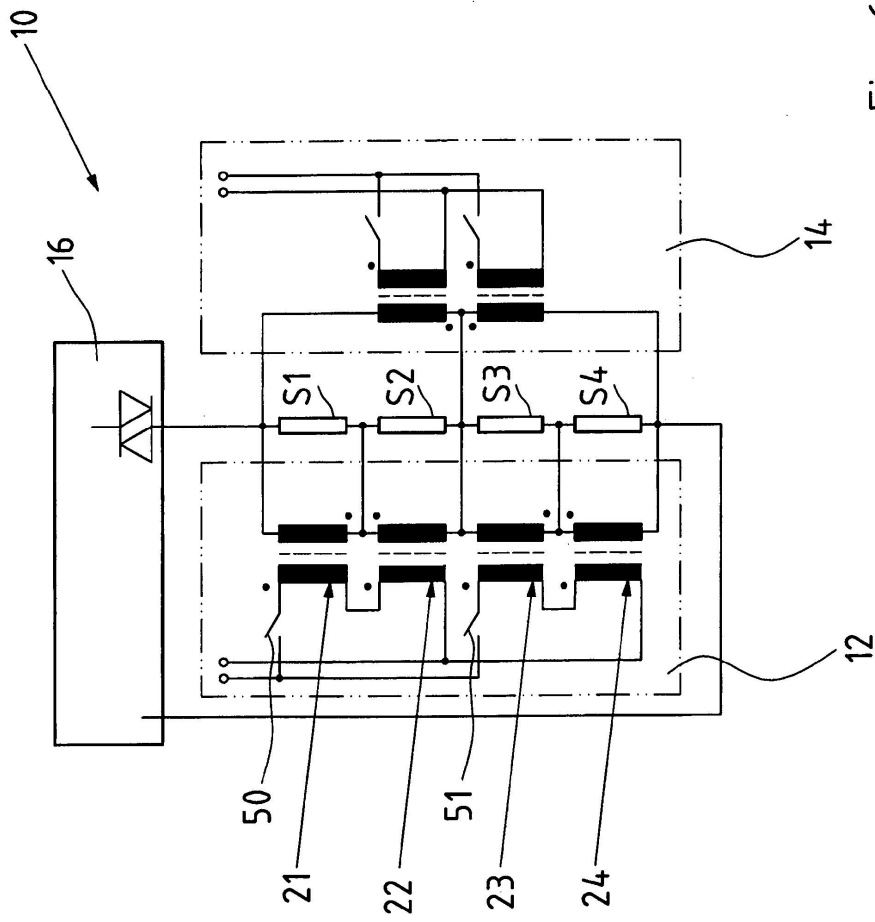


Fig. 6