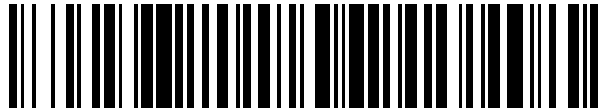


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 793**

51 Int. Cl.:

**H01L 35/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2012 E 12712976 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.10.2014 EP 2656405**

54 Título: **Disposición termoelectrónica**

30 Prioridad:

**30.03.2011 DE 102011001653**

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

**15.01.2015**

73 Titular/es:

**O-FLEXX TECHNOLOGIES GMBH (100.0%)**

**Auf der Höhe 49**

**47059 Duisburg, DE**

72 Inventor/es:

**SPAN, GERHARD y**

**WAGNER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 526 793 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**

Disposición termoeléctrica

5 La invención se refiere a una disposición que comprende un generador termoeléctrico con un lado caliente que absorbe calor de una fuente de calor, con un lado frío que emite calor a un disipador de calor y con conexiones eléctricas para emitir energía eléctrica con una tensión de salida, así como un circuito eléctrico con una tensión de entrada máxima admisible, cuyas entradas están conectadas a las conexiones eléctricas del generador termoeléctrico. Además, la invención se refiere a un procedimiento para la operación de una disposición de este tipo.

10 Un generador termoeléctrico, también denominado brevemente GTE, es un dispositivo que convierte energía térmica en energía eléctrica aprovechando el efecto termoeléctrico.

15 El efecto termoeléctrico que también se denomina efecto Seebeck describe el efecto recíproco reversible entre la temperatura y la electricidad. La tensión Seebeck está determinada por:

$$U_{\text{Seebeck}} = \alpha \times \delta T$$

20 con  
 $\delta T$  diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío  
 $\alpha$  - coeficiente Seebeck o fuerza térmica

25 El coeficiente Seebeck tiene la dimensión de una tensión eléctrica por diferencia de temperatura (V/K). La magnitud del coeficiente Seebeck es determinante para la magnitud de la tensión Seebeck.

Un generador termoeléctrico se compone de diferentes materiales semiconductores con diferentes dopajes. Los materiales semiconductores usuales para generadores termoeléctricos son materiales semiconductores tales como especialmente  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{SB}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{SiGe}$  o  $\text{FeSi}_2$  y sus aleaciones.

30 Un generador termoeléctrico convencional se compone de dos o varios pequeños cuadrados de un material semiconductor con dopaje p y con dopaje n, respectivamente, que están unidos entre ellos mediante puentes de metal arriba y abajo alternando. Los puentes de metal forman al mismo tiempo la superficie de contacto térmica y están aislados generalmente mediante una placa cerámica. Los diferentes paralelepípedos de material semiconductor con dopaje p y n no están conectados eléctricamente en serie. Las placas cerámicas presentan una distancia de aprox. 3mm a 5mm, entre las que están dispuestos los paralelepípedos, especialmente por soldadura indirecta. Una de las placas cerámicas forma el lado caliente y la placa cerámica opuesta forma el lado frío del generador termoeléctrico. El lado caliente absorbe calor de una fuente de calor, mientras que el lado frío emite calor a un disipador de calor. Estableciendo una diferencia de temperatura  $\delta T$  entre el lado caliente y el lado frío se genera la tensión Seebeck  $U_{\text{Seebeck}}$  en las conexiones del generador termoeléctrico.

40 Para incrementar el grado de acción de un generador termoeléctrico, en el documento EP1287566B1 se dan a conocer un elemento termoeléctrico y un módulo con varios elementos termoeléctricos conectados eléctricamente en serie. El elemento termoeléctrico presenta al menos una capa n y al menos una capa p de uno o varios semiconductores dopados, estando dispuestas las capa(s) n y la(s) capa(s) p formando al menos una transición pn. Al menos una capa n y al menos una capa p están puestas en contacto eléctrico selectivo y un gradiente de temperatura se aplica paralelamente (sentido x) con respecto a la capa límite entre al menos una capa n y una capa p. Al menos una transición está realizada sustancialmente a lo largo de la extensión total, preferentemente la más larga, de la(s) capa(s) n y de la(s) capa(s) p y por tanto sustancialmente a lo largo de su capa límite total.

50 Por el gradiente de temperatura a lo largo de la superficie límite pn de gran superficie resulta una diferencia de temperatura a lo largo de dicha transición pn formada de forma alargada entre dos extremos de un paquete de capas pn, que hace que el grado de acción del elemento termoeléctrico sea mayor que en los generadores termoeléctricos convencionales que no presentan ningún gradiente de temperatura a lo largo y dentro de la transición pn. Los elementos termoeléctricos están dispuestos en el módulo de forma térmicamente paralela entre dos placas. Las placas sirven para el acoplamiento térmico mejorado tanto en el lado frío como en el lado caliente. Preferentemente, están realizados como buenos termoconductores que especialmente se componen de materiales cerámicos, no electroconductivos. La descripción del documento EP1287566B1, especialmente la relativa a los elementos termoeléctricos (figura 3) y al módulo (figura 13) así como a los materiales semiconductores empleados se incluye expresamente en la presente solicitud.

60 Una disposición genérica se describe en el documento DE102008023806A1. La disposición está integrada en el sistema de gases de escape de un automóvil, en el que el llamado lado caliente del GTE se une de forma termoconductiva a un conducto que lleva gas del ramal de gas de escape, mientras que el lado frío del GTE está acoplado térmicamente por ejemplo a un conducto de refrigerante del sistema de refrigeración del motor del automóvil, que lleva un líquido refrigerante. Eléctricamente, el GTE está acoplado a través de un dispositivo de acoplamiento de tensión continua en forma de un transformador de tensión continua a la red de a bordo del

automóvil. La disposición formada por el GTE y el transformador de tensión continua mejora enormemente el grado de acción energético del automóvil. La integración de la disposición en el sistema de gases de escape del automóvil requiere sin embargo una nueva construcción del sistema de gases de escape. El sistema de gases de escape comprende un canal de gas de escape que presenta dos canales parciales de gas de escape que se extienden paralelamente, volviendo a reunirse corriente abajo los canales parciales de gas de escape. Uno de los dos canales parciales de gas de escape está acoplado térmicamente al generador termoeléctrico, existiendo en el canal de gas de escape al menos un elemento de conmutación para dirigir la corriente de gas de escape, de tal forma que en función de la posición de conmutación del elemento de conmutación, la corriente de gas de escape circula exclusivamente por el primer canal parcial de gas de escape, exclusivamente por el segundo canal parcial de gas de escape o proporcionalmente por ambos canales parciales de gas de escape. Además, está previsto un dispositivo de control para controlar el al menos un elemento de conmutación. La tensión de salida del generador termoeléctrico dispuesto en el canal parcial de gas de escape es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío del generador termoeléctrico. Para evitar daños del transformador de tensión continua conectado al generador termoeléctrico y de la red de a bordo del automóvil por una tensión de salida demasiado alta del generador termoeléctrico en determinadas situaciones de funcionamiento es necesario hacer pasar delante del generador termoeléctrico los gases de escape demasiado calientes. Mediante esta solución de derivación es posible realizar el generador termoeléctrico para potencias medias de motor y por tanto para temperaturas y corrientes de masa medias de gases de escape, que suponen la mayor parte del ciclo de marcha. Además, el transformador de tensión continua se puede concebir para el intervalo de potencias medio que es el más utilizado. Sin embargo, una desventaja esencial del estado de la técnica consiste en que el sistema de gases de escape debe presentar dos canales parciales de gas de escape que se extiendan paralelamente y además se han de incorporar elementos de conmutación controlados en el ramal de gases de escape.

Partiendo de este estado de la técnica, la invención tiene el objetivo de proporcionar una disposición del tipo mencionado anteriormente que de forma sustancialmente independiente de la magnitud de la diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío del generador termoeléctrico se pueda conectar a una fuente de calor, especialmente a un sistema de gases de escape de una máquina de combustión interna, debiendo evitarse daños del circuito eléctrico conectado al generador termoeléctrico a causa de un exceso de la tensión de entrada máxima admisible sin cambios en la fuente de calor, especialmente en el sistema de gases de escape.

Este objetivo se consigue en una disposición del tipo mencionado al principio, porque el generador termoeléctrico comprende al menos un elemento termoeléctrico que se compone respectivamente de al menos una capa n y al menos una capa p de un material termoeléctrico formando al menos una transición pn que se forma a lo largo de una capa límite, pudiendo aplicarse un gradiente de temperatura paralelamente con respecto a la capa límite entre el lado caliente y el lado frío del generador termoeléctrico y porque la capa n y la capa p del generador termoeléctrico presentan un espesor con el que se produce una saturación de la tensión de salida por debajo o al alcanzar la máxima tensión de entrada admisible del circuito eléctrico.

El generador termoeléctrico comprende al menos un elemento termoeléctrico conocido por el documento EP1287566B1. El exceso de la máxima tensión de entrada admisible del circuito eléctrico se evita porque la tensión de salida del generador termoeléctrico ya no aumenta de forma notable a partir de una diferencia de temperatura determinada entre el lado caliente y el lado frío. Esta saturación de la tensión de salida se produce preferentemente al alcanzar la máxima tensión de entrada admisible o ligeramente por debajo de esta. Se evitan eficazmente daños del circuito eléctrico y de componentes siguientes, sin necesidad de intervenciones complicadas en la fuente de calor o el disipador de calor. Especialmente para la integración de la disposición según la invención en el sistema de gases de escape de un automóvil ya no hace falta ningún canal parcial de gas de escape como derivación para gases de escape demasiado calientes. Además, se suprimen los elementos de conexión y el dispositivo de control para controlar los elementos de conexión.

En el generador termoeléctrico que comprende al menos un elemento termoeléctrico conocido de por sí por el documento EP1287566B1, el inicio de la saturación de la tensión de salida depende de cómo están adaptadas una a otra la capacidad de transporte de las capas termoeléctricas y la eficiencia de generación de la transición pn en la que está aplicado el gradiente de temperatura. En el caso de parámetros constantes como especialmente la longitud y el ancho del generador termoeléctrico, el dopaje y la densidad de defectos, el comportamiento de saturación del generador termoeléctrico se ajusta a través del espesor de las capas n y p. A medida que las capas se vuelven más espesas, aumenta el valor con el que se produce la saturación de la tensión de salida. Por consiguiente, modificando el espesor de capa, el generador termoeléctrico se puede adaptar a la máxima tensión de entrada admisible del circuito eléctrico.

En una publicación relativa al generador termoeléctrico según el documento EP1287566B1 "Gerhard Span y col.: "Miniaturized TEG with thermal generation of free carriers", Physica Status Solidi (PRL) - Rapid Research letters, tomo 1, nº 6, 1 de noviembre de 2007, páginas 241 a 243" se añade que los contactos del elemento termoeléctrico según el documento EP1287566B1 pueden conectarse en el lado frío a una resistencia de carga por la que circula una corriente exterior. En las figuras de la publicación se puede ver además como las diferentes resistencias térmicas de generadores termoeléctricos repercuten en la eficiencia. En una de las figuras se puede ver que a medida que disminuye la longitud y aumenta el espesor de la capa termoeléctricamente activa, se vuelve más conductivo el

material termoeléctrico entre el lado caliente y el lado frío, por lo que se reducen la diferencia de temperatura útil y por tanto la eficiencia.

5 En una forma de realización ventajosa de la invención, la disposición comprende una fuente de calor acoplada térmicamente al lado caliente del generador termoeléctrico. El acoplamiento térmico puede realizarse por ejemplo con la ayuda de un intercambiador de calor. De fuente de calor sirve especialmente un componente de un sistema de gases de escape de una máquina de combustión interna y gracias a la disposición según la invención no hace falta ninguna adaptación constructiva del sistema de gases de escape.

10 A continuación, la invención se describe en detalle con la ayuda de las figuras. Muestran:

**la figura 1** una representación esquemática de una disposición según la invención,

15 **la figura 2** una representación de la tensión de salida de generadores termoeléctricos de distinta concepción, según la figura 1, en función de la diferencia de temperatura,

**la figura 3** una representación de la densidad de potencia de generadores termoeléctricos de distinta concepción, en función de la diferencia de temperatura aplicada,

20 **la figura 4** la representación del coeficiente Seebeck para silicio con dopaje n, de distinta concentración de dopantes,

**la figura 5** la representación del coeficiente Seebeck para silicio con dopaje p, de distinta concentración de dopantes

25 La figura 1 muestra una disposición según la invención con un generador termoeléctrico (1) conocido por el documento EP1287566B1, que en el ejemplo de realización representado comprende a modo simplificado tan sólo un elemento termoeléctrico que se compone de una capa p (2) de un material termoeléctrico y de una capa n (3) de un material termoeléctrico, formando una transición pn (4) que se forma a lo largo de la capa límite. El generador termoeléctrico (1) presenta en el lado frontal superior del paquete de capas un lado caliente (5) y, en el lado frontal opuesto, un lado frío (6). A lo largo de la capa límite entre el lado caliente y el lado frío (5, 6) se puede aplicar un gradiente de temperatura, de tal forma que el lado caliente absorbe calor de una fuente de calor no representada, por ejemplo de un sistema de gases de escape de una máquina de combustión interna, y el lado frío emite calor a un disipador de calor, por ejemplo a un conducto de líquido refrigerante de la máquina de combustión interna o al aire ambiente. Cuando está aplicada una diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío (5, 6) se generan térmicamente portadores de carga (electrones y huecos) en el lado caliente (5) de la transición pn (4) en una zona de generación (7). Los portadores de carga son separados por el potencial incorporado de la transición pn (4) y transportados del lado caliente (5) al lado frío (6) por el efecto Seebeck en las capas n y p. En el lado frío (5), los portadores de carga son evacuados por las conexiones eléctricas (8a, 8b) en forma de contactos. Las conexiones eléctricas (8a, 8b) del generador termoeléctrico (1) están conectadas a un circuito eléctrico (9), a saber, un transformador de corriente continua. El transformador de corriente continua sirve para del fin de acoplar la energía eléctrica generada por el generador termoeléctrico (1) a una red de a bordo (10) representada esquemáticamente de un automóvil.

45 Con crecientes diferencias de temperatura, el generador termoeléctrico (1) presenta dos intervalos de funcionamiento - el intervalo de generación limitada y el intervalo de transporte limitado. En el intervalo de generación limitada, una gran parte de los portadores de carga generados en el lado caliente (5) se evacua hacia las conexiones eléctricas (8a, 8b). El número de portadores de carga generados aumenta de forma exponencial con la temperatura, ajustándose por la termoconductividad del generador termoeléctrico (1) un gradiente de temperatura correspondiente a lo largo de la transición pn (4). Si a temperaturas más elevadas, en el intervalo de transporte limitado se genera para cierto espesor de las capas n y p (2, 3) un exceso de portadores de carga, a lo largo de las capas n y p se ajusta un nuevo equilibrio y los portadores de carga vuelven a recombinar en su camino hacia las conexiones eléctricas (8, 8b). Por lo tanto, resulta una tensión de salida que a medida que aumenta la diferencia de temperatura aumenta inicialmente de forma más débil y después se satura.

55 Por lo tanto, la transición del intervalo de generación limitada al intervalo de transporte limitado y por tanto la diferencia de temperatura con la que se produce una saturación de la tensión de salida depende de la capacidad de transporte de las capas n y p (2, 3) y de la eficiencia de generación de la transición pn (4). Por lo tanto, con los parámetros dados, como la longitud del generador termoeléctrico, el dopaje y la densidad de defectos, el comportamiento de transporte de las capas n y p (2, 3) se puede ajustar de la manera más fácil modificando el espesor (11) de las capas n y p (2, 3). Los espesores típicos de las capas p y n se sitúan en el intervalo entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ , mientras que la longitud típica del generador termoeléctrico se sitúa en el orden de milímetros.

65 Las explicaciones anteriores muestran que determinando el espesor de las capas n y p (2, 3) se puede ajustar la intensidad de la máxima tensión de salida del generador termoeléctrico (1). Como consecuencia, la tensión de salida máxima del generador termoeléctrico (1) dentro de la disposición según la invención se puede adaptar a la máxima

tensión de entrada admisible del circuito eléctrico (9).

La figura 2 muestra la relación entre el espesor de las capas n y p (2, 3) y la saturación de la tensión de salida. La línea discontinua representada en la figura 2 muestra el comportamiento de un generador termoeléctrico convencional en el que la tensión de salida aumenta proporcionalmente con la diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío del generador termoeléctrico. Las líneas continuas, en cambio, se refieren al comportamiento de la tensión de salida de un generador termoeléctrico (1) en el que a través del espesor (11) de las capas n y p (2, 3) se produce una saturación de la tensión de salida con diferentes valores de la tensión de salida. La saturación de la tensión de salida aumenta a medida que se vuelven más espesas las capas p y n (2, 3). Para el menor espesor (11), en comparación, de las capas p y n (2, 3) la saturación se produce cuando existe una tensión de salida (S1), y para el espesor medio (11) se produce cuando existe una tensión de salida (S2) y para el mayor espesor (11) se produce cuando existe una tensión de salida (S3). Dado que las capas n y p (2, 3) de mayor espesor presentan una mayor capacidad e transporte para los portadores de carga también se desplaza hacia arriba la diferencia de temperatura con la que se produce respectivamente la saturación de las tensiones de salida (S1 - S3).

La figura 3 muestra que con diferencias de temperatura bajas, en comparación, resultan ventajosas unas capas n y p (2, 3) más delgadas, ya que por la menor diferencia de temperatura se generan en la zona de generación (7) menos portadores de carga que puedan ser transportadas de forma efectiva de las capas n y p (2, 3) a las conexiones (8a, 8b). A medida que aumentan las diferencias de temperatura resulta una mayor densidad de potencia para las capas n y p (2, 3) más espesas. En la figura 3 se puede ver además que la potencia de salida de un generador termoeléctrico convencional aumenta prácticamente al cuadrado con la diferencia de temperatura, mientras que la potencia de salida del generador termoeléctrico (1) aumenta inicialmente de forma exponencial, es decir, más que al cuadrado con la diferencia de temperatura, y con mayores valores de diferencia de temperatura está limitada por la saturación de la tensión de salida. Mediante este comportamiento del generador termoeléctrico (1) se puede optimizar la potencia de salida para una diferencia de temperatura determinada, en comparación con un generador termoeléctrico estructurado de manera convencional. Por lo tanto, la disposición se puede adaptar de manera especialmente eficiente a un sistema de gases de escape de una máquina de combustión interna que opere en la gama de potencia media.

Los portadores de carga libres y por tanto la conductividad, pero también el coeficiente Seebeck en un semiconductor se ajustan mediante el dopaje del material. Se diferencia entre los llamados semiconductores intrínsecos y extrínsecos, pasando cada semiconductor al intervalo intrínseco a medida que aumenta la temperatura. Mientras que en un semiconductor extrínseco sólo un tipo de portador de carga (es decir, o electrones o huecos, según el tipo de dopaje) contribuye al transporte eléctrico, en el semiconductor intrínseco existen ambos tipos de portadores de carga mediante generación térmica. Dado que la derivación térmica actúa sobre ambos tipos de portadores de carga en la misma dirección (de caliente hacia frío), pero los portadores de carga llevan cargas con diferentes signos y también presentan coeficientes Seebeck con diferentes signos, el coeficiente Seebeck de un semiconductor dopado disminuye masivamente en la transición del intervalo extrínseco al intervalo intrínseco por las aportaciones con signo erróneo de los otros portadores de carga que aparecen adicionalmente (electrones en el intervalo de semiconductores p, huecos en la zona de semiconductores n) (figuras 4, 5). En las figuras se pueden ver valores para diferentes muestras de silicio dopadas, el comportamiento básico es análogo para otros materiales semiconductores.

Por el comportamiento anterior, también mediante el dopaje del material semiconductor n y p se puede ajustar la saturación de la tensión de salida.

**Lista de signos de referencia**

Nº	Denominación
1	Generador termoeléctrico
2	Capa p
3	Capa n
4	Transición pn
5	Lado caliente
6	Lado frío
7	Zona de generación
8 a, b	Conexiones eléctricas
9	Circuito eléctrico
10	Red de a bordo
11	Espesor

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Disposición que comprende un generador termoeléctrico con un lado caliente que absorbe calor de una fuente de calor, con un lado frío que emite calor a un disipador de calor y con conexiones eléctricas para emitir energía eléctrica con una tensión de salida, así como un circuito eléctrico con una tensión de entrada máxima admisible, cuyas entradas están conectadas a las conexiones eléctricas del generador termoeléctrico, **caracterizada por que**
- 10 - el generador termoeléctrico (1) comprende al menos un elemento termoeléctrico que se compone respectivamente de al menos una capa n (2) y al menos una capa p (3) de un material termoeléctrico formando al menos una transición pn (4) que se forma a lo largo de una capa límite, pudiendo aplicarse un gradiente de temperatura paralelo con respecto a la capa límite entre el lado caliente y el lado frío (5, 6) del generador termoeléctrico (1) y
- 15 - por que la capa n y la capa p (2, 3) del generador termoeléctrico (1) presentan un espesor (11) con el que se produce una saturación de la tensión de salida (S1, S2, S3) por debajo o al alcanzar la máxima tensión de entrada admisible del circuito eléctrico (9).
- 20 2. Disposición según la reivindicación 1, **caracterizada por que** la disposición comprende una fuente de calor que está acoplada térmicamente al lado caliente (5) del generador termoeléctrico (1).
3. Disposición según la reivindicación 2, **caracterizada por que** la fuente de calor es parte integrante de un sistema de gases de escape de una máquina de combustión interna.
- 25 4. Disposición según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** el circuito eléctrico (9) es un transformador de tensión continua.
- 30 5. Procedimiento para la operación de una disposición que comprende un generador termoeléctrico (1) con un lado caliente (5) que absorbe calor de una fuente de calor, con un lado frío (6) que emite calor a un disipador de calor y con conexiones eléctricas (8a, 8b) para emitir energía eléctrica con una tensión de salida (S1, S2, S3), así como un circuito eléctrico (9) con una tensión de entrada máxima admisible, cuyas entradas están conectadas a las conexiones eléctricas (8a, 8b) del generador termoeléctrico (1), **caracterizada por que**
- 35 - se forma una diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío (2, 3) del generador termoeléctrico (1), en el que el lado caliente (5) absorbe calor de la fuente de calor y el lado frío (6) emite calor al disipador de calor,
- aumentando la tensión de salida (S1, S2, S3) del generador termoeléctrico (1) en un primer intervalo de valores para la diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío (2, 3) con valores crecientes hasta una tensión de salida máxima que es inferior o igual a la máxima tensión de entrada admisible del circuito eléctrico (9)
- 40 - con valores crecientes no aumentando más la tensión de salida (S1, S2, S3) del generador termoeléctrico (1) en un segundo intervalo de valores para la diferencia de temperatura entre el lado caliente y el lado frío (2, 3) y
- siendo las diferencias de temperatura del segundo intervalo superiores a las diferencias de temperatura en el primer intervalo de valores.

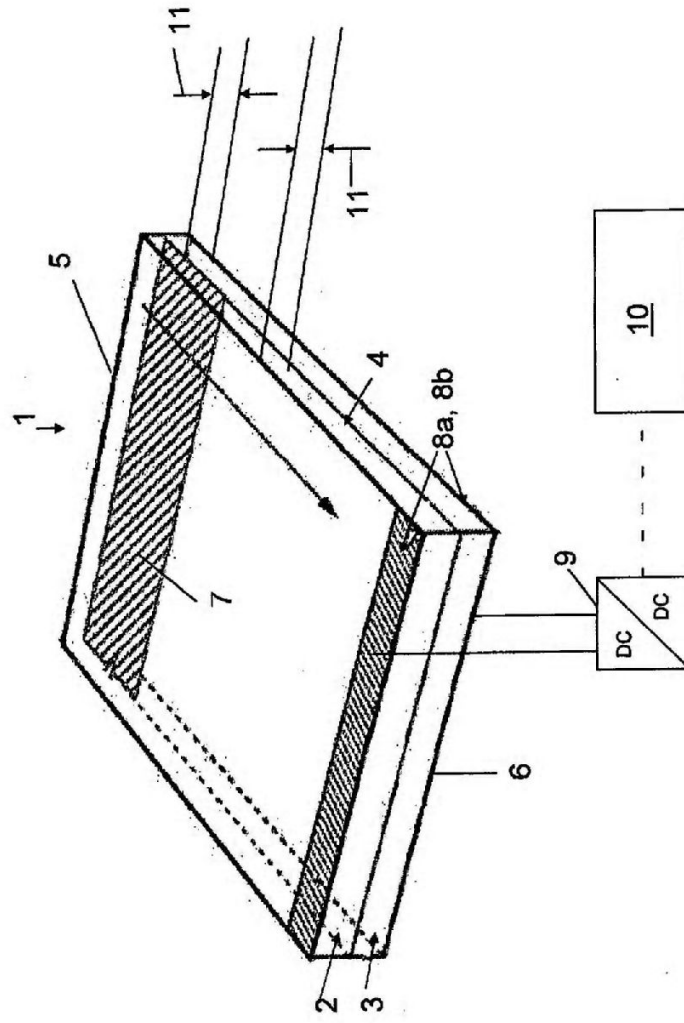


Figura 1

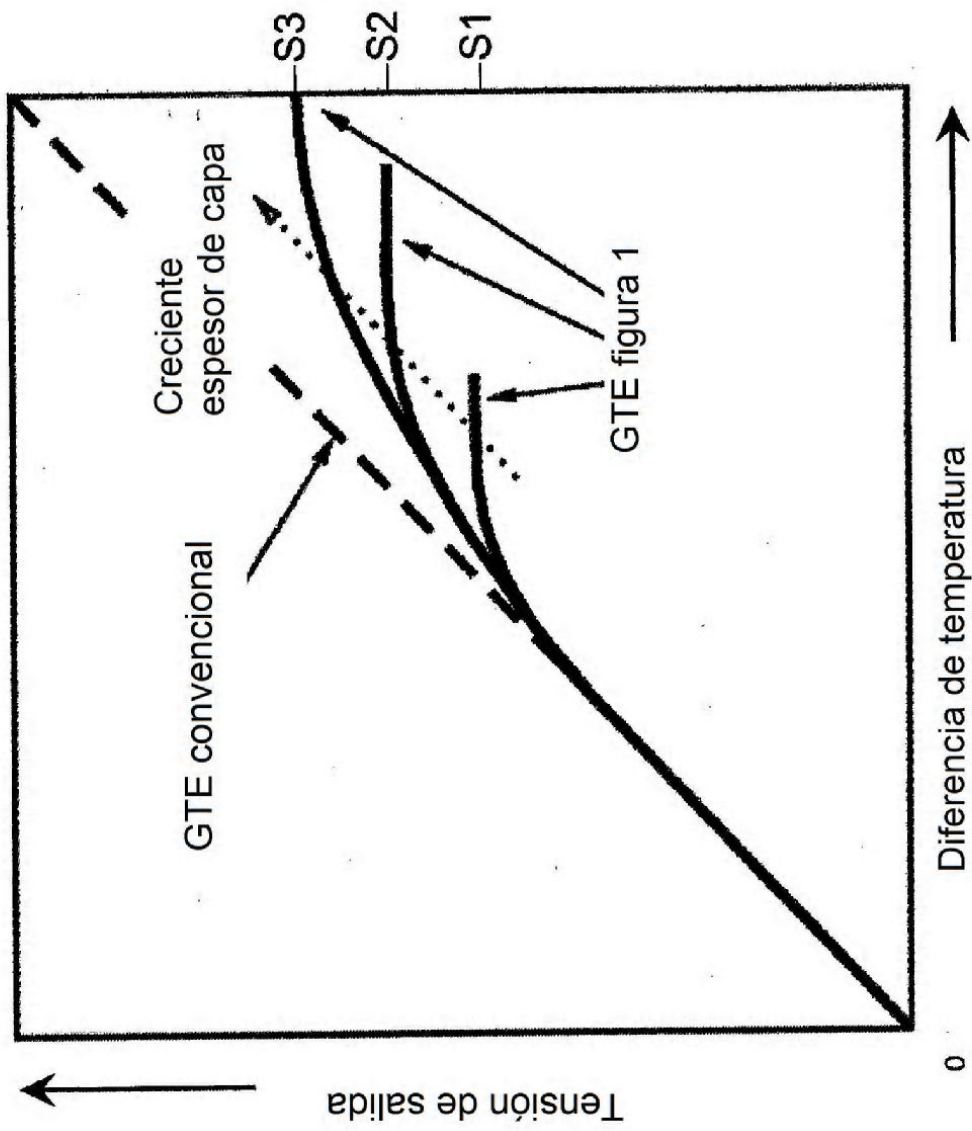


Figura 2



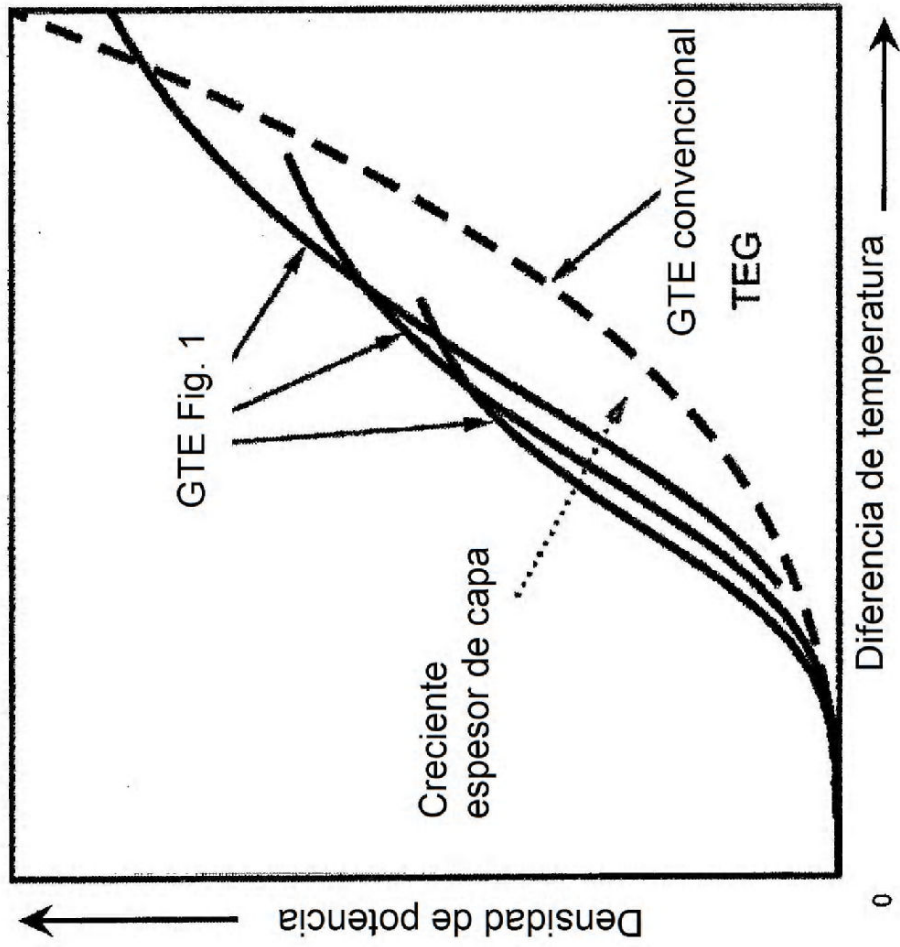


Figura 3

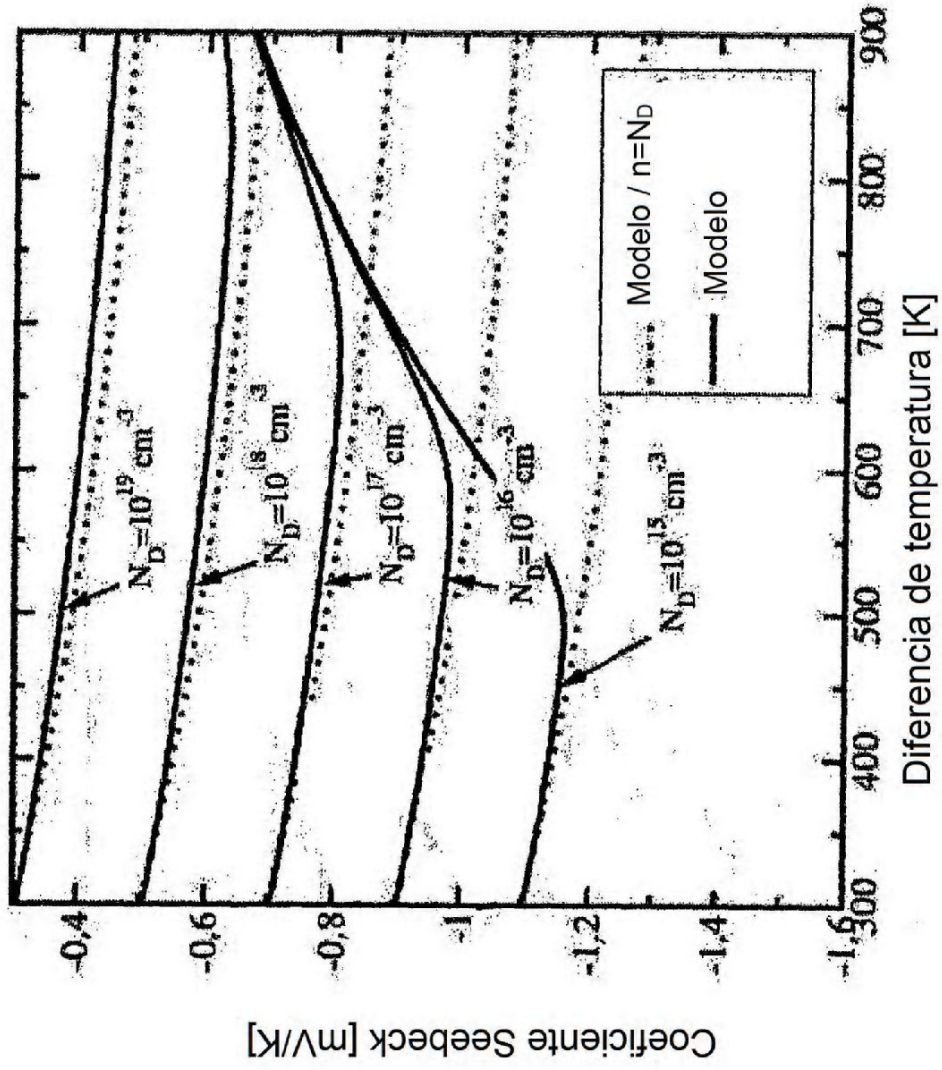


Figura 4

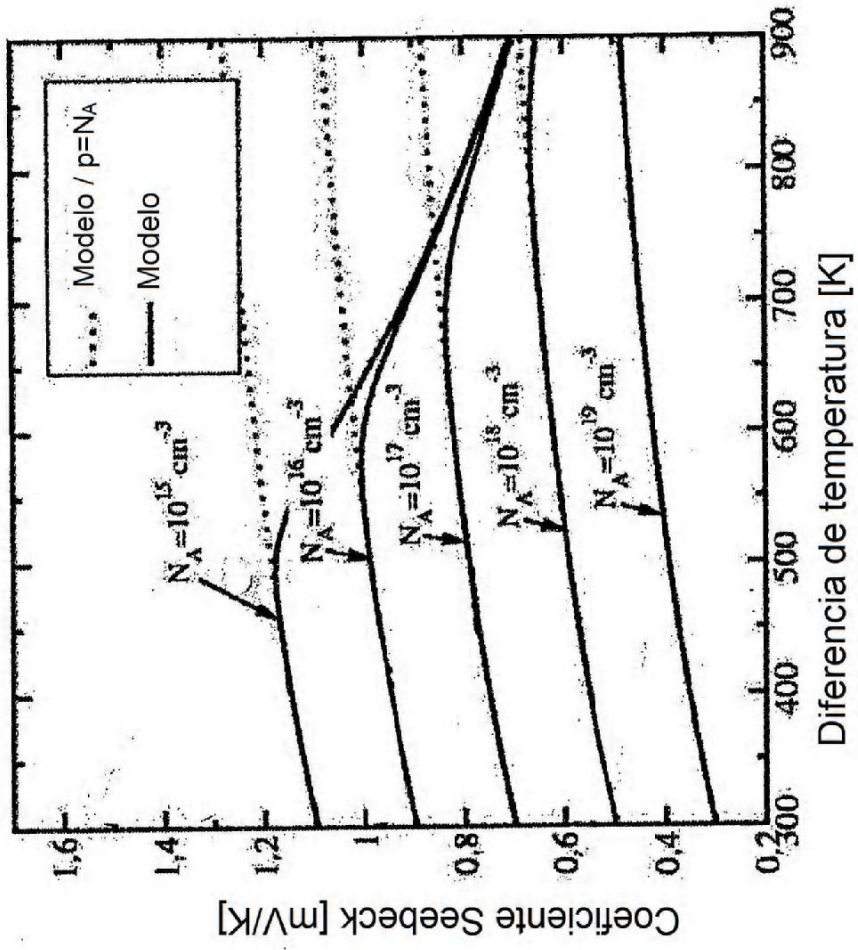


Figura 5