

20 DIC. 1978

ES

11	NUMERO	10	A1
21			
22	FECHA DE PRESENTACION		



Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

PATENTE DE INVENCION

50	PRIORIDADES:	52	FECHA	53	PAIS
51	NUMERO				
	812.298		1.7.77		EE.UU.

47	FECHA DE PUBLICIDAD	61	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
			H01L		

64	TITULO DE LA INVENCION
"MEJORAS INTRODUCIDAS EN UN DISPOSITIVO PERCEPTOR DE CAMPO DE CONDUCCION DE CANAL, SEMICONDUCTOR"	

71	SOLICITANTE (S)
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	
(RA9-76-008)	

DOMICILIO DEL SOLICITANTE	
Armonk, N.Y. 10504, Estados Unidos de América	

72	INVENTOR (ES)
Albert Watson Vinal	

73	TITULAR (ES)

74	REPRESENTANTE
D. OSCAR DE ELZABURU FERNANDEZ	
(P.- 69.139)	

FUNDAMENTOS

Campo del invento

5

Este invento se refiere a perceptores de campo en general y en particular a perceptores magnéticos semi-conductores del tipo general de transistores de efecto de campo.

10

Técnica anterior

15

Se ha realizado una gran cantidad de esfuerzos en desarrollar dispositivos perceptores magnéticos de transistores de efecto de campo. El funcionamiento general de los dispositivos de la técnica anterior ha consistido en utilizar lo que se entendía anteriormente que era la desviación de Lorentz de los portadores que fluyen entre el manantial y uno o más sumideros en un transistor de efecto de campo. Esto se utilizaba para crear un desequilibrio en las corrientes de sumidero del mismo, para dar una salida de señal diferencial en los sumideros. Véase, por ejemplo, IBM Technical Disclosure Bulletin, volumen 13, número 12, Mayo 1971, página 3633 o, por ejemplo, la patente británica 1.243.178 en que se muestra un perceptor magnético de TEC (transistor de efecto de campo) que tiene dos o tres sumideros y un manantial en extremos opuestos, respectivamente, de un canal de transistor de efecto de campo. Tal como lo entenderán los expertos en la técnica, se forman en dichos dispositivos también apro

30

piadas capas de puerta y de óxido aislante, para controlar el flujo de corriente en el canal. En la patente británica antes mencionada, por aplicación de un voltaje apropiado a la puerta se establece una capa de inversión que actúa como un canal conductor. El canal conductor efectivo formado de este modo, se extiende entre el manantial y dos o tres sumideros. El manantial está conectado a tierra y los sumideros están conectados con un voltaje de suministro a través de cargas resistivas que pueden ser de igual valor. Tal como es bien conocido en la técnica, cuando el dispositivo es hecho funcionar con voltajes apropiados en el manantial, en el sumidero y en la puerta, fluirá una corriente entre el manantial y los sumideros. Se ha pensado que esta circulación de corriente podría ser desviada por la fuerza de Lorentz producida por un campo magnético que intersecte a la trayectoria de los portadores de carga. Este es el estado bien conocido de la técnica y, tal como se expone en esta patente británica, se cree que la fuerza de desviación de Lorentz hará que la carga se "acumule" en un lado del canal y se agote en el otro lado hasta que el campo eléctrico producido por el desplazamiento de carga aplique una fuerza a los portadores de carga que sea igual y opuesta a la debida al campo magnético.

Esta teoría de enseñanza clásica de una "acumulación de carga" que se produce en el canal para oponerse a la desviación de los portadores de carga ha dado como resultado la utilización de canales relativamente anchos en las estructuras de transistores de efecto de campo de este tipo. Esto era así para proporcionar sitio con el fin de desviar los portadores de carga sin que se produjese

en un grado importante interacción o "acumulación de carga". Desde luego, un canal más ancho transportará corrientes proporcionalmente mayores que las que podrían tener canales más estrechos. En el modo diferencial, sólo un

5 pequeño número de los portadores de corriente (los próximos al centro del canal) son desviados realmente en su trayectoria para incidir en un sumidero en lugar de en otro. La mayoría de los portadores en el dispositivo de canal ancho se sumarán, por lo tanto, a la corriente de

10 sumidero en los sumideros de salida de una manera que no sea afectada por la desviación de Lorentz. Esto significa a su vez que los voltajes de ruido producido en las resistencias de carga será mayor que lo que ocurriría en caso contrario con un dispositivo de canal estrecho. Además,

15 dado que sólo una proporción relativamente pequeña de los portadores en el canal son capaces de ser desviados para producir una señal, los niveles de señal producidos con relación a los niveles de ruido producidos serán relativamente menores que lo que podría desearse. También,

20 a causa de la mayor anchura relativa de un canal de este tipo, será reducido el grado de resolución del dispositivo, es decir la banda más estrecha de flujo magnético que se puede utilizar para desviar los portadores que producen una señal de salida.

25 La utilización de canales anchos, es decir aquellos en que la anchura de canal es mayor que la anchura del más pequeño sumidero o manantial de separación de elementos, indica que la anchura de las zonas de agotamiento a lo largo de los linderos del canal era ignorada o no

30 reconocida en la técnica anterior. En cualquier caso, las

zonas de agotamiento de la técnica anterior en dichos dispositivos de canal ancho constituyen una porción insignificante de la anchura de los canales de la técnica anterior. En contraste de ello, en el presente invento, las anchuras de las zonas de agotamiento dentro del canal constituyen una porción importante de la anchura total del canal dado que las anchuras del canal son tan pequeñas que las zonas de agotamiento forman una porción relativamente mayor de la anchura total.

La técnica anterior relacionada, de un tipo ligeramente diferente, utiliza dispositivos bipolares (P-N) o de unión en que el manantial y/o uno o más sumideros son de material con conductividad distinta empotrados en un substrato de material semiconductor. Véanse, por ejemplo, las patentes de los Estados Unidos 3.714.559 y 3.829.883 o 3.167.663 y 3.731.123. Tal como se hace observar en estas patentes, un problema principal asociado con receptores de campo magnético del tipo TEC es la dificultad de obtener alta sensibilidad con señales de salida suficientemente grandes en condiciones aceptables de relaciones de señal a ruido en condiciones de anchura de banda suficientes. En las patentes de los Estados Unidos primeramente mencionadas, es decir las 3.714.559 y 3.829.883 se muestra un detector de campo magnético TEC de múltiples sumideros, que es hecho funcionar en un modo en que la puerta es polarizada a menos que el umbral de transistor y el primer sumidero es polarizado para producir descarga en alud (un notorio o manifiesto manantial de ruido en transistores de efecto de campo) de la unión con el substrato, mientras que el segundo y el tercer sumideros son polari

zados a un voltaje por debajo del requerido para que se produzcan descargas en alud de sus uniones. En este modo de funcionamiento, el canal de transistor de efecto de campo no ha sido efectivamente conectado a conducción. Por lo tanto una estructura de transistor de efecto de campo no es esencial para el funcionamiento de este dispositivo, dado que éste no funciona como un transistor de efecto de campo en este modo y no existe "canal". En estas patentes se muestra una forma alternativa de realización en que al menos uno de los sumideros es del mismo tipo de conductividad que el substrato pero está más altamente impurificado. Este dispositivo es hecho funcionar para producir una corriente entre la difusión de manantial y la unión, de manera que el dispositivo funciona aparentemente más bien en calidad de un diodo. Estos dispositivos aseguran tener alta sensibilidad, salida de señal relativamente alta y relaciones buenas de señal a ruido pero, tal como se expone allí, no son hechos funcionar como transistores de efecto de campo. Se cree que funcionan para acelerar las lagunas desviadas por un campo magnético y que estos portadores minoritarios, en un modo de desviación, tienen sensibilidad mejorada. Las dificultades del control de descarga en alud y de generar suficientes pares de lagunas y electrones para hacer posible un flujo de corriente de lagunas desde el manantial al sumidero pueden manifestarse como indeseables en ciertas aplicaciones. Es más deseable utilizar corrientes portadoras mayoritarias, si es posible, en estructuras de transistores de efecto de campo hechas funcionar como transistores.

30

Las patentes de los Estados Unidos números

3.167.663 y 3.731.123 antes mencionadas muestran otros dispositivos detectores de campos magnéticos del tipo de unión P-N (bipolar). Estos dispositivos funcionan esencialmente como diodos en los cuales el flujo de corriente puede ser cambiado o dirigido por la aplicación de campos magnéticos externos. Se piensa que estos dispositivos son hechos funcionar en la región de elevado flujo de corriente, en que portadores inyectados son desviados mediante desviación del tipo Lorentz para dar como resultado un desplazamiento lateral de la corriente de portadores y una señal de salida diferencial entre dos o más sumideros de unión P-N. Estos dispositivos tienen corrientes intrínsecamente más elevadas y, aunque pueden ser sensibles a campos magnéticos, son más susceptibles de experimentar fenómenos de corrientes de ruido.

Un tipo de dispositivo similar al de las patentes antes mencionadas se muestra en la patente de los Estados Unidos número 3.593.045 en que se supone que un haz de electrones inyectados creados junto a una unión P-N en un dispositivo semiconductor es desviado hacia uno o más blancos por campos eléctricos o magnéticos. Sin embargo, este dispositivo no es hecho funcionar como un transistor de efecto de campo y, desafortunadamente, requiere la previsión de voltajes de polarización y excitación relativamente elevados, típicamente del orden de 200 voltios tal como se describe en la patente, lo que los hace inapropiados para su aplicación en circuitos integrados de efecto de campo.

Otro sector en que la técnica anterior ha proporcionado algún desarrollo e investigación se encuentra

en dispositivos Hall de efecto de campo, tal como se ilustra por ejemplo en la patente de los Estados Unidos 3.448.353, por ejemplo. Estos dispositivos, de los cuales es típica la patente de los Estados Unidos 3.448.353, no
5 utilizan directamente la desviación de portadores en un dispositivo de efecto de campo sino que utilizan el voltaje de desplazamiento producido por desviación según Lorentz de líneas equipotenciales de los portadores transversales a las conexiones de entrada y de salida. Los dispositivos
10 Hall están caracterizados usualmente, asimismo, por relaciones relativamente bajas de longitud a anchura (por debajo de aproximadamente tres a uno) y son hechos funcionar del mejor de los modos con igual anchura e igual longitud, tal como ahora es bien conocido en la técnica. La
15 señal de salida en dispositivos Hall, tal como es asimismo bien conocido, es proporcional a la velocidad de los portadores y no al número de dichos portadores. Dado que éstas no son estructuras de transistores de efecto de campo hechas funcionar en el modo en que un haz de portadores
20 es desviado y una señal de salida diferencial es obtenida en los sumideros, sólo se puede utilizar una salida de voltaje procedente de las sondas de salida de Hall a cualquier lado del canal. Es preferible hacer que se obtenga una corriente de señal real en uno o más de los sumideros
25 según ocurre con la estructura de efecto de campo de desviación diferencial antes mencionada, tal como se describe en la antedicha patente británica.

Todavía otra técnica anterior relacionada se encuentra en el sector de dispositivos acoplados en carga que controlan el estado de flujo de corriente en cana
30

les de transistores de efecto de campo con anchura relativamente mayor, tal como se muestra en la patente de los Estados Unidos 3.714.523 o en el IBM Technical Disclosure Bulletin, volumen 14, número 11, Abril 1972, página 3420.

5 El dispositivo patentado proporciona alta sensibilidad para detección de campos magnéticos. Un control diferencial de los electrodos de puerta acoplados de modo retroactivo a partir de los sumideros se puede utilizar para proporcionar retroacción positiva con el fin de crear dis-
10 positivos extremadamente sensibles tal como se describe en la patente. Los dispositivos acoplados en carga de este tipo proporcionan también un factor de amplificación y pueden ser utilizados para proporcionar señales de salida más altas. No obstante, debido a la anchura relativa-
15 mente mayor de dichos dispositivos y a los flujos de corriente mayores, pueden esperarse voltajes de salida de ruido mayores. Dicho ruido es amplificado, asimismo, por el mecanismo de retroacción utilizado. Desde luego, la gran anchura de estos dispositivos indica también que las
20 zonas de agotamiento a cualquiera de los lados del canal son una porción insignificante de la anchura total del canal.

Objetos del invento

25

A la vista de las dificultades antes mencionadas en la técnica anterior, un objeto de este invento es crear un perceptor de campo con conducción de canal de sensibilidad alta, para campos de origen magnético o eléctrico, que exhiban una corriente de canal relativamente
30

baja y salidas de voltaje de ruido relativamente bajas para lograr elevadas relaciones de señal a ruido con anchura de banda de señal adecuada y con niveles de voltaje de salida adecuados.

5 Otro objeto del presente invento es crear una estructura perceptora de conducción de canal mejorada que tenga un canal filamentario caracterizado por relaciones relativamente elevadas de longitud a anchura en que un haz estrecho y confinado de portadores de carga pueda ser des-
10 viado de manera máxima hacia la izquierda o hacia la derecha por un mecanismo de modulación de anchura de agotamiento para producir un receptor altamente sensible, de elevada resolución y bajo ruido.

15 Otro objeto de este invento es crear un receptor de conducción de canal mejorado en que existan zonas de agotamiento relativamente anchas, que sean una proporción relativamente grande de la anchura total del canal.

Resumen

20 Los antedichos y otros objetos del invento pueden cumplirse construyendo, de acuerdo con el modo de funcionamiento de acrecentamiento o de agotamiento, un dispositivo de canal de conducción estrecho, relativamente
25 largo, en que el canal conductor tiene regiones de agotamiento relativamente anchas a lo largo de sus lados en proporción con el área no agotada dentro del canal. Tal como se utiliza aquí, dicho dispositivo es denominado "dispositivo Vinhall" para distinguirlo de otros dispositivos
30 de conducción de canal, que se discutirán. Los parámetros

de anchura y longitud utilizados para definir un dispositivo Vinhall en general describen también la naturaleza filamentaria del canal conductor. El canal conductor tiene una anchura mínima de al menos el doble de la anchura de la zona de agotamiento a lo largo de cualquier lado del canal. Dicha anchura corresponde a una anchura Vinhall de cero. La longitud de dicho dispositivo debe ser suficientemente grande para evitar acortamiento o descarga en el canal conductor entre el manantial y el sumidero. El margen resultante de relaciones de longitud a anchura, que puede ser definido, corresponde a la creación de canales conductores para dispositivos sensibles al campo que son aproximadamente más estrechos en uno o dos órdenes de magnitud (10^{-1} a 10^{-2}) que los considerados con anterioridad. Este factor conduce a una consideración del mecanismo mediante el cual puede producirse desviación del canal de portadores de carga tal como se define por los linderos de zona de agotamiento y a los orígenes de ruido en dichos perceptores. Si se entienden apropiadamente el mecanismo de funcionamiento y los orígenes de ruido, es posible construir dispositivos que tengan una sensibilidad y una relación de señal a ruido mucho mayores que los de la técnica anterior. Se han logrado relaciones de señal a ruido del orden de desde 50 a 1 hasta superiores a 1200 a 1 utilizando el presente invento con campos magnéticos que se presentan normalmente, de 350 Gauss.

Breve descripción de los dibujos

El presente invento se describirá ahora con referencia a dibujos y esquemas ilustrativos que describen diversos aspectos de las formas preferidas de realización del mismo; un análisis detallado de los modos de funcionamiento y algunos orígenes de ruido se dará también con referencia a las figuras, del siguiente modo:

La figura 1 ilustra una vista superior o en planta de una forma esquemática de un dispositivo de conducción de canal filamentario creado en o incluso por debajo de la superficie de plancha semiconductor de material.

La figura 2 ilustra una sección longitudinal típica a lo largo de las líneas AA en la figura 1 para el tipo de canal que puede ser creado por acrecentamiento, es decir por la colocación de un voltaje apropiado sobre una puerta de control para inducir la presencia de portadores de carga dentro de una región de canal para conducción en la superficie del substrato.

Las figuras 3A hasta 3D ilustran vistas esquemáticas superiores o en planta de dos dispositivos de conducción de canal filamentario de un único manantial y múltiples sumideros, y los efectos de estrechamiento en los linderos de agotamiento y anchuras Vinhall.

La figura 4 ilustra una vista en sección transversal de un dispositivo de canal de conducción implantado profundamente o enterrado del tipo filamentario del presente invento.

La figura 5 ilustra una forma alternativa de realización de la estructura similar a la mostrada en la figura 4.

La figura 6 ilustra, en forma esquemática, un

diagrama para calcular corrientes de canal para conducción en uno cualquiera de los modos o formas de realización del presente invento.

5 Las figuras 7A hasta 7C ilustran los efectos de modulación de anchura de agotamiento en perceptores de canal conductor abocinado de acuerdo con el invento.

10 La figura 8 ilustra un pequeño segmento de un canal conductor visto en una vista superior y que muestra una separación hipotética de portadores de carga confinados por los linderos de canal.

La figura 9 ilustra una curva típica de corriente de sumidero en función de voltaje para un dispositivo TEC y muestra las regiones de funcionamiento y los puntos críticos de las mismas.

15 Las figuras 10A hasta 10C ilustran, respectivamente, la región de carga espacial, el campo eléctrico y el voltaje de potencial, respectivamente, que existen a través de la unión P-N que existe a lo largo de cada borde del canal conductor en dispositivos del tipo general de acuerdo con el invento.

20 Las figuras 11A hasta 11C ilustran el mecanismo de modulación de anchura por agotamiento y muestran el modo en que la modulación de anchura por agotamiento mueve efectivamente los linderos de canales conductores en dispositivos constructivos de acuerdo con el invento.

25 La figura 12 ilustra un perceptor típico constructivo de acuerdo con el invento y muestra las zonas de anchura de agotamiento existentes en él.

30 Las figuras 13A y 13B ilustran un típico dispositivo Hall y la disposición de zonas de agotamiento en

condiciones óptimas dentro de dicho dispositivo. Las figuras muestran también el gradiente de velocidad de portadores o la carencia del mismo, y su efecto sobre el funcionamiento de los dispositivos.

5 Las figuras 14A y 14B ilustran típicos dispositivos construidos de acuerdo con el invento y muestran la modulación de anchura de la zona de agotamiento que se produce con y sin gradientes de velocidad de portadores, respectivamente.

10 Las figuras 15A hasta 15E ilustran los efectos de modulación de anchura de linderos de agotamiento tridimensional, además de la modulación de anchura lateral o bidimensional, tal como se producen en dispositivos construídos de acuerdo con el invento.

15

MEMORIA DESCRIPTIVA DETALLADA

20 Se describirán la teoría de funcionamiento del invento y las características que lo distinguen de dispositivos similares. Al comenzar, no obstante, es necesario efectuar varias observaciones. En primer término, para obtener la mejor sensibilidad, el dispositivo Vinhall que

25 aquí ha definido el inventor, es distinguido con facilidad de otros dispositivos similares. El dispositivo Vinhall está caracterizado por tener un canal conductor que, al contrario que en las teorías de enseñanza de la técnica anterior, es hecho todo lo estrecho que puede lograrse por

30 medios físicos. El presente margen y la resolución de la

tecnología fotolitográfica disponible hacen posible la construcción de dispositivos Vinhall que tienen canales conductores con anchuras del orden de 0,0025 mm o 2,5 micras. No obstante, lo más deseado es hacer al canal todavía más estrecho. El concepto de anchura de canal Vinhall es definido aquí como la anchura total de canal menos el doble de la anchura de la región de agotamiento existente dentro del canal. La anchura Vinhall mínima del canal sería al menos de unos pocos cientos de unidades Angstrom con el fin de admitir al menos algo de flujo de corriente. El límite más estrecho de resolución para los procesos de fabricación actualmente disponibles no permite la construcción de dichos estrechos canales conductores. No obstante, los canales más estrechos que pueden ser formados funcionan adecuadamente, y se logrará un rendimiento mejorado cuando se logren los canales más estrechos que se describen. Los presentes procedimientos para formar canales de substratos semiconductores rinden anchuras de canales físicos totales de aproximadamente 2,5 micras o 2,54 veces 10^{-4} Å. Por lo tanto la teoría de enseñanza de la presente memoria descriptiva, aunque obstaculizada en su realización total por la tecnología disponible para la construcción del canal conductor, no deberá ser considerada limitada por ello. Lo que se pretende es que el canal más estrecho que puede lograrse aproximándose hasta la anchura mínima que ha sido definido para la posibilidad de funcionamiento u operabilidad, constituirá la forma preferida de realización.

En segundo término, el dispositivo Vinhall, tal como es aquí caracterizado, es un tipo distinto de detec-

tor de desviación de corriente de portadores de carga. El dispositivo funciona como un receptor de campo de un modo enteramente diferente que los denominados dispositivos Hall. Una distinción consiste en que el dispositivo Vin-

5 hall funciona desviando los linderos de zona de agotamiento reales que contienen la corriente de portadores de carga y detecta el efecto de los mismos en dos o más sumideros de salida.

Otra distinción consiste en que los linderos de corriente de portadores en el dispositivo Vinhall son hechos variar modulando las anchuras de zona de agotamiento de canal para corrientes de portadores de velocidad constante o con gradiente de velocidad. El dispositivo Hall, en contraste con el dispositivo Vinhall, no produce ninguna señal de salida de corriente y, desde luego, no se puede retirar nada de corriente en los terminales de salida de un dispositivo Hall sin interferir grandemente con su funcionamiento.

10

15

Tal como se pondrá aquí de manifiesto, la salida del dispositivo Hall depende de la existencia de un gradiente de velocidad de portadores dentro de su canal conductor, y no se producirá ninguna señal sin tal gradiente. También, el dispositivo Hall se basa en el gradiente de velocidad y no en el número de portadores. El dispositivo Hall puede ser caracterizado por requerir un gradiente de velocidad dentro del canal con el fin de funcionar de algún modo, para hacer girar líneas de voltaje equipotenciales dentro del canal, para inducir una salida de voltaje de desplazamiento de las sondas Hall. Cualquier intento de retirar una corriente significativa de la son-

20

25

30

da de salida Hall o de las sondas de salida Hall dará como resultado un deterioro del funcionamiento del dispositivo por deformación del diseño de desviación de las líneas equipotenciales. El dispositivo Vinhall aquí descrito funciona bastante eficazmente sin ningún gradiente de velocidad y, en lugar de ello, es dependiente de la magnitud de la velocidad y del número de portadores que se mueven dentro del canal. Además de ello, la velocidad de portadores y la anchura Vinhall son sólo de importancia para el dispositivo Vinhall en la zona del canal situada en la proximidad de los sumideros.

En tercer término, y lo que es más importante, se mostrará que el funcionamiento de un dispositivo Vinhall es dependiente del espesor del canal, la anchura Vinhall, y la densidad por unidad de volumen de los portadores de carga que existen en el substrato y en el canal de conducción. Esto está en claro contraste con las enseñanzas de la técnica anterior y los conocimientos obtenidos de los principios físicos anteriores, que tienden a indicar que las anchuras de los dispositivos de conducción de canal deberían ser aumentadas en lugar de ser disminuídas para evitar efectos de apiñamiento de cargas. Tal como se describirá aquí, se ha encontrado que dichas enseñanzas se encuentran en manifiesto error debido a una falta de comprensión del mecanismo de apiñamiento de cargas y una aparente ignorancia del verdadero mecanismo de funcionamiento de los dispositivos. Se estima que lo que se describirá es una exposición correcta y fundamental de la naturaleza del mecanismo para hacer funcionar perceptores magnéticos de este tipo general. Se mostrará que el mejor

funcionamiento se proporciona por canales más estrechos en lugar de por canales más anchos. Dicha enseñanza está directamente alejada de los conocimientos y de la práctica de la técnica anterior. Hace posible el descubrimiento inesperado de que, en realidad, los canales conductores estrechos son los más deseables para el dispositivo Vinhall.

TEORIA DEL INVENTO

Pasando ahora a discutir la teoría del funcionamiento de un perceptor magnético Vinhall, se hará referencia inicialmente a la figura 6 en que se muestra una plancha 1 típica de material semiconductor. La plancha 1 puede ser de cualquier material semiconductor tal como silicio, germanio, arseniuro de galio o una variedad de otros elementos y compuestos relacionados que tengan propiedades semiconductoras intrínsecas bien conocidas en la técnica. En la plancha 1 se muestran una pluralidad de portadores de carga 2 distribuidos a distancias iguales entre sí a lo largo de los ejes x , y y z . Tal como se muestra en la figura 6, se mide la anchura W a lo largo del eje x , el espesor T a lo largo del eje z y la longitud L a lo largo del eje y . No tiene importancia particular cual eje se escoja para la representación, y la nomenclatura se escoge sólo con fines de descripción y discusión.

Un análisis de una estructura Vinhall requiere la derivación de ecuaciones que definan la corriente de

canal, y las funciones de salida de perceptor y relaciones de señal a ruido para dicho dispositivo en contraste con dispositivos Hall.

La discusión comenzará a partir de una comprensión de los primeros principios de la física. Se desea definir la densidad existente de dosis de electrones o portadores dentro de la plancha. En la figura 6, la plancha 1 representa un pequeño segmento de un canal semiconductor implantado en, o inducido dentro de, un substrato semiconductor por medios bien conocidos en la técnica. La densidad de dosis de portadores de carga será definida en términos de densidad volumétrica. Continuando, establézcase:

N_x = el número de portadores cargados o iones en la plancha en la dirección x .

N_y = el número de portadores cargados o iones en la plancha en la dirección y .

N_z = el número de portadores cargados o iones en la plancha en la dirección z .

Supóngase ahora que existe una separación media entre portadores de carga, electrones o iones en cualquier dirección en la plancha 1, igual a una distancia definida como d .

El número total de portadores de carga, electrones o iones, tal como pueden ser descritos diversamente, que existirán dentro de la plancha 1 en la figura 6, que se entiende es una pequeña porción del canal semiconductor en un substrato dado, estará dado por:

$$N_{\text{total}} = N_x N_y N_z = \frac{WLT}{d} \quad \text{Ec. (1)}$$

30

Ahora $\frac{1}{d^3}$ puede ser definido como igual a N_D , la concentración de dadores que es el número de iones, portadores de carga o electrones por unidad de volumen dentro de la plancha 1 que existen en el canal conductor en un substrato. Por lo tanto, la ecuación (1) puede ser reajustada del siguiente modo:

$$N_{total} = N_D WLT \quad \text{Ec. (2)}$$

La dosis o fluencia de electrones, portadores de carga o iones en un segmento del plano x-y en la figura 6 en una capa de espesor T se definirá como D. Por lo tanto :

$$D = \frac{N_{total}}{WL} = N_D T \quad \text{Ec. (3)}$$

Por lo tanto, resolviendo la ecuación (3) para N_D , resulta

$$N_D = \frac{D}{T} \quad \text{Ec. (4)}$$

La corriente de canal I_C a través de la plancha 1 en la figura 6 se desarrollará seguidamente.

Un haz de corriente eléctrica de anchura de un único electrón es definido como el cambio de carga por unidad de tiempo dq/dt . Esto es igual a la corriente tomada en uno de los ejes de la figura 6 y se supondrá, con fines explicativos, que la corriente de haz I_B estará a lo largo del eje y en la figura 6. Por lo tanto la corriente de haz I_B puede ser definida del siguiente modo :

$$I_B = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{dy} \frac{dy}{dt} \quad \text{Ec. (5)}$$

5 Dicho de otro modo, la corriente de haz I_B es igual a la unidad de carga de un electrón q multiplicado por la velocidad \underline{V} del portador de carga dividido por la separación \underline{d} entre sucesivos portadores de carga, es decir

$$\frac{dq}{dy} = q/d \quad \text{y} \quad dy/dt = \underline{V} \quad \text{Ec. (6)}$$

10

Por lo tanto:

$$I_B = \frac{q}{d} \underline{V} \quad \text{Ec. (7)}$$

15

en donde \underline{V} es la velocidad media de portadores a lo largo del eje \underline{y} en la figura 6 y \underline{d} es la separación media entre portadores que forman el haz de electrones dirigido a lo largo del eje \underline{y} en la figura 6. La ecuación (7) anterior es la corriente efectiva de una corriente de un único elec-
 20 trón o haz de portadores que se mueve en la dirección \underline{y} . Para extrapolar el haz de portadores de un único electrón dentro de una lámina de corriente a lo largo de toda la anchura de la plancha en el eje \underline{x} que se muestra en la figura 6, una definición de la corriente de lámina I_S de
 25 una única capa de electrones a través de dicha superficie sería como sigue:

$$I_S = I_B N_x \quad \text{ó} \quad \text{Ec. (8)}$$

30

$$I_S = I_B \frac{W}{d} = \frac{q}{d} \frac{W}{d} \underline{V}$$

Esto quiere decir que una lámina de corriente que se mueve en la dirección y es igual a la corriente de haz I_B multiplicada por el número de electrones distribuidos a lo largo del eje x y que se mueven en la dirección y en esta lámina. Esto es igual a W dividido por la separación de electrones d .

La corriente total de canal que se mueve en una dirección dada en la figura 6 será definida como I_C , y será igual a la corriente laminar I_S multiplicada por el número de electrones o portadores distribuidos en el eje z en un espesor T para dar la corriente volumétrica total. Para una corriente de canal que se mueve a lo largo del eje y en la figura 6, $I_C = N_Z I_S$. Esto a su vez puede ser definido como $\frac{T}{d} \frac{q}{d} \frac{W}{d} \underline{V}$, ó :

$$I_C = N_D T W q \underline{V} \quad \text{Ec. (9)}$$

en donde T es el espesor del canal en el eje z .

Ahora, la densidad de portadores en una sección plana de espesor T fue definida anteriormente como D que es igual a la densidad volumétrica de portadores N_D multiplicado por el espesor de la plancha tal como se muestra anteriormente en la ecuación (3) anterior. Por lo tanto, por sustitución, la ecuación (9) se convierte en

$$I_C = D W q \underline{V} \quad \text{Ec. (10)}$$

Dicho de otro modo, la corriente total de canal es igual a la densidad de dosis de portadores multiplicada por la anchura del canal por la unidad de carga q y por la velo

...cidad de los portadores \underline{V} .

El término velocidad de portadores \underline{V} puede ser reajustado en términos de principios de física suponiendo que existe un campo eléctrico longitudinal uniforme a lo largo del canal en la dirección de movimiento de los portadores. Esta suposición crea realmente una aproximación de primer orden con respecto al campo eléctrico real existente a lo largo de un canal en la dirección del movimiento, del siguiente modo: si el campo eléctrico existente es definido como E_L y la movilidad de portadores como μ , a partir de los principios, la velocidad \underline{V} es definida como el producto del campo eléctrico E y la movilidad μ . El campo eléctrico existente en un dispositivo de conducción de canal de la clase descrita puede ser establecido de modo aproximado, donde existe un sumidero y un manantial para un canal semiconductor, como el voltaje V_{DS} , es decir el voltaje de sumidero a manantial dividido por la longitud existente entre el sumidero y el manantial, L . Por lo tanto

$$E_L = \frac{V_{DS}}{L} \quad y,$$

$$\underline{V} = \mu \frac{V_{DS}}{L} \quad \text{Ec. (11)}$$

APLICACION DE LA TEORIA

Volviendo ahora a la figura 1, los principios hasta ahora desarrollados se aplicarán a una configuración típica de canal perceptor Vinhall mostrada en vista en planta como en la figura 1 que tiene una longitud total

de canal L, una anchura de canal total, a través de la zona en que está siendo generado el haz de electrones de W, y que tiene un manantial S y, al menos, dos sumideros D_1 y D_2 , todos ellos existentes en la superficie o enterrados por debajo de la superficie de un substrato de material semiconductor. En la figura 1 se muestra un manantial 5 típico que estaría conectado, por ejemplo, a potencial de tierra, en un extremo de un canal conductor 4 que tiene una longitud y una anchura tal como se describen y está terminado por al menos dos regiones de sumidero mutuamente exclusivas 6 (D_1 y D_2). Las regiones de sumidero 6 están conectadas con un circuito de salida a través de resistencias R_1 y R_2 para producir un voltaje de salida V_o en los terminales 3. Los sumideros 6 son conectados con un manantial de voltaje de sumidero V_{DD} y el voltaje entre los sumideros 6 y el manantial 5, V_{DS} , debe ser mantenido por debajo de aquél con el cual tiene lugar ionización de impacto.

En la figura 1, el canal principal de material semiconductor es identificado con el número 4, el manantial con el número 5 y los sumideros con el número 6. Una puerta metálica o un protector electrostático 7 se muestra en líneas de silueta, situado sobre la zona general del canal semiconductor 4. Tal como es bien conocido en la técnica una puerta se utiliza en el modo de acrecentamiento de dispositivos de efecto de campo semiconductores para inducir una dosis efectiva de portadores de carga con el fin de formar un canal conductor entre el manantial y el sumidero o sumideros, respectivamente. En la figura 1, para la tecnología de silicio, la puerta 7 sería hecha funcionar, por ejemplo

con un potencial de aproximadamente diez voltios.

Se observará que la zona del canal 4 en la proximidad del sumidero 6 está ensanchada o abocinada desde su anchura W , que generalmente existe más próxima al manantial 5. La razón de ello es que los límites de resolución en la tecnología existente para formar un canal semiconductor son llevados a sus valores máximos en la presente forma de realización. Por lo tanto, la anchura W , aunque no está a escala en los dibujos, representa el límite de resolución más estrecho mediante el cual puede ser formado un elemento semiconductor con la tecnología existente. La anchura W_d de los sumideros 6 también tiene aproximadamente la misma dimensión. Dado que se desea hacer a la anchura del canal 4 lo más estrecha que sea posible, se deduce de ello que la anchura de las regiones de sumidero no puede ser más estrecha, dado que todas están en el límite de resolución. Por lo tanto, es deseable abocinar o ensanchar el canal 4 donde éste se conecta con los dos o más sumideros 6, ya que sería físicamente imposible alcanzar los sumideros 6 al final de un canal que tuviera una anchura W cuando la anchura mínima de cada uno de los sumideros fuese igual a W . Dicho de otro modo, la separación 8 entre los dos sumideros 6 sería obligada a tener una anchura de W_g dado que ésta es la anchura mínima que puede ser controlada efectivamente debido a la resolución de los procesos de fabricación de semiconductores empleados. No obstante, existen técnicas para estrechar la separación 8 a una redija de dimensiones todavía menores, tal como es deseable.

Existen otras razones para abocinar el canal 4

30

en la proximidad del sumidero 6 que se discutirán seguidamente con mayor detalle, pero, por el momento, deberá entenderse que se desea hacer al canal 4 lo más estrecho que sea posible y hacer a los sumideros 6 igualmente estrechos y unirlos al canal estrecho de una manera independiente, tal que no exista una rendija 8 o separación de anchura mínima entre los sumideros. Dado que los límites de resolución de los procedimientos de conformación disponibles, empleados actualmente, limitan la anchura de un canal a una anchura W , la separación 8 que puede ser controlada con exactitud es inicialmente de dimensiones similares, aunque existen técnicas, tal como se mostrarán, para estrechar la rendija 8 aún más. Se hace necesario abocinar el canal 4 en la proximidad de los sumideros 6 por estas y otras razones, tal como se mostrará. Es también una configuración muy deseable, dado que el abocinamiento del canal contribuye a reducir el ruido, acrecentar la sensibilidad, y eliminar otros problemas potenciales, tal como se describirá más tarde con algún detalle.

Habiendo descrito una forma típica de realización del invento en relación con la figura 1 y habiendo efectuado alguna discusión de la derivación de corrientes de canal para el dispositivo, se volverá a considerar ahora las condiciones de corriente y los requisitos y características de funcionamiento de un dispositivo tal como es mostrado en la figura 1.

Sustituyendo la ecuación (11) en las ecuaciones (9) y (10) se produce la siguiente expresión de corriente de canal

$$I_C = N_D T \left(\frac{W}{L} \right) \text{ qu } V_{DS} \quad \text{Ec. (12A)}$$

6

$$I_C = D\left(\frac{W}{L}\right)q\mu V_{DS} \quad \text{Ec. (12B)}$$

5 Las ecuaciones (12A) y (12B) antes mostradas son expresiones alternativas de la corriente de canal I_C en el dispositivo tal como se muestra en la figura 1. Tal como es bien conocido para los expertos en la técnica, dispositivos tales como los mostrados en la figura 1 funcionan con una característica de corriente de sumidero tal como se muestra en la figura 9. Este gráfico de corriente de sumidero es típico de los denominados transistores de efecto de campo en general y exhibe algunas características, bien comprendidas, tales como la región lineal (1), la región de saturación (2) y la región de estrechamiento (3) así como la región de ionización por impacto (4). En la región de estrechamiento, aunque el voltaje de sumidero a manantial puede ser aumentado, la conducción de corriente no aumenta grandemente hasta que se producen fenómenos de ionización, de alud u otro modo de descarga similar con voltajes excesivamente altos de sumidero a manantial. La corriente de canal en la saturación o estrechamiento es, dada por lo tanto como sigue:

$$25 \quad I_{C_{Sat}} = N_D T \left(\frac{W}{L}\right) q \mu V_{-Sat} \quad \text{Ec. (13A)}$$

o, alternativamente

$$I_{C_{Sat}} = D\left(\frac{W}{L}\right)q\mu V_{-Sat} \quad \text{Ec. (13B)}$$

Para voltajes de sumidero a manantial en un canal que están por encima del punto de estrechamiento pero por debajo de la ionización por impacto, las ecuaciones de corriente de canal son como sigue:

5

$$I_C = N_D T \left(\frac{W}{L} \right) q u V_{\text{Sat}} \left(\frac{L}{L - L_D} \right) \quad \text{Ec. (14A)}$$

$$I_C = D \left(\frac{W}{L} \right) q u V_{\text{Sat}} \left(\frac{L}{L - L_D} \right) \quad \text{Ec. (14B)}$$

10

En las ecuaciones antedichas, L es la longitud total del canal entre el manantial 5 y los sumideros 6. Tal como lo entienden los expertos en la técnica, una región de estrechamiento puede ser formada en un dispositivo de conducción de canal, y la región de estrechamiento se formará en la proximidad de los sumideros, creando una porción agotada de longitud de canal L_D . La longitud efectiva de la porción no agotada del canal, por lo tanto, es acortada a $L - L_D$.

15

Las derivaciones de corriente de canal en un dispositivo de efecto de campo o en un dispositivo de conducción de canal para las diversas zonas de su funcionamiento en una curva de corriente de sumidero, tal como se muestra en la figura 9, han sido deducidas anteriormente de la solicitud de patente de los Estados Unidos también pendiente número de serie 701.339 del inventor en que los términos $\frac{L}{L - L_D}$ introducidos en las ecuaciones anteriores son examinados en relación con el funcionamiento de dicho dispositivo. No es necesario reproducir aquí esa derivación,

25

30

Basta decir que la dependencia de corriente de sumidero o de canal con respecto a la longitud del canal

dividido por la longitud no agotada remanente total (la longitud que se extiende hasta la zona de estrechamiento) se ha comprobado experimentalmente y analizado y justificado teóricamente, de manera que las antedichas ecuaciones son una representación exacta del funcionamiento de dispositivos tal como se muestran en la figura 1.

Cuando el canal de conducción de un dispositivo tal como se muestra en la figura 1 es enterrado por debajo de la superficie de un sustrato, existe todavía un voltaje de estrechamiento pero debe ser alcanzada por otras consideraciones. Estas consideraciones no se darán aquí con detalle, dado que se pueden obtener aproximadamente por el análisis de dispositivo de efecto de campo de unión (TEC-U) dado en Physics of Semiconductor Devices por S. M. Sze, página 341 y siguientes. Se ha expresado el voltaje de estrechamiento para una TEC-U en forma modificada y se ha definido como $V_D \text{ Sat}$ del siguiente modo:

$$V_D \text{ Sat} = \sqrt[3]{\frac{qN_D T^2}{2e_s}} = \sqrt[3]{\frac{qDT}{2e_s}} \quad \text{Ec. (15)}$$

En la ecuación (15) anterior, e_s es la constante dieléctrica para el material semiconductor empleado. Para el silicio, e_s es aproximadamente igual a $1,05 \times 10^{-10}$ faradios/metro.

Sustituyendo la ecuación (15) en la ecuación (14A) y en la ecuación (14B), anteriores, se obtiene lo siguiente:

$$I_C = 3(N_D T)^2 q^2 T \left(\frac{W}{L}\right) \frac{\mu}{2e_s} \left(\frac{L}{L - L_D}\right) \quad \text{Ec. (16A)}$$

$$I_C = 3D^2 \left(\frac{W}{L}\right) q^2 n \frac{u}{2e_s} \left(\frac{L}{L - L_D}\right) \quad \text{Ec. (16B)}$$

Habiendo derivado las expresiones antedichas de los principios físicos básicos que caracterizan el flujo de portadores de carga en un dispositivo de canal semiconductor, seguidamente la atención se enfocará sobre el desarrollo de la teoría de funcionamiento Vinhall. Se enfocará también la atención en aplicar la teoría Vinhall tanto al dispositivo Vinhall como a un dispositivo Hall, con el fin de efectuar comparaciones y tras haber analizado los defectos en la teoría de la técnica anterior.

Una descripción del perceptor Vinhall y de su modo de funcionamiento será dada ahora. Un análisis del perceptor Vinhall basado en los principios de física implicados se da seguidamente .

En la figura 12, un típico canal 4 de conducción de percepción Vinhall es ilustrado en una vista que no está dada a escala, grandemente aumentada. Un manantial 5 y al menos dos sumideros 6 está colocados apropiadamente, tal como se muestra, en extremos opuestos del canal 4. El canal 4 tiene una longitud L y una anchura total W. Se supondrá que una corriente inicial de portadores 13, que serían los electrones en el presente caso, sería inyectada dentro del canal 4 y se movería directamente hacia abajo por el centro del canal.

Las publicaciones y patentes de la técnica anterior han descrito usualmente perceptores magnéticos en términos de dispositivos Hall o en términos de dispositivos de desviación de electrones. Tal como se mostrará aquí, el dispositivo Vinhall no es un dispositivo Hall, y su teoría

y modo de funcionamiento dan credibilidad a la noción de que la teoría presentada hasta ahora para dispositivos Hall propiamente dichos y para perceptores magnéticos del mismo tipo general es incorrecta.

5 El concepto de la técnica anterior utilizado para analizar perceptores magnéticos es esencialmente una teoría "balística" de desviación de electrones o portadores, que está basada en la desviación de los portadores por una fuerza de Lorentz. La teoría está basada también en el concepto de que las paredes, que definen los linderos del canal y confinan la corriente de electrones o portadores, son rígidas e inmovibles. Estos conceptos sugieren también que la corriente de electrones es desviada dentro del canal por la fuerza de Lorentz ejercida al mover portadores en la presencia de un campo magnético. Se cree entonces que esta fuerza da lugar a "enjambres" de electrones y a lagunas que aparecen en las paredes rígidas del canal que crean un campo eléctrico para oponerse a la desviación adicional de los electrones. Estos "enjambres" de carga inhiben desviación adicional de los electrones y se piensa que son responsables de la creación del denominado voltaje Hall. El siguiente análisis mostrará que la pared rígida, inmóvil y el modelo y la teoría de desviación balística de electrones son falsos y conducentes a error.

10

15

20

25 Volviendo a la figura 8, se da una ilustración de una vista superior o en planta de un segmento 4 de un canal de material semiconductor 4 . El segmento 4 de canal tiene una anchura total W y contiene electrones u otros portadores mostrados en una agrupación espacial uniforme en que los portadores están distanciados entre sí en una

30

distancia d_0 en las direcciones \underline{x} e \underline{y} . El segmento de canal 4 ha sido colocado en un eje \underline{x} o \underline{y} , de manera que es simétrico con respecto a su línea de centro, es decir la línea de centro es el eje \underline{y} y el eje $\underline{x} = 0$, de manera que los linderos del canal 4 están colocados cada uno en una anchura de más o menos $\frac{W}{2}$ en la dirección \underline{x} .

Se supone que las paredes o bordes del canal colocados en $x = \pm \frac{W}{2}$ son rígidas e inmóviles en la teoría clásica de dispositivos Hall, y se infiere que si son desviados electrones dentro del canal, éstos deben ser apiñados conjuntamente hacia y a lo largo de una pared o borde de canal y agotados a lo largo del borde de canal opuesto. El apiñamiento alegado es producido por la fuerza de Lorentz que actúa sobre los portadores que se mueven en la presencia de un campo magnético perpendicular al canal que desviará a los portadores en una trayectoria definida por el modelo balístico.

Para ver lo falso de este razonamiento, sólo es necesario hacer observar que la fuerza electrostática de repulsión entre cargas iguales (electrones) en las circunferencias implicadas es demasiado grande para permitir que cualquier desviación importante sea producida por una fuerza Lorentz. Se puede mostrar que la fuerza de Coulomb entre electrones separados uniformemente en la dirección \underline{x} puede ser definida como sigue:

$$F_x = \frac{q^2}{4\pi e_s d^2} \quad \text{Ec. (17)}$$

en que \underline{d} es la distancia entre electrones, e_s es la constante dieléctrica del medio que separa las cargas, y q es

la unidad de carga de un electrón.

La fuerza producida en un electrón por un campo eléctrico aplicado exteriormente, está dada también por

$$F_x = qE_x \quad \text{Ec. (18)}$$

Igualando las ecuaciones (17) y (18) que representan la fuerza producida en el electrón, se puede resolver para determinar el campo eléctrico E_x que existe entre los electrones. Esto se da como sigue:

$$E_x = \frac{q}{4\pi\epsilon_S d_0^2} \quad \text{Ec. (19)}$$

en que $d_0 = x_0$, la separación inicial o restante entre portadores.

Será interesante determinar para uno de estos electrones hasta donde puede ser desplazado en la dirección x como un resultado del campo Lorentz dirigido en x producido sobre un portador de carga que se mueve en la presencia de un campo magnético. El campo Lorentz E_x en la dirección x está dado por la siguiente fórmula:

$$E_x = \frac{V}{c} B_z \quad \text{Ec. (20)}$$

Diferenciando la ecuación (19) con respecto a X se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dE_x}{dx} = - \frac{q}{2\pi\epsilon_S} \times \frac{1}{x_0^3} \quad \text{Ec. (21)}$$

Ahora, la definición normalizada dada para la

concentración de donadores en un material de canal o semiconductor es $N_D = \frac{1}{d_0^3}$ en donde d_0 es la separación media entre electrones. Por definición dado que $d_0 = x_0$, tal como antes se identifica, la ecuación (21) puede ser reajustada del siguiente modo:

$$\frac{dE_x}{dx} = - \frac{q}{2me_s} x N_D \quad \text{Ec. (22)}$$

Estableciendo $dE_x = \underline{V}B$, que corresponde al campo Lorentz, y resolviendo la ecuación (22) para Δx , se encuentra lo siguiente:

$$/\Delta x/ = \frac{2 e_s \underline{V}B}{qN_D} \quad \text{Ec. (23)}$$

Ahora, suponiendo que han sido escogidos los valores máximos o mejores para las variables en la ecuación (23) y resolviendo la ecuación (23) para Δx , puede obtenerse una expresión para la distancia x en que un portador, en las circunstancias favorables máximas, puede ser desviado por el campo de Lorentz. Los valores supuestos son como siguen:

$\underline{V} = 10^7$ centímetros/segundo. Esta es la velocidad máxima que puede alcanzar un portador. $e_s = 1,05 \times 10^{-12}$ faradios/centímetro, suponiendo un material de silicio. $B = 350 \times 10^{-8}$ webers/centímetro², que es igual a 350 Gauss. Este es el campo máximo que aparece típicamente justamente por encima de la superficie de una cinta magnética, por ejemplo. $q = 1,6 \times 10^{-19}$ culombios/unidad de carga sobre un electrón y $N_D = 10^{17}$ iones/centímetro cúbico. El campo Lorentz $\underline{V}_y B_z$ producido en dichas circunstancias es dirigi

do a lo largo del eje x y es aproximadamente de 35 voltios/centímetro.

Insertando los valores antes indicados para las variables en la ecuación (23) se obtiene el resultado de $\Delta x = 1,44 \text{ \AA}$ ó $1,44 \times 10^{-8}$ centímetros.

Esta distancia de desviación Δx corresponde a la producción de un voltaje Hall que es al menos un orden de magnitud menor que el resultado realmente obtenido en la técnica anterior para un voltaje de salida Hall en las circunstancias arriba expuestas. Por lo tanto, es aparentemente defectuoso el concepto de dispositivo de pared rígida de canal de la técnica anterior. Esencialmente no hay desviación producida en los portadores de carga por el campo de Lorentz y no hay "apiñamiento" ni formación de "enjambres cargados" de electrones como resultado de ello ni siquiera en las condiciones más óptimas.

La teoría de la técnica anterior no sólo es demostrablemente incorrecta, sino que conduce a una conclusión incorrecta. Los ingredientes esenciales que conducen a obtener alta sensibilidad de campo magnético son ocultos por las suposiciones de paredes rígidas. Por ejemplo, se dice con frecuencia que lo más deseable es mantener un canal ancho para evitar el apiñamiento de cargas. Dado que los electrones son esencialmente no desviados por los campos de Lorentz típicos que aparecen en dispositivos de la técnica anterior tal como antes se ha mostrado, no es válida la noción de paredes rígidas de canales. La magnitud del mecanismo de modulación de anchura de agotamiento que existe a lo largo de los lados del canal por acción de campos magnéticos o eléctricos es el factor importante, y no

la anchura de canal, tal como se mostrará.

5 Considerérese la figura 11A, por ejemplo, en don-
de se ilustra un segmento 4 de canal. El segmento 4 de ca-
nal se entiende que está formado dentro de una zona 1 de
substrato semiconductor. El material de substrato es ilus-
trado como siendo de un tipo P y el canal propiamente di-
cho es de material tipo N. El manantial 5 y el sumidero 6
no se muestran. Este manantial y estos sumideros serían
del tipo N + y todos ellos son formados utilizando tecno-
10 logía bien conocida para crear un dispositivo de modo de
acrecentamiento o de modo de agotamiento.

 Se observará que existen uniones P - N a lo lar-
go de los linderos del canal y junto al manantial y a los
sumideros en donde el material de tipo N +- topa con el ma-
15 terial de substrato de tipo P.

 Tal como se mostrará abajo con mayor detalle,
existe una zona de agotamiento creada en todas las caras
intermedias de contacto de unión P - N en el dispositivo,
incluyendo el fondo, los lados, los extremos y, en algunos
20 casos, la parte superior del canal conductor propiamente
dicho. El análisis que aquí se dá está limitado sólo a una
vista bidimensional ignorando la modulación de profundidad
de las zonas de agotamiento en la parte superior y en la
parte inferior del canal. El efecto de esta simplificación
25 no desmerece apreciablemente la comprensión del mecanismo
de funcionamiento básico en trabajo en el invento. Deberá
entenderse, no obstante, que las ecuaciones de modulación
de anchura de agotamiento tendrían, en el análisis final,
que ser modificadas ligeramente para tomar en cuenta el
30 efecto tridimensional.

Es bien sabido que se forma una capa de agotamiento en uniones P - N. Esta capa de agotamiento dentro del material de tipo N es ilustrada en la figura 11A por la línea de puntos dentro del canal 4 y es identificada por el número 9. La capa 9 está formada en la proximidad de la unión P - N que existe alrededor de la perifería interior del canal y que incluye el manantial y los sumideros que se muestran en la figura 11A. La anchura de la zona de agotamiento 9 es identificada como l_n . Existe una capa similar en el material tipo P que rodea al canal y tiene una anchura l_p . Particularmente en atención a la capa de agotamiento 9 que existe a lo largo de los bordes interiores del canal 4, es pertinente la siguiente observación. Se conducen electrones dentro de la porción no agotada del canal solamente. La anchura de esta porción del canal es menor que la anchura física W que exhibe el canal por 2. l_n . La porción de conducción de la anchura del canal es denominada aquí la anchura Vinhall y es definida como sigue:

20

$$W_V = W - 2 l_n \quad \text{Def. 1}$$

Existe un potencial de carga espacial, un campo eléctrico y un potencial de voltaje a través de los linderos exhibidos en las uniones P - N. Las figuras 10A hasta 10G ilustran la región de carga espacial, el campo eléctrico y el potencial que existen en la proximidad de una unión P - N formada en una cara intermedia de contacto entre el material de canal y el substrato, tal como se muestra en las figuras 11, 12, 14, 15, etc.

30

Las figuras 10A hasta 10C son alineadas a lo largo de un eje vertical identificado como la unión metalúrgica. Esta unión es conocida también como el lindero estocástico o colocación de la unión P - N en la que son iguales las concentraciones de donadores y aceptadores. En la figura 10A, la carga espacial es mostrada como una carga positiva y negativa distribuída a lo largo de la unión metalúrgica con una carga positiva en la región de tipo N y una carga negativa en la región de tipo P. La naturaleza de la distribución de esta carga espacial no está bien comprendida y sólo una basta aproximación se muestra en la figura 10A. Debido a la naturaleza de la aproximación mostrada, sólo pueden deducirse observaciones generales de la figura 10A. En primer término, hay diferentes anchuras de agotamiento l_p y l_n que existen en los materiales tipo P y materiales tipo N, respectivamente, como una función de las concentraciones de aceptadores y donadores respectivamente. En segundo término, la magnitud de la carga espacial en las regiones es el producto de la densidad de donadores N_D multiplicado por la carga de portadores q . Similarmente, en la región tipo P la densidad de aceptadores es N_A multiplicado por la carga eléctrica q . Dependiendo del convenio escogido para el signo de carga, la carga espacial en la región P es positiva o negativa y la existente en la región tipo N es negativa o positiva, respectivamente. El convenio aquí escogido consiste en que la carga de la región tipo N es positiva y la región P es negativa.

La figura 10B ilustra el campo eléctrico que existe entre los bordes de lindero de agotamiento en el material de tipo P y el material de tipo N a través de la

unión metalúrgica o lindero estocástico.

El campo eléctrico puede ser determinado aplicando la ley de Gauss a la distribución de carga espacial ilustrada en la figura 10A. El campo eléctrico derivado de este modo es mostrado en la figura 10B. La expresión mostrada en la figura 10B es útil para desarrollar un valor para el potencial que se muestra en la figura 10C por integración. El potencial es de interés dado que gobierna la anchura de la zona de agotamiento a cualquiera de los lados del lindero estocástico y se debe entender plenamente antes de que se pueda desarrollar una expresión de modulación de anchura de agotamiento.

En la figura 10C, el potencial de voltaje que existe en cualquier punto o lugar dentro de la zona de agotamiento en los materiales de tipo P o N se ilustra como un potencial interno máximo ψ_0 . Este potencial es definido para materiales semiconductores como igual a:

$$\psi_0 = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{N_i^2} \right) \quad \text{Ec. (24)}$$

En donde \ln es el operador de logaritmo, natural, K es la constante de Boltzmann, T es la temperatura Kelvin y N_i es la concentración intrínseca de portadores en el substrato.

Puede mostrarse que la dimensión de anchura l_n del área de zona de agotamiento dentro del canal 4 es establecida aproximadamente por la siguiente ecuación:

$$l_n = \left[\frac{2e_S}{q} (\psi_0 - V) \frac{N_A}{N_A + N_D} \frac{1}{N_D} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (25)}$$

en donde el voltaje de potencial V es aplicado exteriormente a la unión P - N.

Se entiende que la expresión en la ecuación (25) es una aproximación para la anchura de capa de agotamiento dentro y a lo largo de los lados del canal o la parte inferior del mismo. Una expresión exacta depende de la distribución real de carga espacial (donadores y aceptadores) que sería desarrollada adyacentemente a las uniones metalúrgicas que forman los linderos de agotamiento. La forma y la distribución de estas regiones es actualmente desconocida. La expresión dada es la mejor actualmente disponible (véase "Physical Electronics and Circuit Models of Transistors" por P.E. Gray y otros, páginas 8-23, publicado en 1964 por John Wiley and Sons, Nueva York.)

En la expresión antedicha, N_D es la concentración de donadores dentro del canal, N_A es la concentración de aceptadores dentro del material de substrato que rodea al canal, ϵ es la constante dieléctrica para el material implicado y q es la carga unitaria de electrones.

Ahora, tal como se ha hecho observar anteriormente, la anchura efectiva del área conductora dentro del canal es reducida desde la anchura física W por el doble de la anchura de agotamiento l_n de la ecuación (25). Dicho de otro modo, la anchura Vinhall W_V es definida como sigue:

$$W_V = W - 2 \left[\frac{2e_S}{q} (\psi - V) \frac{N_A}{N_A + N_D} \frac{1}{N_D} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (26)}$$

A partir de la ecuación (26) es evidente que la anchura de la capa de agotamiento l_n a lo largo de los la

dos del canal depende de un potencial de voltaje de modulación de anchura de agotamiento V aplicado por el exterior a la unión. Este voltaje es desarrollado dentro del canal como un resultado del campo Lorentz $\underline{V}B$ desarrollado a través de un canal con anchura W_V . El voltaje Lorentz $V_L = \underline{V}B W_V$ es dirigido en la dirección \underline{x} dada por portadores que se mueven hacia abajo en el canal en la dirección \underline{y} , y por un campo magnético que es aplicado perpendicularmente al canal.

La figura 11A ilustra la creación y aplicación del voltaje Lorentz V_L que actúa en la dirección \underline{x} hacia los linderos de agotamiento a lo largo de los bordes del canal. La definición general para voltaje Lorentz V_L está dada como una integral de contorno.

$$V_L = \int_{-\frac{W_V}{2}}^{\frac{W_V}{2}} \underline{V}_y \times B_z \cdot dx,$$

tomada entre las uniones P - N que forman los lados del canal. Las capas de agotamiento 9 que existen a lo largo de cada borde de canal 4 en la figura 11A son mostrados antes de la aplicación de un campo magnético perpendicular a la figura, es decir en o fuera del dibujo.

Si un campo magnético es dirigido perpendicularmente al canal 4 y saliendo de la página, se producirá un voltaje Lorentz que, de acuerdo con la ecuación (25) anterior, cambiará la anchura l_n de la capa de agotamiento 9 en cada borde de canal 4. En la figura 11B, el campo magnético es dirigido fuera de la página y se verá que a causa

de la modulación de capa de anchura de agotamiento, ambos linderos de agotamiento se mueven hacia la izquierda en la figura 11B. Esto mueve efectivamente la porción conductora del canal. La condición opuesta es mostrada en la figura 11C en donde es invertido el campo y los linderos efectivos del canal se mueven hacia la derecha. Se observará que la anchura Vinhall W_V permanece esencialmente constante e independiente del campo Lorentz V_{XB} . Ha sido descrito por lo tanto un fenómeno de máximo interés en que los linderos hasta ahora supuestos rígidos e inmóviles son realmente movidos cuando los portadores propiamente dichos dentro del canal no podrían ser desviados efectivamente por el campo Lorentz. Es interesante calcular una relación aproximada que pueda existir y expresar la distancia de desviación para los linderos de canal que resulta cuando el voltaje Lorentz, en la dirección x , es aplicado a los límites de canal.

Reajustando la ecuación (25), insertando dentro del término el voltaje de Lorentz $V_L = \underline{V}W_V$, resulta lo siguiente:

Ec. (27)

$$l_n = \left[\frac{2e_S}{q} \left(\frac{KT}{q} + \underline{V}W_V \right) \ln \left(\frac{N_A N_D}{N_i} \right) \left(\frac{N_A}{N_A + N_D} \right) \left(\frac{1}{N_D} \right) \right]^{1/2}$$

La ecuación (27) es simplificada efectuando las siguientes sustituciones y despreciando los efectos del voltaje de sumidero como una función de posición a lo largo del canal y particularmente cerca de los sumideros en donde se produce estrechamiento.

$$d = \frac{2e_S}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{N_i} \right) \quad \text{Ec. (28)}$$

$$\alpha = \frac{N_A}{N_A + N_D} \left(\frac{1}{N_D} \right) \quad \text{Ec. (29)}$$

$$l_n = \gamma \alpha \left(\frac{KT}{q} + \underline{VBW}_V \right)^{1/2} \quad \text{Ec. (30)}$$

NOTA: En este análisis los efectos de voltaje de sumidero como una función de posición a lo largo del canal han sido despreciados. Esta expresión resultante es válida en la proximidad de los sumideros donde se produce entrechamiento.

Diferenciando la ecuación (30) con respecto a B se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dl_n}{dB} = \frac{1}{2} \frac{\gamma \alpha}{l_n} \underline{VW}_V \quad \text{Ec. (31)}$$

Sustituyendo l_n , dado por la ecuación (27), en la ecuación (31) y reajustando la ecuación (31), se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dl_n}{dB} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\gamma \alpha}{\frac{KT}{q} + \underline{VBW}_V}} \underline{VW}_V \quad \text{Ec. (32)}$$

Sustituyendo adicionalmente la ecuación (28) para α se obtiene:

$$\frac{dl_n}{dB} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2e_s \ln\left(\frac{N_A N_D}{N_i^2}\right) \gamma}{\frac{KT}{q} + \underline{VBW}_V}} \underline{VW}_V \quad \text{Ec. (33)}$$

Efectuando una sustitución adicional

$$K_i = \frac{2e_S}{KT + qVBW_V} \ln\left(\frac{N_A N_D}{N_i}\right) \quad \text{Ec. (34)}$$

se obtiene:

$$\frac{dl_n}{dB} = \frac{1}{2} K_i(\gamma) \underline{VW}_V \quad \text{Ec. (35)}$$

Sustituyendo la ecuación (29) para γ dentro de la ecuación (35) y haciendo $S = dl_n$ como el desplazamiento del lindero de anchura de agotamiento y $B \int^B dB$, se logra lo siguiente:

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{K_i \left(\frac{N_A}{N_A + N_D} \right) \frac{1}{N_D}} (\underline{VW}_V B)$$

$$\text{ó} \quad \text{Ec. (36)}$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{K_i T \left(\frac{D_0}{D_0 + D} \right) \frac{1}{D}} (\underline{VW}_V)$$

$$\text{Dado que } \left[N_D T = D \right] \left[N_A T = D_0 \right]$$

La ecuación (36) da la expresión para los movimientos de los linderos de agotamiento suponiéndose un campo magnético con densidad B . Por lo tanto, los linderos de agotamiento l_n son desplazados en una distancia S como resultado del campo Lorentz que actúa en la dirección x .

Es interesante calcular esta distancia de desviación S utilizando las mismas suposiciones que se utilizaron para el modelo de desviación balística. Esto da como resultado lo siguiente:

$$\eta_v = \sqrt{K_i \left(\frac{D_o}{D + D_o} \right)} \frac{T}{D} (\underline{VB}) \quad \text{Ec. (38)}$$

5 Es importante reconocer que la sensibilidad η_v del receptor Vinhall es inversamente proporcional a la anchura Vinhall W_v si el producto $\underline{VB}W_v$ es mayor que $\frac{KT}{q}$. Es también de máxima importancia reconocer que la forma de estas ecuaciones está gobernada por la expresión escogida para longitud de agotamiento en lados opuestos de la

10 unión metalúrgica. Debe recordarse también que la expresión utilizada es sólo aproximada, tal como antes se ha hecho observar, dado que la distribución real de carga es

15 pacial a través de los linderos de agotamiento es desconocida. Además, sólo se dió anteriormente un análisis bidimensional, aunque el fenómeno de modulación de anchura de agotamiento es un fenómeno tridimensional. Para una visión sobre la naturaleza tridimensional de modulación de anchura de agotamiento se hará referencia a las figuras 15A hasta 15E.

20 La figura 15A ilustra una vista en planta de un receptor Vinhall típico con líneas de vistas en sección transversal mostradas como AA y BB en diversos puntos a lo largo de la longitud del canal 4 entre el manantial 5 y los sumideros 6.

25 La figura 15B ilustra en sección transversal la vista a lo largo de la línea AA en la figura 15A. Puede verse que existe un lindero de agotamiento quieto antes del momento en que un flujo magnético B es aplicado al canal. El lindero de agotamiento quieto tiene asociado con

30 él anchuras de agotamiento en los materiales de tipo N y

de tipo P, conocidas respectivamente como l_n y l_p . El es
pesor del canal T es también mostrado. Cuando el flujo
magnético B es aplicado hacia abajo tal como se muestra
en la figura 15B, no sólo varían las longitudes l_n y l_p
5 a la posición mostrada por la línea de puntos en la figu
ra 15B, sino que la anchura del canal varía a un nuevo
espesor T' tal como se muestra. Deberá hacerse observar
que T' varía a través de la anchura del canal y reduce
el espesor en un borde y lo aumenta cerca de otro.

10 El caso opuesto es mostrado en la figura 15C
con un vector de flujo magnético B que está dirigido ha
cia arriba. De nuevo, la línea de puntos ilustra el lin
dero de agotamiento desviado que crea nuevas capas de ago
tamiento $9'$ y nuevos espesores T' , según se muestran.

15 Las figuras 15D y 15E ilustran la vista en sec
ción transversal tomada a lo largo de la línea BB en la
figura 15A. Esta sección está más próxima a los sumideros
que la sección AA tal como se muestra en la figura 15A.
Es sabido, como resultado de la acumulación de voltaje de
20 sumidero, cuando uno se aproxima a los sumideros que se
mueven a lo largo del canal, que disminuye el espesor del
canal. Así, las figuras 15D y 15E ilustran un espesor ini
cial T menor que el mostrado en las figuras 15B y 15C.
Los efectos del vector de flujo B son similares, no obs
25 tante, a lo mostrado en las figuras 15B y 15C. Deberá en
tenderse que los efectos de modulación de anchura y pro
fundidad de agotamiento se producen simultáneamente den
tro del canal junto a las secciones transversales AA y
BB, según se muestra. Las soluciones matemáticas para es
30 tos efectos tridimensionales indicados son de máxima com

plejidad. El análisis aquí presentado describe sólo el movimiento de la pared lateral y, a pesar de esta limitación, la concordancia entre los resultados experimentales y las formulaciones desarrolladas es bastante precisa y satisfactoria.

5

Puede esperarse que estas ecuaciones antes desarrolladas que requieran refinamiento, ya que la naturaleza de la unión metalúrgica, los efectos del estrechamiento sobre la forma geométrica del canal, y la naturaleza de la distribución de la carga espacial a través de la unión metalúrgica resultan comprendidos ahora mejor. Las observaciones generales que se dan seguidamente no son afectadas por estos problemas, no obstante, dado que se utilizan relaciones de resultados calculados en lugar del resultado numérico absoluto.

10

15

Recordando la ecuación (38) de lo que antecede, puede verse que puede lograrse una alta sensibilidad reduciendo la anchura total de canal de manera tal que B_{VW} sea menor o igual que $\frac{TK}{q}$, un resultado que es enteramente contrario a la técnica anterior expuesta y es máximamente inesperado. En efecto, se observará también que hay una relación recíproca entre los dispositivos Vinhall y Hall, tal como se mostrará abajo. Es evidente que la anchura Vinhall deberá ser hecha pequeña y que la anchura de las capas de agotamiento deberá representar una fracción relativamente grande de la anchura total del canal, de manera que se pueda obtener una desviación efectiva mayor de los linderos de canal. Se observará también que la salida del dispositivo Hall depende de la existencia de un gradiente en la velocidad de portadores y que esto no ha sido apa-

20

25

30

rentemente reconocido antes de ahora. La dependencia del funcionamiento del dispositivo Hall con respecto a un gradiente de velocidad, explica algunas de las discrepancias entre resultados obtenidos y la teoría Hall anterior.

5 Antes de que se efectúe una comparación, utilizando la teoría Vinhall aquí descrita, entre una celda Hall y el perceptor Vinhall, hay varias ecuaciones importantes que serán desarrolladas para describir el rendimiento del perceptor Vinhall. Las ecuaciones definitivas
10 esenciales, además de las dadas para la sensibilidad y la corriente de canal desarrolladas con anterioridad, son las dadas para la salida de señales y la relación de señal a ruido.

15 De la ecuación (37) anterior, las definiciones básicas para la sensibilidad Vinhall, la respuesta de señales y las relaciones de señal a ruido pueden obtenerse del siguiente modo:

20 Una respuesta de señal ΔE es definida como RI . Por lo tanto, cuando R es la resistencia de carga y ΔI es el cambio en la corriente, I será igual a la corriente de canal I_C multiplicada por la sensibilidad η_V . Por lo tanto, la salida de señal Vinhall será como sigue:

$$\Delta E = RI_C \eta_V \quad \text{Ec. (39)}$$

25 en donde I_C es la corriente de canal anteriormente derivada.

30 Ahora, repitiendo aquí las ecuaciones (16A) y (16B) por conveniencia:

$$I_{C_{sat}} = 3/2D^2 \left(\frac{W}{L}\right) q^2 T \frac{\mu}{2e_S} \left(\frac{L}{L - L_D}\right) \quad \text{Ec. (16A)}$$

6

5

$$I_{C_{sat}} = 3/2(N_D T)^2 q^2 T \left(\frac{W}{L}\right) \frac{\mu}{2e_S} \left(\frac{L}{L - L_D}\right) \quad \text{Ec. (16B)}$$

en que N_D es la concentración de donadores dentro del canal, T es el espesor de canal, W_V es la anchura Vinhall, V_{sat} es la velocidad de portadores de saturación, igual a 10^7 centímetros/segundo, y D es la densidad de dosis integrada existente en el canal.

De lo que antecede, la respuesta de señal Vinhall puede ser obtenida ahora combinando las ecuaciones (39), (38) y (16A) ó (16B) como sigue:

$$\Delta E = R I_C n_V \quad \text{Ec. (39)}$$

$$\Delta E = 3/4 R D T^{3/2} \left(\frac{W}{L}\right) q^2 \frac{\mu}{e_S} \sqrt{K_1 \frac{D_0}{D_0 + D}} D V_{sat}^B \quad \text{Ec. (40)}$$

20

$$\text{para: } \underline{V}_{W_V} B \ll \frac{KT}{q}$$

25

La ecuación (40) es escrita en términos de densidad de dosis D en lugar de en términos de concentraciones de aceptadores y donadores N_A y N_D , respectivamente. Esta es una herramienta particularmente útil cuando uno se enfrenta con la fabricación de estos dispositivos o bien utilizando el modo de funcionamiento de acrecentamiento en donde se induce que portadores formen un canal por aplicación de un voltaje de puerta de control o utilizando el

30

modo de funcionamiento de agotamiento en donde se utilizan técnicas de impurificación o implantación de iones para crear un canal en el substrato. La dosis acumulativa es usualmente una variable conocida en tales procedimientos y las concentraciones de aceptadores y donadores no son tan bien conocidas o averiguables.

Antes de desarrollar una expresión para la relación de señal a ruido en el perceptor Vinhall, son apropiadas unas pocas palabras en relación con la señal de ruido propiamente dicha. Además de ruido estadístico debido a fluctuaciones en densidad o separación de electrones dentro del canal de conducción propiamente dicho, hay al menos otros tres orígenes de ruido que deben ser hechos mínimos. Primeramente, hay ruido por inyección introducido en el manantial. Este es un ruido estadístico de naturaleza compleja, producido por velocidades de inyección variables con una distribución esencialmente gausiana en el manantial. Basta decir que este ruido estadístico puede ser hecho mínimo utilizando un canal relativamente largo, es decir uno que es largo en comparación con la anchura Vinhall W_V .

Otro origen de ruido es el ruido por diseminación o esparcimiento en superficie. El ruido por diseminación en superficie es producido por electrones diseminados por irregularidades superficiales en la superficie superior del canal. Este ruido puede ser reducido o eliminado creando un canal enterrado que no permita que se produzca conducción importante junto a la superficie del canal.

Un tercer origen de ruido es el ruido de trayec

5 toría de electrones. Este ruido es introducido por trayec-
torias de electrones curvadas con rapidez, que pueden pro-
ducirse en la proximidad de los sumideros. Este manantial
de ruido puede ser reducido o eliminado haciendo al espa-
cio existente entre los sumideros disociados sustancial-
mente menor que la anchura Vinhall.

10 Ahora, suponiendo que se han adoptado las eta-
pas u operaciones arriba indicadas para reducir los diver-
sos manantiales de ruido discutidos, y considerando que
los restantes ruidos que éstos pueden manifestar son des-
preciables en comparación con el ruido estadístico, puede
considerarse, de un modo seguro, que la relación de señal
a ruido es, por lo tanto, la señal de salida Vinhall divi-
dida por el ruido estadístico que rinde la relación de
15 ruido estadístico β . β para el dispositivo Vinhall será
desarrollado ahora:

$$\beta = \frac{\Delta E_V}{E_{\text{ruido}}} = \eta \sqrt{\frac{I_C}{2 \Delta f q}} \quad \text{Ec. (41)}$$

20 en donde el voltaje de ruido es

$$\text{Voltaje de ruido} = R \sqrt{2qI_C \Delta f} = E_{\text{ruido}} \quad \text{Ec. (42)}$$

en donde Δf es la anchura de banda de señal en herzios.

25 Sustituyendo la expresión para corriente de ca-
nal I_C de la ecuación (10) y estando η dada por la ecua-
ción (38), la ecuación (41) puede ser reajustada como si-
gue:

$$\beta = \frac{V_S BT}{e_S \Delta f} \sqrt{\frac{3/8 \left(\frac{W}{L}\right) q \mu K_1 \left(\frac{D_0}{D + D_0}\right) D}{e_S \Delta f}} \quad \text{Ec. (43)}$$

$$\text{para } V_S BW_V \leq \frac{KT}{q}$$

Es evidente de la ecuación (43) y de la definición para K_i anterior que la relación de señal a ruido es independiente de la anchura Vinhall W_V una vez que se alcance la condición crítica $\frac{V_S BW_V}{q} > \frac{KT}{q}$ y depende del espesor de canal T y de las densidades de dosis integradas en el substrato y en el canal, D_0 y D respectivamente, y de la velocidad de portadores de saturación V_{sat} .

Comparación de dispositivos Vinhall con dispositivos Hall utilizando la teoría Vinhall. Seguidamente, se dirigirá la atención a comparar el funcionamiento del dispositivo Vinhall y de un dispositivo Hall utilizando la nueva teoría como una base de comparación. Las características de funcionamiento de un dispositivo Hall son desarrolladas primero utilizando los principios de modulación de anchura de agotamiento arriba discutidos. Antes de desarrollar las ecuaciones operativas para los dispositivos, se dará una simple explicación cualitativa.

Considérense las figuras 13A y 13B. En la figura 13A se muestra una vista esquemática a escala aumentada de una celda Hall típica. Se inyectan portadores procedentes de un manantial y salen por un sumidero en el extremo opuesto de la celda Hall. Entre los extremos de la celda Hall hay dos sondas 12 de salida Hall. La corriente se mueve directamente hacia abajo por el canal entre el manantial y el sumidero, y los portadores que entran en el extremo de manantial penetran a una velocidad V_1 y salen con otra velocidad V_2 . Existe, por lo tanto, un gradiente de velocidad entre el manantial y el sumidero y la celda Hall tal como se describe en la figura 12A. Debido a modulación de los linderos de bordes de agotamiento, que son

dependientes de la velocidad tal como antes se expresa en la ecuación (36), por ejemplo, la colocación de los linderos se moverá tal como se muestra en la figura 13A y las líneas equipotenciales serán por lo tanto hechas girar ligeramente para producir un voltaje de salida Hall en las sondas 12. Se observará que la anchura Vinhall W_V existe en la celda Hall y que permanece esencialmente constante.

La dependencia de la celda Hall respecto de un gradiente de velocidad a través de su dimensión resultará evidente cuando se considere la figura 13B. En la figura 13B, se muestra la celda Hall con un manantial, con un sumidero, y con sondas de salida similares, tal como se muestra en la figura 13A, pero las velocidades de entrada y de salida V_1 y V_2 son iguales. Puede verse en tales circunstancias que aunque los linderos de canal serán movidos por modulación de zona de agotamiento, éstos serán movidos paralelamente a los bordes del canal y no tendrá lugar rotación de las líneas equipotenciales. Por lo tanto, la celda Hall, en las circunstancias de velocidad constante de canal, no producirá una señal de salida tal como se define por la presente teoría.

Refiriéndose nuevamente a la figura 13A, es evidente que la celda Hall producirá una salida en las condiciones mostradas dado que las líneas equipotenciales entre el manantial y el sumidero han sido hechos girar en un pequeño ángulo θ . Por otro lado, no habrá una señal de salida Hall para la condición mostrada en la figura 13B ya que, en el caso allí descrito, la velocidad de portadores es constante dentro del canal entre el manantial y el sumidero. Esta velocidad constante da como resultado una me-

ra traslación de los linderos de agotamiento de manera uniforme a lo largo de la longitud del canal. Las líneas equipotenciales no son alteradas y consiguientemente no se predice, de acuerdo con esta teoría, ninguna señal de salida Hall. Por otro lado, suponiendo establecida la misma situación de velocidad uniforme dentro del canal, el dispositivo Vinhall descrito en la figura 14B suministrará una señal sustancial entre los sumideros de rendija 6, tal como se ilustra. Esto es debido a que los sumideros D_1 y D_2 experimentarán una corriente diferencial, tal como antes se hace observar, como un resultado de interceptar sustancialmente toda la corriente de canal trasladada que fluye entre el manantial y los sumideros.

De la breve descripción que antecede es evidente que la generación de un voltaje de salida Hall depende de un gradiente de velocidad de portadores ∇v dentro del canal, con el fin de efectuar una rotación de las líneas equipotenciales según se ilustra en la figura 13A. La sensibilidad del dispositivo Hall, en condiciones de velocidad constante, es esencialmente cero, pero la del receptor Vinhall para condiciones de velocidad constante se puede desarrollar como sigue:

Suponiendo dado un receptor Vinhall según se muestra en la figura 14B, la sensibilidad puede ser calculada con facilidad considerando las corrientes de sumidero en los dos sumideros D_1 y D_2 , respectivamente.

$$A) \quad I_{D1} = J\left(\frac{WV}{2} + S\right) \quad \text{Ec. (44A)}$$

$$B) \quad I_{D2} = J\left(\frac{WV}{2} - S\right) \quad \text{Ec. (44B)}$$

$$C) \quad \Delta I = I_{D1} - I_{D2} = 2JS \quad \text{Ec. (44C)}$$

$$D) \quad I = I_{D1} + I_{D2} = JW_V \quad \text{Ec. (44D)}$$

5 en donde J es la corriente por unidad de anchura de canal.
Por lo tanto

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{I_{D1} - I_{D2}}{I_{D1} + I_{D2}} = \frac{2S}{W_V} \quad \text{Ec. (45)}$$

10 Tal como se ha hecho observar anteriormente, la
generación de un voltaje de salida Hall depende de un gra-
diente de velocidad de portadores ∇V existente dentro del
canal. El gradiente de velocidad causa una rotación de las
líneas equipotenciales y es aparentemente una condición
15 previa necesaria para la producción de voltajes de salida
Hall. Las diferencias fundamentales entre un dispositivo
Hall y un dispositivo Vinhall pueden ser detectadas con
facilidad comparando los requisitos de funcionamiento aba-
jo enumerados para ambos dispositivos.

20 Para un dispositivo Hall, con el fin de que re-
sulte funcionamiento, debe presentarse lo siguiente: 1)
se requiere un gradiente de velocidad dentro del canal;
2) el voltaje de salida depende de la velocidad de porta-
dores y no del número de portadores.

25 Para el dispositivo Vinhall, el funcionamiento
requiere lo siguiente: 1) no es necesario ningún gradien-
te de velocidad; 2) el voltaje de salida depende sólo de
la velocidad de portadores en los sumideros; y 3) el vol-
taje de salida depende del número de portadores que entran
30 en las regiones de sumidero con una velocidad dada.

Una comparación entre los dispositivos Hall y Vinhall basada en sus características de rendimiento y de salida puede desarrollarse ahora. El objetivo final del análisis es el de desarrollar la relación de sensibilidad R entre los dispositivos Vinhall y Hall. El resultado de este análisis es independiente de la forma de la ecuación de modulación de anchura de agotamiento indicada anteriormente dado que en el análisis, será utilizada la relación entre las salidas y las modulaciones de anchura de agotamiento son las mismas en ambos dispositivos. Se supondrá que la velocidad de portadores aumenta a lo largo del canal en la dirección desde el manantial al sumidero, con el fin de simplificar el análisis, y la velocidad de portadores en el canal será dada por la siguiente aproximación:

15

$$\underline{V}(x) = \underline{V}_1 + (\underline{V}_2 - \underline{V}_1) \frac{Y}{L} \quad \text{Ec. (46)}$$

en que \underline{V}_1 es la velocidad de portadores por inyección en el manantial y \underline{V}_2 es la velocidad de portadores adquirida en los sumideros. La velocidad de agotamiento \underline{v}_n es modulada en el manantial por una distancia S_1 y en los sumideros por una distancia S_2 y, en general, en cualquier distancia Y a lo largo de la longitud del canal tal como se muestra por las ecuaciones siguientes, en donde:

25

$$S_1 = \sqrt{K \underline{V}_1} \quad \text{Ec. (47A)}$$

$$S_2 = \sqrt{K \underline{V}_2} \quad \text{Ec. (47B)}$$

30

$$S(y) = \sqrt{K(\underline{V}_1 + (\underline{V}_2 - \underline{V}_1) \frac{Y}{L})} \quad \text{Ec. (48)}$$

en donde la ecuación (47A) muestra el desplazamiento en el manantial, la ecuación (47B) muestra el desplazamiento en el sumidero, y la ecuación (48) muestra el desplazamiento como una función de la distancia a lo largo del canal, y en que:

$$K = \frac{e_S}{q} W \frac{B}{V} \frac{N_A}{N_D (N_A + N_D)} \quad \text{Ec. (49)}$$

Para la situación ilustrada en la figura 13A, el pequeño ángulo ϕ es el ángulo cuya tangente es $\frac{S_2 - S_1}{L}$. Esto es igual a la desviación lateral δ en un extremo de una línea equipotencial dividido por la anchura del canal W y, por lo tanto, igualando las expresiones:

$$\tan \phi = \frac{S_2 - S_1}{L} = \frac{\delta}{W/V}, \quad \text{ó} \quad \delta = \frac{W}{V} (S_2 - S_1) \quad \text{Ec. (50)}$$

Como una aproximación de primer orden para el voltaje Hall V_h , se puede considerar lo siguiente en que la rotación de las líneas equipotenciales está dada por la ecuación (50), de manera que la salida Hall será el porcentaje del voltaje V_0 de manantial a sumidero que es producido desplazando las sondas en una distancia δ :

$$V_h = \frac{V_0 \delta}{L}, \quad \text{ó} \quad \delta = \frac{V_h L}{V_0} \quad \text{Ec. (51)}$$

Igualando las ecuaciones (50) y (51) y resolviendo para el voltaje Hall V_h , resulta lo siguiente:

$$V_h = V_0 \frac{W}{L^2} (S_2 - S_1) \quad \text{Ec. (52)}$$

Sustituyendo la ecuación (47B) y (47A) para S_2 y S_1 , la ecuación (52) anterior se convierte en lo que sigue:

$$V_h = V_0 \frac{W_V}{L^2} \left[\sqrt{KV_2} - \sqrt{KV_1} \right] \quad \text{Ec. (53)}$$

De la ecuación (53) anterior es evidente que se predice que el voltaje Hall será cero y que no existirá variación de velocidad de portadores dentro del canal, es decir $V_h = 0$ si $V_2 = V_1$. Por lo tanto, se deduce que se requiere un gradiente de velocidad dentro del canal para el funcionamiento de un dispositivo Hall. Con el fin de comparar la celda Hall con un dispositivo Vinhall serán utilizadas las condiciones necesarias para derivar el máximo voltaje Hall y se compararán las señales de salida resultantes. Esta situación puede lograrse requiriendo que la velocidad de inyección V_1 sea cero en ambos dispositivos y que la velocidad terminal de los portadores sea la velocidad máxima V_2 correspondiente a una condición de estrechamiento y que se produzca un aumento de velocidad lineal con la distancia y a lo largo del canal hacia los sumideros. Para esta suposición, la salida del voltaje Hall se convierte en:

$$V_h = V_0 \frac{W_V}{L^2} \left[\sqrt{KV_2} \right] \quad \text{Ec. (54)}$$

La sensibilidad de celda Hall η_H que es $\frac{V_h}{V_0}$, es obtenida dividiendo la ecuación (54) por V_0 , el voltaje aplicado entre el manantial y el sumidero de la celda Hall.

Esto da como resultado lo siguiente:

$$\eta_H = \frac{V_h}{V_0} = \frac{W_V}{L^2} \sqrt{KV_2} \quad \text{Ec. (55)}$$

5 La sensibilidad Vinhall η_V es obtenida considerando que la figura 13A se corresponde con la configuración de sumidero hendido de la figura 12 imaginando que existe una rendija δ en la figura 13A. La sensibilidad Vinhall η_V se convierte en lo siguiente dado que la sensibilidad Vinhall es definida, como anteriormente, como $\frac{2S}{W_V}$
 10 en donde $S = S_1 + \Delta S$ y en donde $\Delta S = S_2 - S_1$, en donde S_1 y S_2 son tal como se indica en las ecuaciones (47A) y (47B).

$$15 \quad \eta_V = \frac{2S_1}{W_V} + \frac{2\Delta S}{W_V} = \frac{2S_2}{W_V} = \frac{2}{W_V} \sqrt{KV_2} \quad \text{Ec. (56)}$$

 La relación de sensibilidad R, que es definida para comparar la salida de la celda Vinhall con la salida de la celda Hall, es lograda dividiendo la ecuación (56)
 20 por la ecuación (55) y dando lo siguiente;

$$R = 2 \left(\frac{L}{W_V} \right)^2 = \frac{\eta_V}{\eta_H} \quad \text{Ec. (57)}$$

 La ecuación (57) antedicha es válida para las
 25 condiciones de funcionamiento equivalentes de los dos dispositivos, en donde un voltaje V_0 igual a la mitad de la corriente de canal multiplicado por la resistencia de carga R_L es descendido a través de la resistencia de carga Vinhall R_L que creará un voltaje V_0 idéntico al voltaje
 30 de excitación V_0 aplicado a través de la celda Hall.

Puede verse que $V_{Sat} = \frac{1}{2} I_{C_{Sat}} R_L$ pero

$$I_{C_{Sat}} = V_{Sat} D \left[\frac{W_V}{L} q\mu \right]. \text{ Por lo tanto, sustituyendo la}$$

5 expresión para $I_{C_{Sat}}$, $\frac{L}{W_V} = \frac{R_L D q\mu}{2}$. Estos criterios es-

pecifican que la relación de longitud a anchura Vinhall es una función de la resistencia de carga, de la dosis de canal, de la carga y de la movilidad de portadores de canal.

10 Se prefiere que estos criterios sean la mínima relación

$\frac{L}{W_V}$ utilizada para resultados óptimos.

Es evidente a partir de la ecuación (57) que la sensibilidad del receptor Vinhall supera con mucho a la de la celda Hall. El aumento de sensibilidad en el receptor Vinhall depende del cuadrado de la relación de la longitud de canal L a la anchura Vinhall W_V . Se ha informado que la relación óptima de longitud a anchura para un dispositivo Hall es próxima a la unidad y que para un dispositivo Vinhall $\frac{L}{W}$ está en algún lugar dentro de la zona mayor que 5. Por lo tanto, suponiendo una celda Hall media $\frac{L}{W} \approx 3$, el receptor Vinhall menos sensible será todavía al menos veinte veces más sensible que la celda Hall equivalente más sensible.

25

FORMAS PREFERIDAS DE REALIZACION

Pasando ahora a una breve consideración de los dispositivos de conducción de canal de modo de acrecentamiento, se dirigirá la atención a las figuras 1 y 2. La figura 2 ilustra una sección longitudinal del disposi-

30

tivo mostrado en la figura 1 en que un substrato metálico semiconductor 1 tiene implantados o difundidos en él un manantial 5 y uno o más sumideros 6. La superficie del substrato particularmente en la proximidad del canal 1 tiene superpuesta una delgada capa de óxido aislante 2, bien conocida en la técnica, y un metal de aluminio u otro material conductor depositado por evaporación o de otro modo que forma una puerta 7, a la que se pueden aplicar voltajes de control apropiados.

Tal como lo han comprendido bien los expertos en la técnica, esto constituye una estructura de canal de transistor de efecto de campo en que, con voltajes apropiados en la puerta de control 7, en el manantial y en los sumideros 5 y 6, respectivamente, un canal 4 de conducción de portadores, denominado "capa de inversión", será inducido a formarse entre el manantial 5 y los sumideros 6. Esto tiene el efecto de crear una densidad efectiva de dosis de portadores que puede ser definida en los mismos términos que se utilizaron anteriormente para un dispositivo de canal implantado en que los portadores o iones necesarios para formar el canal son implantados por debajo de la superficie del substrato. Puede mostrarse que la salida de señales del dispositivo de modo de acrecentamiento, en que se induce que los portadores formen un canal conductor, es lineal con voltaje de puerta y menos sensible que un dispositivo de canal enterrado (modo de agotamiento). La pérdida de sensibilidad y de salida es un resultado de un delgado espesor de canal T y de una alta concentración de donadores de canal equivalente N_D . Esta última disminuye la cantidad de modulación de anchura de

agotamiento que puede lograrse a lo largo de los linderos del canal para un campo Lorentz dado.

Las ecuaciones antes descritas muestran que el receptor Vinhall tiene propiedades de rendimiento expuestas en término de dosis, entre otros parámetros. Las configuraciones Vinhall de modo de acrecentamiento no tienen una dosis implantada como tal, sino que tienen una dosis equivalente en la capa de carga invertida creada por el electrodo de puerta y por la delgada capa de óxido que se para el electrodo de puerta respecto de la superficie del substrato de silicio. Suponiendo que la concentración N_D de portadores que son invertidos junto a la superficie del canal es uniforme dentro de una capa de espesor T de aproximadamente 1.000 \AA , una densidad \bar{D} de dosis inducida equivalente puede ser derivada considerando las condiciones de lindero para el campo dieléctrico existente en la superficie del semiconductor producido por acción del voltaje de puerta que actúa a través de la delgada capa de óxido hacia el substrato de silicio. La relación entre la dosis efectiva \bar{D} y el voltaje de puerta V_g está dada por la ecuación (58) como sigue:

$$\bar{D} = \frac{V_g C_0}{2q} \quad \text{Ec. (58)}$$

en donde C_0 es la capacitancia de puerta por centímetro cuadrado y es igual a la constante dieléctrica ϵ dividida por el espesor de la capa de óxido t_0 .

Sustituyendo la expresión que muestra la dosis efectiva \bar{D} en la ecuación (58) para la densidad de dosis implantada en las ecuaciones de modo de agotamiento Vinhall

que antes se han dado, puede obtenerse la expresión equivalente para los dispositivos de modo de acrecentamiento. Es importante hacer observar que el funcionamiento de los dispositivos Vinhall, tal como se realizan en cualquiera de los modos de acrecentamiento o de agotamiento, sigue un mecanismo idéntico.

La figura 4 ilustra en sección longitudinal un substrato semiconductor 15 típico que tiene un canal 4 enterrado por debajo de la superficie del substrato y que posee las siguientes características:

El canal 4 es creado implantando fósforo, por ejemplo, de una manera tal que se desarrolle una concentración profunda y uniforme de portadores por debajo de la superficie del substrato y se extienda a una profundidad de aproximadamente 4.000 unidades Å o más. Una dosis o fluencia acumulativa típica que se desea es de aproximadamente 2×10^{12} iones/centímetro cuadrado durante el proceso de implantación. Lo más deseable es que esta fluencia sea implantada consecutivamente con energías que oscilen entre 50 KEV hasta 200 KEV.

Un canal profundo con espesor T en el margen de 4.000 Å es producido por lo tanto comenzando a aproximadamente 500 Å por debajo de la superficie del substrato. Dicho canal es deseado para lograr la deseada corriente de canal, al mismo tiempo que permite que se produzca una modulación de anchura de agotamiento sustancial a lo largo de los lados del canal. Tal como se ha hecho observar anteriormente, como derivación de las ecuaciones, es importante también enterrar el canal a alguna profundidad importante por debajo de la superficie del substrato se-

5 miconductor para reducir las condiciones de ruido y con el fin de aumentar la relación de señal a ruido. La puerta de control 7 sirve como un protector eléctrico para reducir el ruido, pero no es necesaria para controlar la conducción de canal.

10 La figura 5 ilustra una forma de realización alternativa a la mostrada en la figura 4 en la que la puerta de control metálica 7 ha sido enteramente eliminada y un aislador opaco 16 es mostrado por encima de la superficie superior. La finalidad de la capa de aislador opaco 16 es la de evitar que penetre luz en el substrato semiconductor y provoque ruido debido a expulsión de energía fotónica de electrones en el canal.

15 Las figuras 3C y 3D de las figuras 7A hasta 7C ilustran estructuras de receptores Vinhall de canales abocinados. Hay varias razones para abocinar el canal. En primer término, tal como antes se ha hecho observar, la anchura de la porción de canal recta, próxima al manantial, controla la corriente de canal que pasa a través del dispositivo. La corriente de canal controlada de este modo es virtualmente independiente de sucesos que tienen lugar más lejos aguas abajo dentro de la región abocinada más próxima a los sumideros. Por estos medios, son hechos mínimos el ruido estadístico debido a condiciones de inyección en el manantial y los efectos de modulación de longitud de agotamiento de zona de sumidero y es mejorada la estabilidad del dispositivo.

30 En segundo término, el abocinamiento del canal es necesario con el fin de acomodar las modulaciones de anchura de agotamiento crecientes que se producen en posi

ciones a lo largo de los lados del canal más próximos a las regiones de sumidero. El aumento en modulación de anchura de agotamiento es un resultado de que el voltaje de sumidero aumenta con la distancia desde el manantial (según se aproxima uno a los sumideros). Si el estrecho canal no estuviera abocinado, el canal quedaría estrechado, según se muestra en la figura 3B, en la dirección de anchura próxima a los sumideros, haciendo que la anchura Vinhall se hiciera cero. Si esto ocurriese, no se produciría desviación Lorentz de ningún lindero de agotamiento, dado que el voltaje Lorentz $\underline{V_{BW}}$ sería cero. El abocinamiento del canal impide que los efectos de modulación de anchura estrechen realmente la anchura Vinhall total. Esta es la situación ilustrada en la figura 3D en el lugar en que se produce el estrechamiento longitudinal en $(L - L_D)$ dentro del canal adyacente a los sumideros.

La anchura Vinhall abocinada W_{Vf} deseada en la proximidad de los sumideros está gobernada por la anchura S de la rendija S en la figura 3D que separa a las regiones de sumidero. La anchura Vinhall abocinada definida como W_{Vf} deberá ser al menos igual a la anchura de rendija S .

La región más sensible del dispositivo Vinhall está en la proximidad de los sumideros y es la única región que requiere un campo magnético con el fin de modular los linderos de agotamiento señalados por B en la figura 3D. Esta característica del perceptor Vinhall no solo se debe a su elevada resolución, sino también a su alta sensibilidad. Por lo tanto, el perceptor Vinhall actúa esencialmente como un perceptor de puntos. Es preferido, aun

que no requerido para el funcionamiento, que el dispositivo Vinhall sea hecho funcionar en el modo de estrechamiento. Dicha situación se ilustra en las figuras 7A hasta 7C y en la figura 3D.

5 Si el dispositivo Vinhall es hecho funcionar por debajo del voltaje de estrechamiento (véase figura 9) se desea que la anchura W_d de los sumideros 6 mostrada en la figura 3D sea menor o igual a la anchura S de la rendija 8. En otro caso, la conductancia entre los sumideros 6 atenuará excesivamente la respuesta de señal diferencial medida entre los sumideros.

10 Una estrecha rendija S entre sumideros 6 es deseada para lograr la mejor sensibilidad del dispositivo Vinhall. Pueden emplearse técnicas especiales de fabricación para lograr una anchura de rendija más estrecha. Un método consiste en implantar las dos regiones de contacto de sumidero 6 todo lo próximas entre sí que lo permitan las técnicas de máscaras fotolitográficas y luego seguir con una operación de recocido de difusión posterior que permita una limitada emigración de iones a una temperatura crítica de recocido próxima a la temperatura de difusión. Esto es de aproximadamente 1.000°C para el silicio, pero, tal como es conocido en la técnica, varía para diferentes materiales. El resultado de esta operación es una anchura de rendija que es menor que la anchura mínima de máscara que puede ser generada en la técnica fotolitográfica. Una segunda técnica para formar una rendija más estrecha consiste en implantar una región de sumidero continuamente sin ninguna rendija. Entonces se puede formar una

15

20

25

30

rendija efectiva utilizando la tecnología de haces de elec

trones para proporcionar una máscara de rendijas muy estrechas. Iones del material opuesto al tipo en la zona de rendija ya pueden ser implantados entonces de manera que se cree una separación eléctrica entre dos regiones del sumidero. El material de tipo opuesto implantado forma una rendija efectiva que neutraliza la implantación inicial en esta región. De esta manera, la región de rendijas puede ser hecha intrínseca en resistividad o del mismo tipo de material que el del canal. Los miembros de sumidero separados formados de este modo están altamente impurificados para evitar su agotamiento en condiciones de alto voltaje de sumidero.

Habiendo descrito de este modo el invento con relación a varias formas preferidas de realización del mismo, será interesante ahora comparar la forma típica filamentaria de un dispositivo Vinhall con algunos de los dispositivos conocidos de la técnica anterior. La forma filamentaria del dispositivo Vinhall es definida por la relación de anchura Vinhall W_V a la anchura total de canal W . La ecuación (25) será el punto de partida para este análisis. En la ecuación (25) la anchura de la zona de agotamiento dentro de un canal junto a una pared del canal es descrita con relación a varias variables. Suponiendo los valores más óptimos para las variables como sigue:

$$e_S = 1,04 \times 10^{-12}$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19}$$

$$N_A = N_D = 10^{17} \text{ y}$$

Ψ (tal como se define por la ecuación (24)) = 4×10^{-1} para estas suposiciones.

Con las precedentes suposiciones, la anchura de la capa de agotamiento cerca del manantial

en un dispositivo Vinhall $\left[\begin{array}{l} \text{en el cual el término } V \text{ para} \\ \text{la ecuación (25) es cero} \end{array} \right]$ es de aproximadamente 510 Å. El área agotada total es el doble de este valor, o aproximadamente 1.000 Å y, suponiendo el peor de los casos, es decir un dispositivo Vinhall de canal ancho, con una anchura de canal de 50.000 Å la relación W_V dividida por W es igual a 0,98. Si es escogida una anchura de canal total más apropiada de 25.000 Å la relación se hace igual a 0,96.

En lo que antecede se supone el peor de los casos para un dispositivo Vinhall en términos de anchura y el mejor de los casos en términos de anchura de zona de agotamiento, que se pueden imaginar. Por comparación, tomando algunos dispositivos conocidos de la técnica anterior en sus mejores condiciones posibles, se obtiene lo siguiente:

Se considera un dispositivo Hall típico de las dimensiones más pequeñas consideradas, aproximadamente de 645 micrómetros cuadrados, la relación de la anchura Vinhall a la anchura de canal en la proximidad del manantial es aproximadamente 0,999. El hacer al dispositivo Hall más ancho o más largo sólo servirá para forzar la relación a estar más próxima a 1,0, dado que la anchura de la zona de agotamiento, tal como se define en la ecuación (25), no es una función de la anchura del canal.

Considerando la naturaleza de los dispositivos de la técnica anterior en el IBM TDB, Volumen 13, número 12, Mayo de 1971, página 3.633, y tomando sus teorías y enseñanzas a la vista de las mejores dimensiones físicas conocidas, en las cuales éste podría construirse, se rinde

una relación de anchura Vinhall a anchura de canal en la proximidad del manantial de 0,998. Esto está basado en la suposición de que los sumideros en el artículo estarían
5 construídos con la dimensión más pequeña de aproximadamente 0,0050 mm de anchura y que el manantial, visto en los dibujos del TDB, serían aproximadamente de 0,0200 milímetros de anchura en proporción con los sumideros.

Considerando el dispositivo en el IBM TDB, volumen 14, número 11, Abril 1972, página 3.420, y considerando
10 que las enseñanzas están en el límite de la mejor tecnología conocida, se rinde una relación de anchura Vinhall a anchura de canal en la proximidad del manantial de aproximadamente 0,998, suponiendo que los sumideros que se muestran en el artículo tienen una anchura de aproximadamente
15 0,0150 mm, y que el espacio de separación entre los sumideros en el límite más estrecho aproximado de resolución para el tipo de tecnología mostrado de 0,0050 mm.

El análisis que antecede muestra que la mejor técnica anterior tomada a la luz de sus enseñanzas supuestas
20 como más favorables da como resultado relaciones de anchura Vinhall a anchura de canal superiores a 0,98, mientras que el dispositivo Vinhall tomado en el peor de sus casos y en las peores condiciones, rinde una relación de anchura Vinhall a anchura de canal en un máximo de 0,98
25 en la proximidad del manantial. El objetivo del análisis es mostrar que el dispositivo de Vinhall preferido tiene una relación de anchura Vinhall a anchura de canal que es menor de 0,98 y mayor de 0. Esto es otro modo de expresar que las zonas de agotamiento forman una porción sustancial
30 del canal de conducción. Esto se aparta radicalmente del

curso adoptado en la técnica anterior y sólo puede ser lo grado cuando se alcanza una comprensión apropiada de las características de anchura de zona de agotamiento, en unión con la comprobación de que la anchura del canal de
5 berá ser hecha lo más pequeña posible.

Habiendo descrito de este modo el presente in-
vento con relación a su teoría de funcionamiento y toman
do en consideración las diversas formas de realización
preferidas del mismo, los expertos en la técnica compren
10 derán que pueden adoptarse muchas desviaciones de las di
mensiones y de la tecnología específicas utilizadas para
construir las formas preferidas de realización, sin vio-
lar las enseñanzas y los principios básicos del invento,
tal como se describen, y que se desea proteger mediante
15 patentes en las reivindicaciones como sigue:

REIVINDICACIONES

5 Los puntos de invención propia y nueva que se
presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente
de Invención en España, por VEINTE años, son los que se
recogen en las reivindicaciones siguientes.

10 1ª.- Mejoras introducidas en un dispositivo perceptor de campo, de conducción de canal, semiconductor, que tiene un substrato de material semiconductor, una región de manantial y al menos dos regiones de sumidero separadas en dicho substrato y un canal conductor en dicho substrato, que conecta a dicho manantial y a dichos sumideros, cuyas mejoras residen en que dicho canal de material conductor tiene una forma filamentaria definida por
15 tener una relación de anchura Vinhall a anchura de canal en la proximidad de dicho manantial que es mayor que cero y menor que 0,98.

20 2ª.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1ª, que comprenden además: que la distancia entre dicho manantial y dichos sumideros, dividida por dicha anchura Vinhall es mayor que una mitad del valor definido por la resistencia de carga multiplicada por la densidad de portadores de canal y por la movilidad de portadores
25 en el canal y la carga unitaria de electrones.

30 3ª.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1ª, que comprenden además: que la relación de la anchura Vinhall de dicho canal en la proximidad de dichos sumideros a la anchura Vinhall de dicho canal en dicho manantial es mayor que 1.

4a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que la relación de la anchura Vinhall de dicho canal en un lugar a lo largo de dicho canal entre dicho manantial y dichos sumideros a la anchura Vinhall de dicho canal en dichos sumideros es mayor que 1; y que la relación de dicha anchura en dicho lugar intermedio a lo largo de dicho canal a dicha anchura Vinhall en dicho manantial es igual a 1.

5a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que dicha separación entre dichos sumideros es menor que dicha anchura Vinhall.

6a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que dichos sumideros tienen una dimensión, tomada paralelamente al centro de dicho canal, que es menor o igual a la distancia que separa a dichos sumideros entre ellos.

7a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que dicho canal está situado por debajo de la superficie de dicho substrato y está separado de ella por una capa de material de conductividad opuesta a la de dicho canal y está separado de la superficie de dicho substrato por una distancia que es menor que dicha anchura Vinhall.

8a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que la anchura Vinhall de dicho canal es mayor que el espesor de dicho canal en la dirección perpendicular a la superficie de dicho substrato.

9a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1a, que comprenden además: que dicha anchura Vinhall

en la proximidad de dichos sumideros es mayor que 0 y menor que una cantidad $\frac{2kT}{q} V_s$ B.

5 10a.- Mejoras según se describe en la reivindicación 1ª, que comprenden además: medios de voltaje aplicados a dicho manantial y a dichos sumideros, de magnitud suficiente para poner en contacto dicho canal conductor en la proximidad de dichos sumideros.

11a.- "MEJORAS INTRODUCIDAS EN UN DISPOSITIVO PERCEPTOR DE CAMPO DE CONDUCCION DE CANAL, SEMICONDUCTOR"

10 Tal y como se ha descrito en la memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y con los fines que se han especificado.

Esta memoria consta de setenta y tres hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 03 JUL 1978

P.A.

Oscar de Elzaburu
Por Poderes



7-133

FIG. 3A

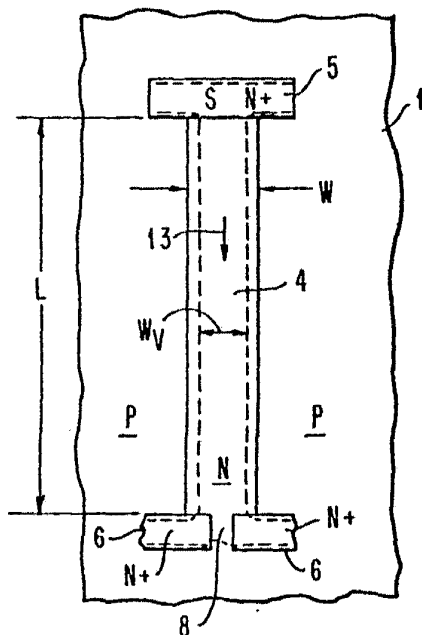


FIG. 3B

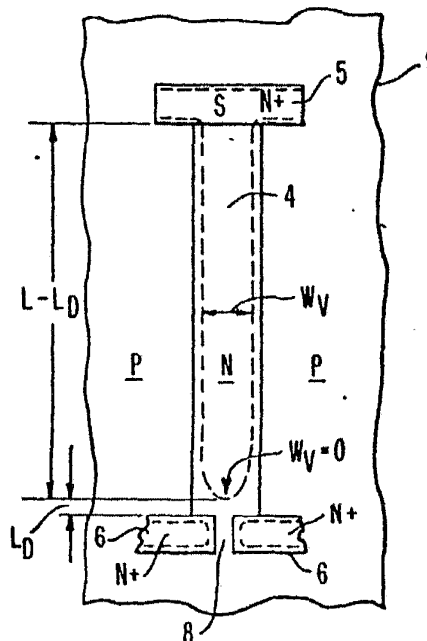


FIG. 3C

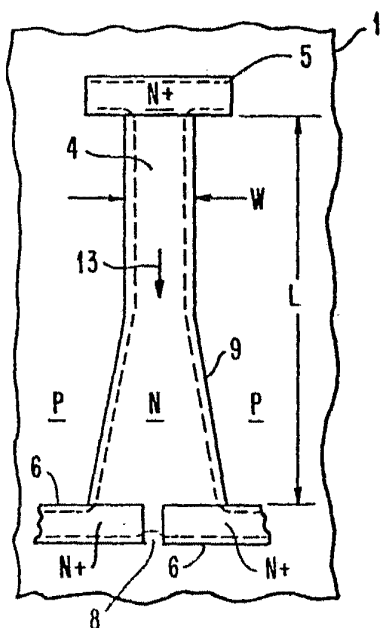
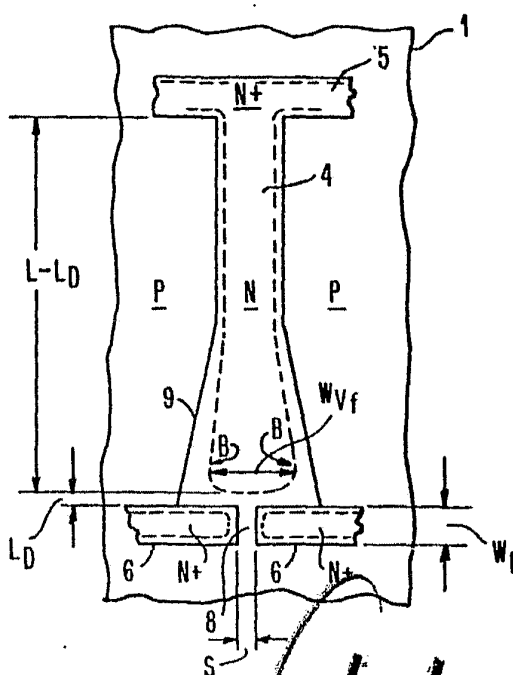


FIG. 3D



Oscar de la Cruz
Por Favor.

FIG. 4

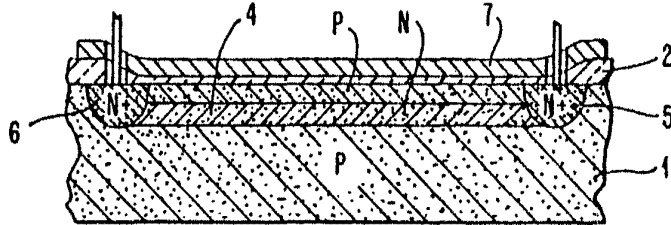


FIG. 5

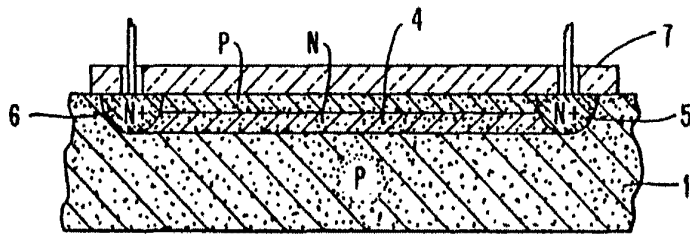
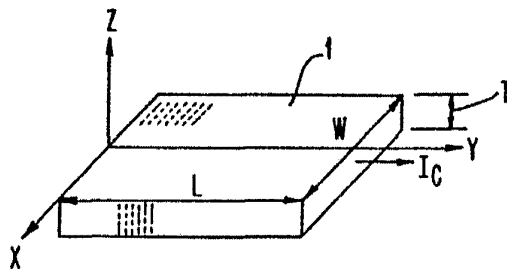


FIG. 6



Oscar de Elzab...
Par...
[Signature]

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

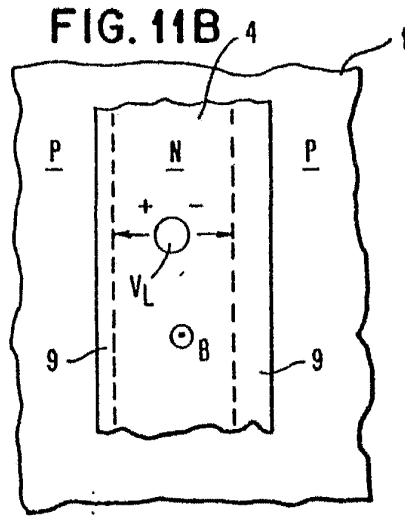
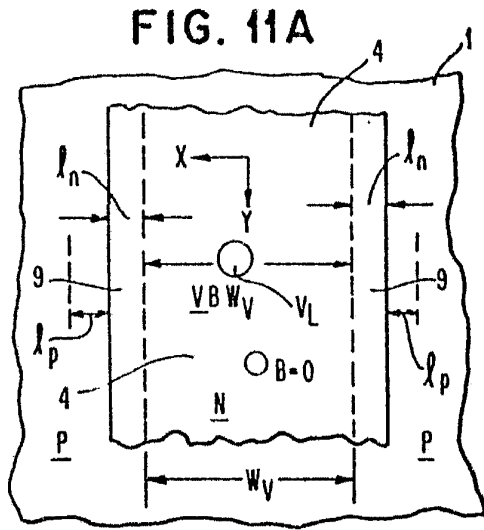
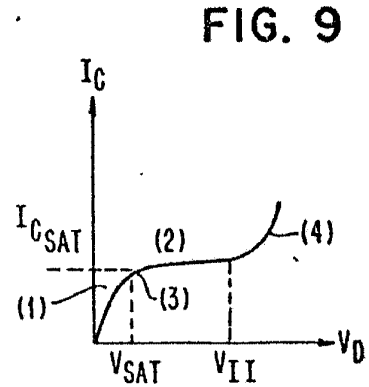
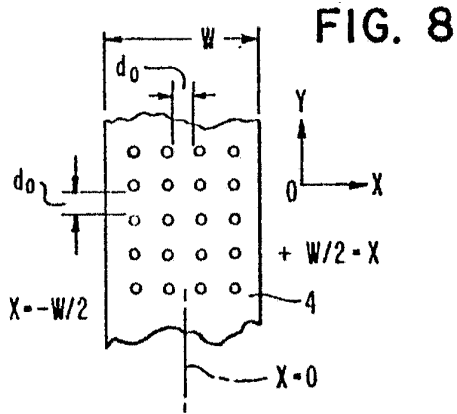
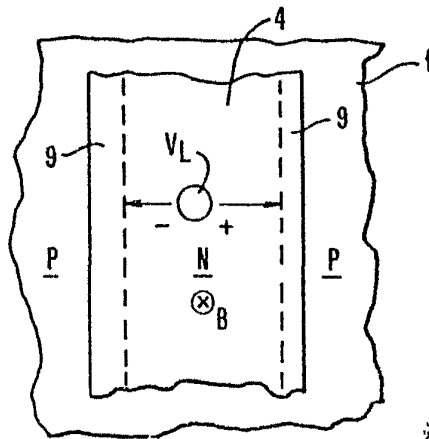


FIG. 11C



Oscar de E. ...
Per ...

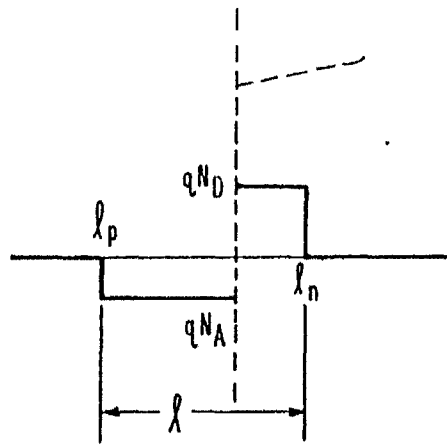


FIG. 10A

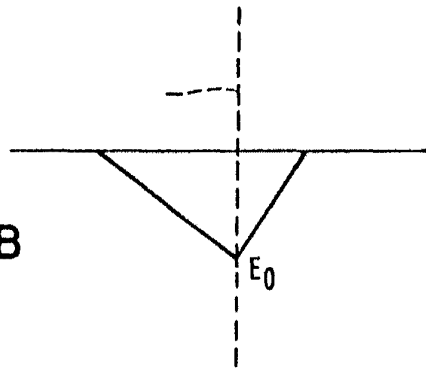


FIG. 10B

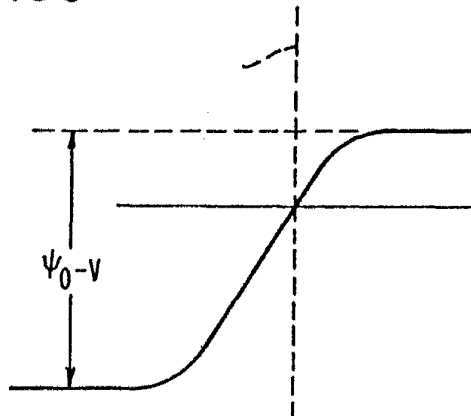
$$\psi_0 = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{N_i^2} \right)$$

$$N_i^2 \approx 10^{27}$$

$$\lambda = \left[\frac{2\epsilon S}{q} (\psi_0 - V) \left(\frac{N_D + N_A}{N_D N_A} \right) \right]^{1/2}$$

$$E_0 = \left[\frac{2q}{\epsilon} (\psi_0 - V) \left(\frac{N_D N_A}{N_D + N_A} \right) \right]^{1/2}$$

FIG. 10C



$$\lambda_p = \lambda \frac{N_D}{N_A + N_D}$$

$$\lambda_n = \lambda \frac{N_A}{N_A + N_D}$$

Oscar de Eizoburu
Por Poder

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

FIG. 12

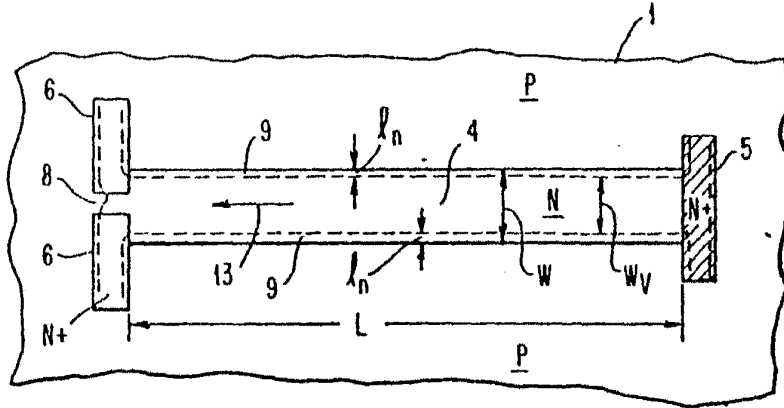


FIG. 13A

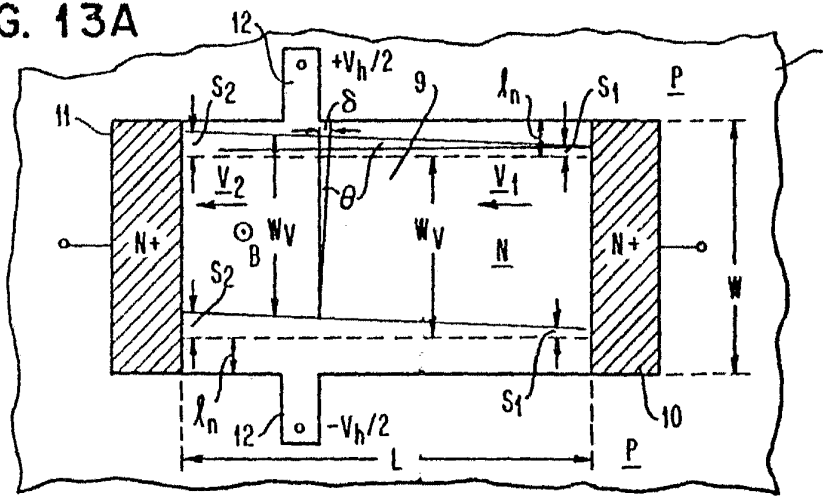
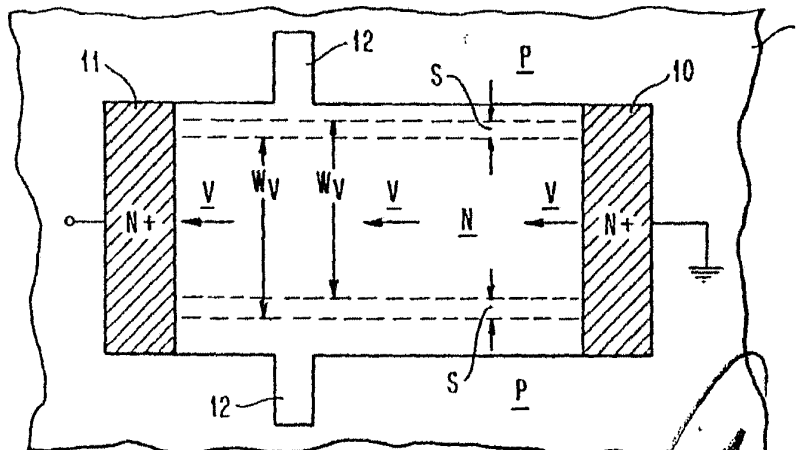


FIG. 13B



Oscar de Elzaburu
Per Heder

FIG. 14A

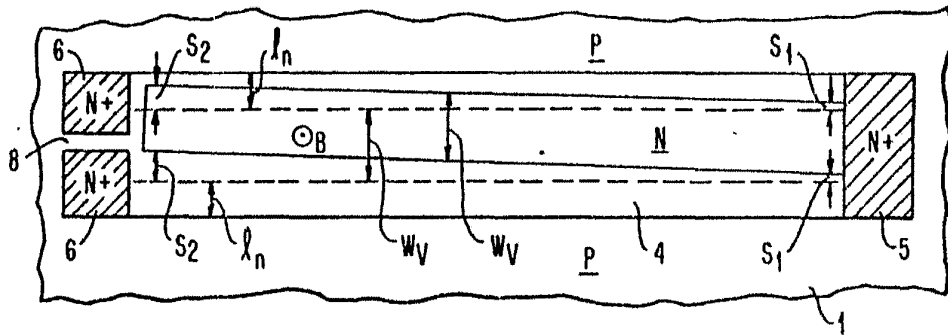


FIG. 14B

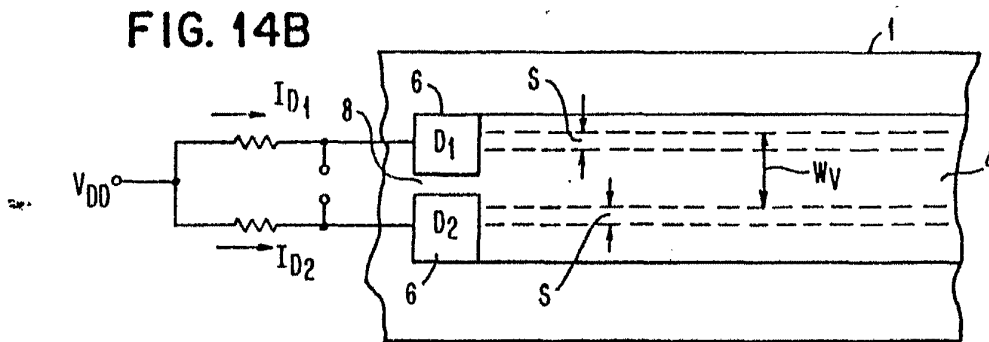
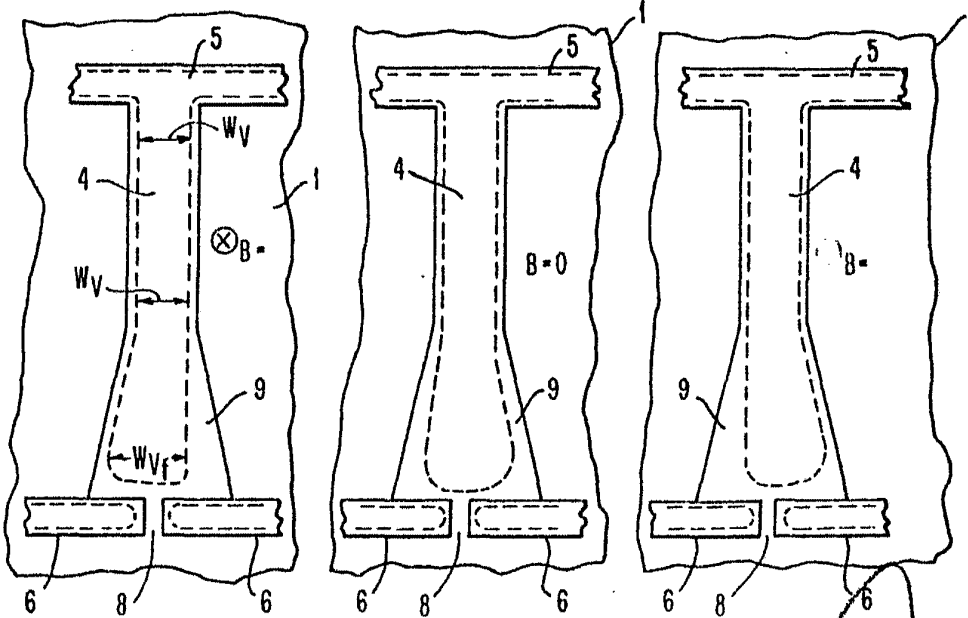


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C



[Handwritten signature]

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

FIG. 15A

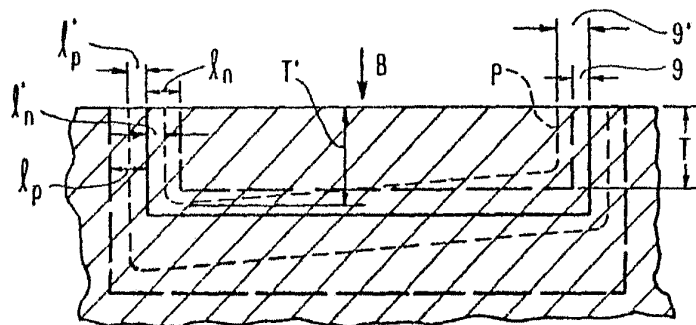
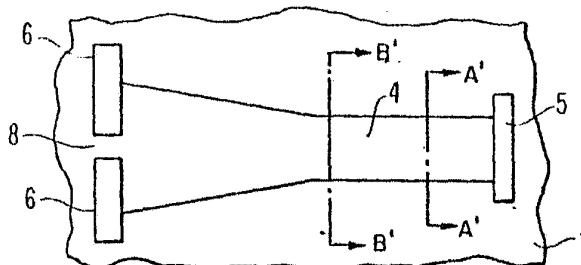


FIG. 15B

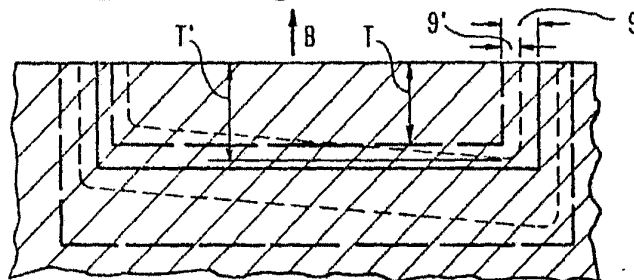


FIG. 15C

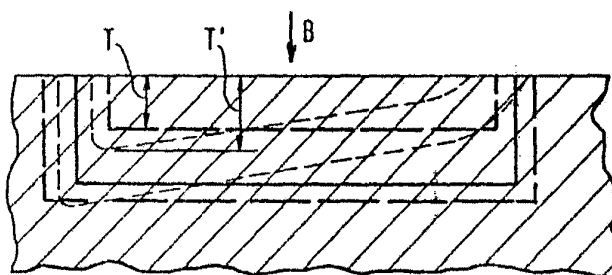


FIG. 15D

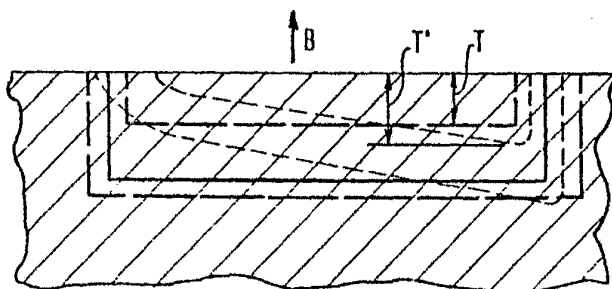


FIG. 15E

Copyright © International Business Machines Corporation
1964
[Handwritten Signature]