



El invento se refiere a un procedimiento para formar películas o capas epitaxiales de material semiconductor en un cristal que sirve de sustrato a partir de vapores que reaccionan o que se descomponen para depositar el material semiconductor elemental en el sustrato, y para controlar el valor de conductividad y el tipo de conductividad de dichas películas epitaxiales añadiendo impurezas procedentes de una fuente gaseosa de material de impureza a los vapores de reacción.

El material epitaxial, en el sentido que se da aquí a este término, significa un material monocristalino cuya orientación cristalográfica viene determinada por un sustrato sobre el cual está formado. El procedimiento por el cual se forma material epitaxial es conocido como crecimiento epitaxial o a veces epitaxis. Por lo menos un plano cristalográfico del cristal de sustrato tiene la misma orientación cristalográfica y las mismas constantes de reticulación que la capa epitaxial deseada, y la capa epitaxial se forma en una superficie paralela a este plano. El material de la capa epitaxial puede ser el mismo que el del sustrato aunque éste no sea esencial.

La aleación, la difusión y el crecimiento epitaxial son variantes de procesos de formación de unión de semiconductor. En el proceso de aleación y en el proceso de difusión, se introducen impurezas en un cristal de sustrato para formar una unión en el interior del sustrato. Es necesario añadir una cantidad suficiente de material de impureza para compensar la que está ya presente en el sustrato, e igualmente añadir una cantidad suplementaria para producir una capa dopada en sentido opuesto. Es a menudo



necesario hacer que el nivel de dopado neto en dicha capa dopada sea muy bajo en comparación con el nivel de dopado inicial del material del substrato en el cual se forma la capa. Por tanto, se introduce una cantidad inicial relativamente importante de material de impureza de dopado en el substrato para compensar el dopado inicial y producir un dopado neto reducido. Esto significa que es necesario controlar con precisión una pequeña diferencia entre dos cantidades más importantes de impurezas, e incluso con las técnicas de control refinadas disponibles en el estado actual de la técnica de los semiconductores, es difícil obtener el dopado neto deseado en una base que sea reproducible de manera uniforme.

El crecimiento epitaxial como método para formar uniones no tiene estas limitaciones inherentes. En el crecimiento epitaxial, se deposita material semiconductor nuevo en forma monocristalina en un substrato. Por consiguiente, el material epitaxial puede ser dopado mientras se deposita sin tener que compensar las impurezas ya presentes en el material del substrato. Si la cantidad de material de impureza que se añade durante la fase de depósito puede ser controlada con precisión, será posible controlar la resistividad de una capa epitaxial con más precisión que la de una región difusa o aleada.

Aunque estas ventajas del crecimiento epitaxial así como otras son bien conocidas, se han presentado numerosos problemas prácticos para intentar controlar la cantidad de impureza que se añade a los vapores de reacción con el grado deseado de precisión y de reproductibilidad. Esto es fácil de entender cuando se tiene en cuenta que pa-



ra los niveles de dopado típicos, la relación entre los átomos de semiconductor y los átomos de impureza en una capa epitaxial es aproximadamente de 10 millones/1. En la fase vapor, la relación del material de impureza respecto al material semiconductor debe ser solamente de unas pocas partes por millón, y esta relación entre gases debe mantenerse dentro de una estrecha gama de valores para obtener un control preciso del nivel de dopado en el material epitaxial.

Hasta ahora, las impurezas han sido usualmente introducidas a partir de una fuente líquida. El método más sencillo consiste en añadir la impureza deseada directamente a una fuente líquida de material semiconductor. Por ejemplo, es posible añadir tricloruro de boro o tricloruro de fósforo líquido a tetracloruro de silicio líquido, y los vapores procedentes de esta mezcla líquida pueden ser introducidos en un gas portador tal como hidrógeno. Un inconveniente de este procedimiento es que no es posible variar desde una tanda (o una serie de tandas) a otra tanda, la resistividad y el tipo de conductividad del material epitaxial que se obtiene de la relación en fase vapor, a no ser que se usen varias fuentes de líquidos de este tipo y que cada una esté adaptada para recibir una capa de una resistividad y de un tipo dados. Igualmente, la composición del líquido va cambiando conforme se va utilizando el líquido y por tanto la presión parcial de la impureza de dopado cambia con el tiempo.

Un método potencialmente más flexible incluye fuentes separadas de materiales semiconductores y materiales de dopado líquidos. Por ejemplo, pueden utilizarse fuentes separadas líquidas de tetracloruro de silicio, tricloruro



de boro y tricloruro de fósforo, y pueden mezclarse cantida-
des controladas de los vapores procedentes de estas fuentes
antes de introducirlas en el reactor. Un inconveniente de
este procedimiento es que la presión de vapor encima de
5 los líquidos se ve afectada por varios factores variables,
y esto dificulta el mezclado de los vapores en proporciones
exactas, particularmente teniendo en cuenta las cantidades
tan reducidas de vapores de impureza de que se trata. Ca-
da fuente de líquido se mantiene a una temperatura cons-
tante y las temperaturas son diferentes. El control de es-
10 tas temperaturas con la precisión deseada es un problema
difícil.

El presente invento proporciona el procedi-
miento que consiste en depositar una película semiconducto-
ra monocristalina a partir de una corriente de gas y dopar
15 la película mediante la adición controlada a la corriente
de gas de un compuesto de impurezas totalmente gaseoso a la
temperatura ambiente normal, incluyendo dicho procedimiento
las fases que consisten en: hacer pasar sobre un elemento
20 de cristal del material semiconductor una corriente princi-
pal de gas portador, inyectar en dicha corriente de gas prin-
cipal un compuesto gaseoso de dicho material semiconductor
a partir del cual el material semiconductor se deposita en
dicho elemento de cristal a una temperatura superior a 600°C,
25 extraer una mezcla de gas diluyente y de un compuesto hidru-
ro normalmente gaseoso de una impureza de dopado procedente
de un recipiente de fuente de impureza en el cual dicho com-
puesto hidruro es totalmente gaseoso y es diluido por di-
cho gas diluyente hasta una concentración baja predetermina-
30 da, inyectar dicha mezcla en una corriente de gas diluyente



para formar una corriente de gas de dopado diluído, inyectar los gases mezclados procedentes de dicha corriente de gas de dopado diluído en dicha corriente de gas principal a un caudal regulado para controlar el contenido de impureza de la película semiconductora final, y someter dicho elemento de cristal a una temperatura inferior al punto de fusión de dicho material semiconductor pero suficientemente superior a 600°C para producir el depósito simultáneo del material semiconductor y del material de impureza a partir de dicha corriente de gas principal sobre dicho elemento de cristal para formar así una película semiconductor dopada en dicho elemento de cristal, que prolonga la estructura cristalina del mismo.

Como se ha indicado más arriba, el procedimiento del invento incluye la formación de capas epitaxiales a partir de vapores y el dopado de estas capas mediante adición de impurezas a los vapores de reacción procedentes de una fuente gaseosa. El gas de la fuente es preferentemente un hidruro del elemento de dopado seleccionado. A título de ejemplo pueden indicarse el hidruro de fósforo (fosfina), el hidruro de boro (diborano) y el hidruro de arsénico (arsina). El material hidruro gaseoso es diluído con gas tal como hidrógeno de modo que pueda ser manipulado con seguridad. Se introducen cantidades controladas de la mezcla de hidruro-hidrógeno en una corriente de gas principal que lleva el compuesto volátil del material semiconductor que ha de ser depositado. Utilizando el procedimiento que combina la corriente de gas de hidrógeno que lleva la impureza con otra corriente de gas hidrógeno que contiene vapores del compuesto semiconductor, se ha comprobado que en



el estado actual del desarrollo, el nivel de dopado del material epitaxial resultante puede ser controlado a un valor elegido con una variación no superior al 10% de este valor.

5 Una ventaja importante del dopado mediante inyección de impurezas procedentes de una fuente gaseosa es que la velocidad de inyección puede ser cambiada continuamente para formar películas con un dopado dosificado. Actualmente, las capas con dopado dosificado no pueden ser formadas de manera práctica mediante dopado a partir de la
10 fuente de líquido. Utilizando un sistema en el cual las impurezas se inyectan a partir de una fuente gaseosa, es posible proporcionar un sistema controlado automáticamente para formar estructuras de capas múltiples, mientras que un sistema automático es menos práctico cuando las impurezas
15 se inyectan a partir de una fuente líquida.

El invento se describirá ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

20 La figura 1 es una vista esquemática a escala exagerada que ilustra una unidad de semiconductor PNP provista de capas epitaxiales;

La figura 2 es una vista similar a la figura 1 que representa una unidad de semiconductor NPN del tipo epitaxial;

25 La figura 3 es un diagrama de circulación de un sistema para formar y dopar capas epitaxiales tales como las que están incluídas en las unidades de las figuras 1 y 2;

30 La figura 4 es una curva trazada a escala logarítmica que ilustra de qué manera el dopado de silicio epitaxial con boro obtenido a partir de gas diborano puede ser



controlado; y.

La figura 5 es una curva similar a la curva de la figura 4 para el dopado de material epitaxial de silicio con fósforo obtenido a partir de gas fosfina.

5 Unas unidades de unión de semiconductor típicas en las cuales las uniones están formadas por material epitaxial dopado se ilustran a escala muy exagerada en las figuras 1 y 2. Las combinaciones de capas de estas unidades son unos ejemplos de una amplia variedad de combinaciones de capas que pueden ser fabricadas utilizando el procedimiento del invento. En la figura 1, el substrato 10 es un elemento monocristalino de material semiconductor tipo P. La capa epitaxial 11 es del mismo material semiconductor que el substrato pero está dopada con una impureza donante que le imparte una conductividad tipo N. La otra capa epitaxial 12 es del mismo material semiconductor dopado con una impureza acceptor que le da una conductividad tipo P. Por tanto, la unidad de la figura 1 tiene una estructura PNP del tipo utilizado en los dispositivos de transistor. La 10 figura 2 representa una unidad que tiene una estructura NPN en la cual la capa epitaxial 14 está dopada con una impureza acceptor y la capa epitaxial 15 está dopada con una impureza donante. El substrato 13 contiene también una impureza donante. Por tanto, la unidad de unión de la figura 2 es simplemente el complemento de la que se representa en la 15 figura 1.

Usualmente, el material semiconductor de la unidad de unión es o silicio, o germanio. Como es conocido en esta técnica, los elementos boro, aluminio, galio e indio, que están incluidos en el grupo IIIa de la tabla 20 25 30



periódica, son impurezas de dopado de tipo aceptor adecuados para el silicio y el germanio. Los elementos fósforo, arsénico y antimonio que están incluidos en el grupo Va de la tabla periódica, son impurezas donantes adecuadas para silicio y germanio. Como se ha mencionado más arriba, el do

5 pado se hace de acuerdo con el invento, mediante la introducción de la impureza elegida en el sistema de reacción bajo la forma de un hidruro gaseoso. Entre las impurezas mencionadas más arriba, los hidruros gaseosos de boro, fósforo y arsénico solamente son disponibles comercialmente en

10 el momento actual, y la manera con la cual se hace el dopado utilizando estos hidruros se describirá aquí. Sin embargo, cuando se disponga de hidruros de otras impurezas de dopado en forma gaseosa, podrán ser utilizados para llevar

15 a la práctica el invento. Igualmente, compuestos volátiles de los elementos de impureza mencionados más arriba distintos de los hidruros pueden ser utilizados siempre y cuando puedan ser diluídos con un gas portador tal como hidrógeno para dar una mezcla estable que pueda ser inyectada en la

20 corriente de gas principal en cantidades controladas. Unos ejemplos de dichos compuestos volátiles son BCl_3 , BBr_3 , AsCl_3 y SbCl_5 .

En la figura 3 se representa un sistema adecuado para la formación y el dopado de capas epitaxiales. El

25 material de substrato se obtiene normalmente bajo la forma de discos 21 que se sitúan en una placa 22 de cuarzo soportada por un susceptor 23 de grafito o de molibdeno. La cara superior de cada disco es paralela a un plano cristalográfico elegido de los discos, tales como el que está identificado por los índices de Miller (1, 1, 1). Se calienta el

30



5 susceptor 23 por medio de una bobina de calefacción por inducción 24 que está situada en el exterior de un tubo de cuarzo 26 que forma la cámara de reacción 27. Los vapores que reaccionan para depositar el material semiconductor elemental y el material de dopado sobre los discos 21 son transportados por gas hidrógeno que se introduce en la cámara de reacción a través del orificio de entrada 28. El gas de hidrógeno que transporta los subproductos de la reacción que se produce en la cámara 27 sale de la cámara a través de un orificio de salida 29 y es quemado. Antes de introducir hidrógeno en la cámara de reacción, esta es lavada con nitrógeno suministrado a partir de una fuente 50 a través de una válvula 55. La temperatura en el interior de la cámara de reacción puede ser medida utilizando un pirómetro óptico, que no se representa.

10
15 Los vapores de un compuesto volátil de silicio o de germanio se obtienen a partir de un saturador 31. El saturador 31 contiene el compuesto semiconductor en forma líquida, y el gas hidrógeno procedente de una fuente 32 se hace pasar a través del compuesto semiconductor líquido por medio de unas tuberías adecuadas 33 y 34. El caudal del hidrógeno que entra es controlado por una válvula 36 y es medido por un contador 37. La tubería de salida 34 procedente del saturador 31 conduce al orificio de entrada 28 de la cámara de reacción a través de una válvula 39. Cuando la válvula 39 está cerrada, los gases pueden pasar a un orificio que les lleva al punto donde son quemados a través de unas tuberías 41 que contiene una válvula 42. La relación de presión parcial del hidrógeno respecto a los vapores semiconductores puede ser controlada con precisión mediante la



dilución del gas que sale del saturador con hidrógeno suministrado a partir de otra fuente de hidrógeno 43 a través de la tubería 44 que está conectada a la tubería 34. La tubería 44 tiene una válvula 45 y un contador 46 para controlar y medir el caudal del gas hidrógeno. Otra válvula 40 está dispuesta antes del punto donde la tubería 44 se une a la tubería 34.

Unos ejemplos de los compuestos líquidos de germanio y silicio que pueden utilizarse en el saturador 31 son el tetracloruro de silicio, el tetracloruro de germanio y el triclorosilano. Otros haluros y haluros de hidrógeno de silicio y de germanio son disponibles y pueden ser empleados pero los mejores resultados han sido obtenidos con los compuestos de tetracloruro y triclorosilano. La presión de vapor encima del líquido en el saturador 31 se mantiene constante situando un líquido a temperatura constante tal como agua de fusión de hielo en una camisa 47 que rodea el saturador. La relación de la presión parcial de hidrógeno respecto a la presión parcial de los vapores del compuesto semiconductor volátil se establece en un valor superior a aproximadamente 65/1. Los caudales de hidrógeno en las tuberías 33 y 34 pueden estar incluidos entre aproximadamente 10 cm³/minuto y 20 litros/minuto, estableciéndose la relación de los caudales en una gama incluida entre 10:1 y 200:1. El mayor caudal está presente en la tubería 44.

El gas de hidrógeno, saturado con vapores del compuesto conductor líquido, pasa encima de la superficie de los discos calentados 21. Se produce una reacción heterogénea en las superficies del disco, y la película o capa ya de germanio, ya de silicio, según el caso, se forma de manera mono-



5 cristalina sobre el disco. En el caso de un substrato de silicio, la temperatura en la cámara de reacción medida con un pirómetro óptico se mantiene en la gama de aproximadamente 1.000 a 1.300°C y preferentemente entre 1.130 y 1.200°C. En el caso del germanio, la temperatura en la cámara de reacción medida con un pirómetro óptico se mantiene en una gama incluida entre 700 y 850°C, y preferentemente entre 750 y 800°C. Si no se añaden impurezas de dopado a la mezcla de hidrógeno y de vapores procedentes del saturador 31, se deposita en cada uno de los discos 21 una película epitaxial no dopada. Una película formada con vapores no dopados en un substrato de alta resistividad tiene una resistividad superior a 50 ohmios/cm en el caso del silicio y superior a 5 ohmios/cm en el caso del germanio.

10 En el sistema de la figura 3, se añaden impurezas de dopado a la mezcla de gas y vapor en la tubería 34 con el objeto de controlar el valor de la resistividad y el tipo de conductividad de la película o películas que se depositan en los discos 21. En el sistema particular que se ilustra en la figura 3, la fosfina gaseosa se suministra a partir de la fuente 51 y el diborano gaseoso se suministra a partir de otra fuente 52. Estos materiales son difíciles de manejar bajo forma concentrada porque son explosivos. El problema de la seguridad ha sido solucionado mediante la dilución de la fosfina y del diborano con hidrógeno. La mezcla de fosfina/hidrógeno y la mezcla de diborano/hidrógeno puede ser obtenida convenientemente en depósitos de acero del tipo utilizado para los gases de soldadura. Se han obtenido buenos resultados utilizando 100 partes de hidruro gaseoso por un millón de partes de hidrógeno

15

20

25

30



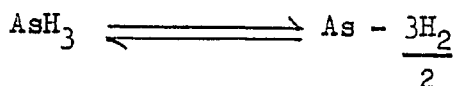
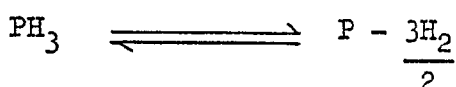
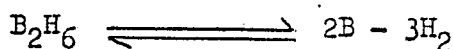
5 en los depósitos que constituyen las fuentes 51 y 52. En la práctica se prefieren concentraciones del orden de 100 a 10.000 partes por millón, pero cualquier concentración superior a una parte por millón puede ser empleada, siempre y cuando se tomen las debidas precauciones de seguridad.

10 La mezcla fosfina/hidrógeno procedente de la fuente 51 se introduce en el sistema a través de una válvula 53, y se mide el caudal por medio de un contador 54. Los gases se introducen en la tubería 34 que conduce a la cámara de reacción 27 a través de otra válvula 56 provista de un contador asociado 57. El punto de inyección está situado en 60. Cuando la válvula 56 está cerrada, los gases pueden pasar a través de una válvula 58 hasta un orificio que los conduce a un punto donde son quemados. La tubería que
15 sirve para introducir el diborano en el sistema a partir de la fuente 52 es similar. La circulación de la mezcla de diborano/hidrógeno está controlada por una válvula 61 y es medida por un contador 62. Los gases fluyen a través de otra válvula 63 y un contador 64 y son introducidos en la
20 tubería 34 en un punto de inyección 65. Existe una válvula 66 para permitir que los gases salgan al orificio que los conduce al punto donde son quemados, cuando se desea.

25 El hidrógeno ha sido utilizado como diluyente para el material de impureza hidruro porque el gas portador de los vapores del compuesto semiconductor que se introduce a partir del saturador 31 es preferentemente hidrógeno. Si se utiliza un gas portador diferente, el mismo gas puede ser utilizado como diluyente del material hidruro. Se ha comprobado sin embargo que un dopado inusualmente uni
30 forme entre disco y disco se obtiene cuando se utiliza hi-



drógeno como diluyente y como gas portador. Esto da lugar a un exceso de hidrógeno presente en la cámara de reacción 27 lo que tiende a reducir la eficacia de la reacción de descomposición del compuesto de hidruro. Por consiguiente, no se obtiene la descomposición total del hidruro cuando pasa encima del disco situado más cerca de la entrada 28 y esto hace que todos los discos separados a lo largo del trayecto de la circulación del gas en la cámara de reacción estén sometidos a una concentración de material hidruro sustancialmente uniforme. Las reacciones de descomposición en cuestión son las siguientes:



El exceso de hidrógeno en la cámara de reacción tiende a arrastrar estos productos de descomposición hacia atrás y hace que la reacción sea relativamente ineficaz. La reacción de descomposición del tetracloruro de silicio, del tetracloruro de germanio o triclorosilano, según el caso, ve también su eficacia relativamente disminuída cuando se utiliza una mezcla muy diluída del compuesto volátil y de hidrógeno descrita más arriba, y mediante una selección adecuada de las condiciones de temperatura, caudal y otras variables. Por tanto, las películas epitaxiales que se forman en los discos 21 son más propensas a tener un espesor uniforme y a ser más uniformes también en otros aspectos, que en el caso en el cual las condiciones son tales que las reacciones



de descomposición son tan eficaces como sea posible.

Se ha comprobado que el valor de resistividad de las películas epitaxiales dopadas formadas en el sistema de la figura 3 de acuerdo con la descripción que antecede, puede ser controlado en una gama de valores relativamente amplia. Por ejemplo, las películas epitaxiales de silicio formadas a partir de vapores de tetracloruro de silicio o de triclorosilano dopadas a partir de una fuente que presenta una relación de fosfina/hidrógeno de 100 partes por millón a una relación de diborano/hidrógeno de 100 partes por millón pueden ser controladas eficazmente en la gama que se extiende desde 0,001 ohmio-centímetro hasta 0,1 ohmio-centímetro. De la misma manera, utilizando tetracloruro de germanio y ya sea PH_3 , ya sea B_2H_6 diluído con H_2 para obtener una concentración de 100 partes por millón, la resistividad de la película epitaxial puede ser controlada en la gama de 0,005 a 0,1 ohmio-centímetro.

Con el objeto de obtener películas epitaxiales dopadas con valores de resistividad más elevados, se ha comprobado que era conveniente diluir todavía más los gases de fosfina y de diborano antes de introducirlos en la cámara de reacción. Esto se hace añadiendo hidrógeno procedente de las fuentes de dilución 67 y 68 a la mezcla de fosfina/hidrógeno o de diborano/hidrógeno, según el caso. Se utilizan una válvula 69 y un contador 70 en la tubería que conduce desde la fuente de dilución 67 y otra válvula 71 con un contador asociado 72 están dispuestos en la tubería que procede de la otra fuente de dilución 68. Mediante una dilución suplementaria de la fosfina o del diborano con hidrógeno procedente de la fuente de dilución, el valor de resisti-



5 vidad de las películas epitaxiales ha sido controlado con éxito dentro de la gama de 0,1 ohmio-centímetro a 5 ohmios-centímetro. Las fuentes de dilución 67 y 68 pueden contener una cierta cantidad de fosfina o de diborano si se desea. La concentración de fosfina y de diborano en las fuentes 67 y 68 respectivamente ha de ser considerablemente inferior a las concentraciones correspondientes en las fuentes de impureza principales 51 y 52.

10 Las figuras 4 y 5 son curvas a escala logarítmica que ilustran de qué manera el dopado de las películas epitaxiales puede ser controlado en las gamas mencionadas más arriba. La figura 4 corresponde a películas epitaxiales de silicio formadas a partir de vapores de tetracloruro de silicio dopado con diborano, y la figura 5 corresponde a películas epitaxiales de silicio formadas a partir de tetracloruro de silicio dopado con fosfina. Con el objeto de formar una película epitaxial que tiene un nivel de dopado elegido, el caudal de la fosfina o del diborano según el caso, se ajusta simplemente a un nivel correspondiente obtenido a partir de la curva apropiada.

15 20 Estas curvas así como otros datos experimentales, indican que la concentración del material de impureza dopante en una capa epitaxial formada y dopada por el proceso del invento depende directamente de la relación impureza/se-
25 miconductor en la fase gaseosa. Por ejemplo, utilizando fosfina, diborano y tetracloruro de silicio en el sistema de la figura 3 de la manera descrita más arriba, las relaciones entre las fases gaseosas boro/silicio y fósforo/silicio pueden ser descritas matemáticamente en función de los caudales de la manera que sigue:
30



$$\frac{P}{Si} \text{ relación} = \frac{TIC}{D \left(\frac{S}{3} \right)} = \frac{3TIC}{DS}$$

$$\frac{B}{Si} \text{ relación} = \frac{2TIC}{D \left(\frac{S}{3} \right)} = \frac{6TIC}{DS}$$

5

En estas fórmulas:

T = caudal de la corriente de gas que fluye desde el depósito que contiene el material de impureza (51 ó 52).

I = caudal de la corriente de gas inyectada en el punto 60 o 65.

D = caudal de la corriente de gas de dilución procedente de la fuente de dilución 67 o 68.

S = caudal de la corriente gaseosa que transporta el silicio en la tubería 34 en el punto de inyección (60 o 65).

C = concentración de la fosfina o del diborano en la fuente correspondiente (51 o 52).

S = caudal aproximado de los vapores de SiCl₄ en el punto de inyección, suponiendo que la corriente S sea saturada con SiCl₄ a la temperatura ambiente.

El factor $\frac{TI}{DS}$ que se ve en estas fórmulas se llamará aquí "número de dopado". Las curvas de las figuras 4 y 5 han sido obtenidas inscribiendo los números de dopado en función de los valores de resistividad de un gran número de capas epitaxiales de silicio formadas en el sistema de la figura 5 con las mismas temperaturas de funcionamiento y utilizando los mismos materiales de fuentes para todas las tandas de modo que el factor de concentración C sea constante en las fórmulas que anteceden. Las curvas correspondientes pueden ser obtenidas por cualquier valor dado de C y dichas

30



curvas serán paralelas a las de las figuras 4 y 5.

Puede verse en las curvas que la relación impureza/semiconductor en la corriente de gas compuesta suministrada a la cámara de reacción se mantiene siempre relativamente baja y que la resistividad de la capa epitaxial es directamente proporcional a la relación impureza/semiconductor. Si esta relación se mantiene constante durante una tanda dada, la capa epitaxial tiene un dopado sustancialmente uniforme. Sin embargo, la relación impureza/semiconductor puede ser cambiada continuamente haciendo variar uno cualquiera o todos los caudales T, I, D y S. El efecto general consiste en cambiar la corriente de gas de inyección con relación a la corriente de gas de soporte de semiconductor S.

Los compuestos hidruros gaseosos de materiales de impurezas de dopado presentan varias ventajas para aplicaciones de formación epitaxial en comparación con otros compuestos. Por ejemplo, la fosfina y el diborano son mucho menos corrosivos que los haluros de fósforo y boro, y los hidruros son mucho menos sensibles que los haluros a la humedad que puede estar presente en las tuberías del sistema. Esto significa que utilizando los hidruros, el sistema puede ser utilizado durante periodos de tiempo más largos con menos trabajo de conservación y con rendimientos más elevados de películas epitaxiales aceptables respecto a lo que se puede obtener utilizando haluros de materiales de impureza. La fosfina, el diborano y la arsina diluidos con hidrógeno pueden ser obtenidos comercialmente en recipientes que pueden ser conectados al sistema de la figura 3 de manera adecuada, y se dispone de gases que tienen un



alto grado de pureza. Utilizando el proceso del invento ha sido posible conseguir un grado muy elevado de control sobre el valor de resistividad de las películas epitaxiales dopadas resultantes. Ha sido posible formar películas epitaxiales de silicio y de germanio con un valor de resistividad elegido de hasta 1 ohmio-centímetro con una variación máxima de 5% respecto a este valor. Para resistividades incluidas entre 1 y 5 ohmios-centímetro, la variación máxima ha sido del 10% del valor elegido. Estos no son necesariamente los mejores resultados que pueden ser obtenidos pero ilustran verdaderamente la mejora de control de dopado que ha sido conseguida en la actualidad.

En resumen: La Patente de Introducción que se solicita deberá recaer sobre las siguientes

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para depositar una película semiconductora monocristalina procedente de una corriente gaseosa y en dopar la película mediante adición controlada a la corriente de gas de un compuesto de impurezas que es totalmente gaseoso a la temperatura ambiente normal, incluyendo dicho procedimiento las fases que consisten en: hacer pasar encima de un elemento de cristal de material semiconductor una corriente principal de gas portador, inyectar en dicha corriente de gas principal un compuesto gaseoso de dicho material semiconductor a partir del cual el material semiconductor se deposita en dicho elemento de cristal a una temperatura superior a 600°C, extraer una mezcla de un gas diluyente y un compuesto hidruro normalmente gaseoso de una impureza de dopado, de un recipiente de fuente en el cual dicho compuesto hidruro es completamente gaseoso y



5 está diluído por dicho gas diluyente a una concentración baja predeterminada, inyectar dicha mezcla en una corriente de gas diluyente para formar una corriente de gas de dopado diluído, inyectar los gases mezclados procedentes de dicha corriente de gas de dopado diluído en dicha corriente de gas principal con un caudal regulado para controlar el contenido de impurezas de las películas semiconductoras finales, y someter dicho elemento de cristal a una temperatura inferior al punto de fusión de dicho material semiconductor pero suficientemente superior a 600°C para producir el depósito simultáneo del material semiconductor y del material de impurezas procedente de dicha corriente de gas principal sobre dicho elemento de cristal formando así una película semiconductora dopada en dicho elemento de cristal, que prolonga la estructura cristalina del mismo.

15 2.- Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Introducción que se solicita: "PROCEDIMIENTO PARA DEPOSITAR UNA PELICULA SEMICONDUCTORA MONOCRISTALINA".

20 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente Memoria descriptiva que consta de veinte páginas mecanografías y dibujos adjuntos.

Madrid, 18 de Octubre de 1.974
BERNARDO UNGRIA

p.p. 7

25

30

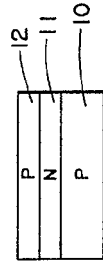


Fig. 1

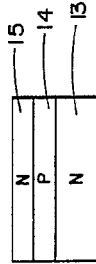


Fig. 2

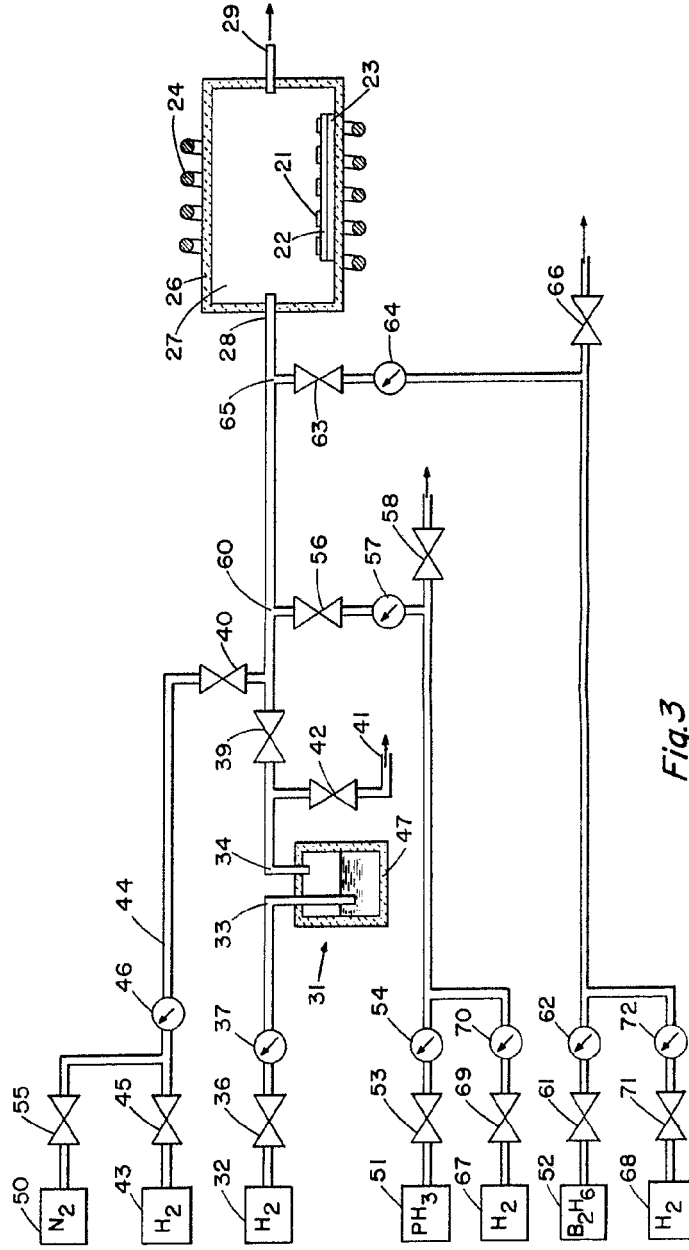


Fig. 3

ESCALA VARIABLE
 ORIO, 18 de Octubre
 BERNAL, ARGENTINA

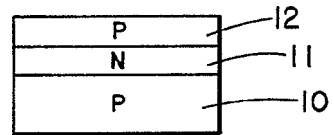


Fig. 1

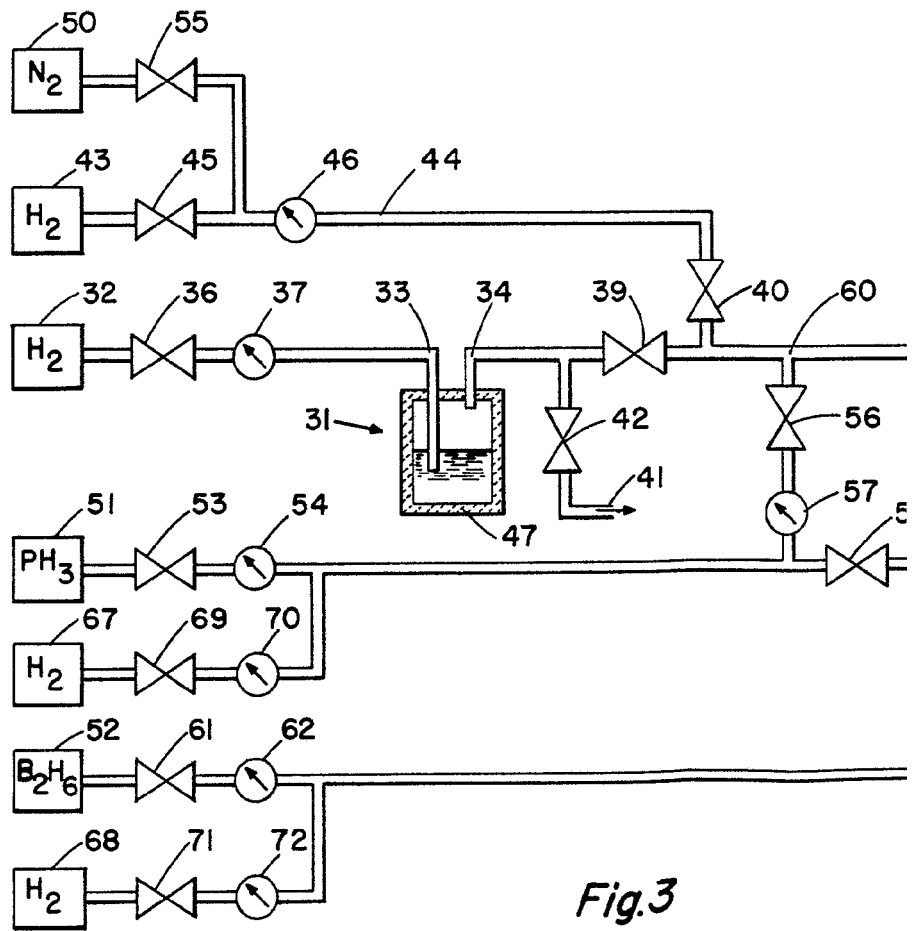
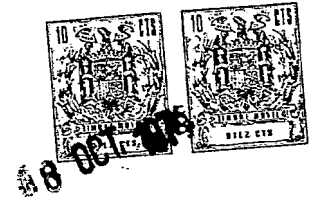


Fig. 3



1
10

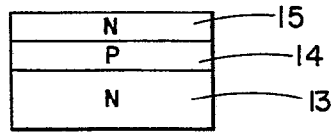
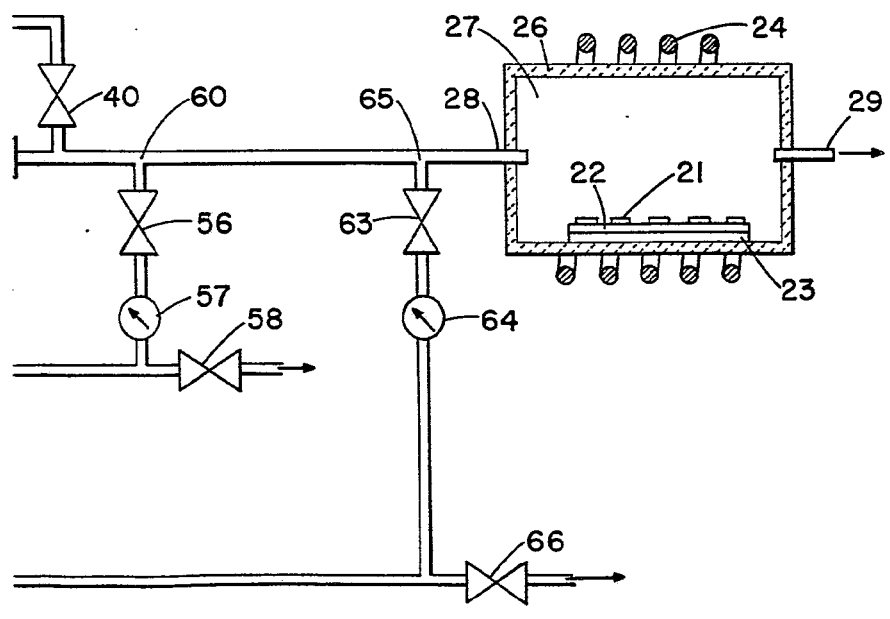


Fig. 2



3

ESCALA VARIABLE
MADRID, 18 DE Octubre DE 1974
BERNARDO UNGRÍA
P. P.

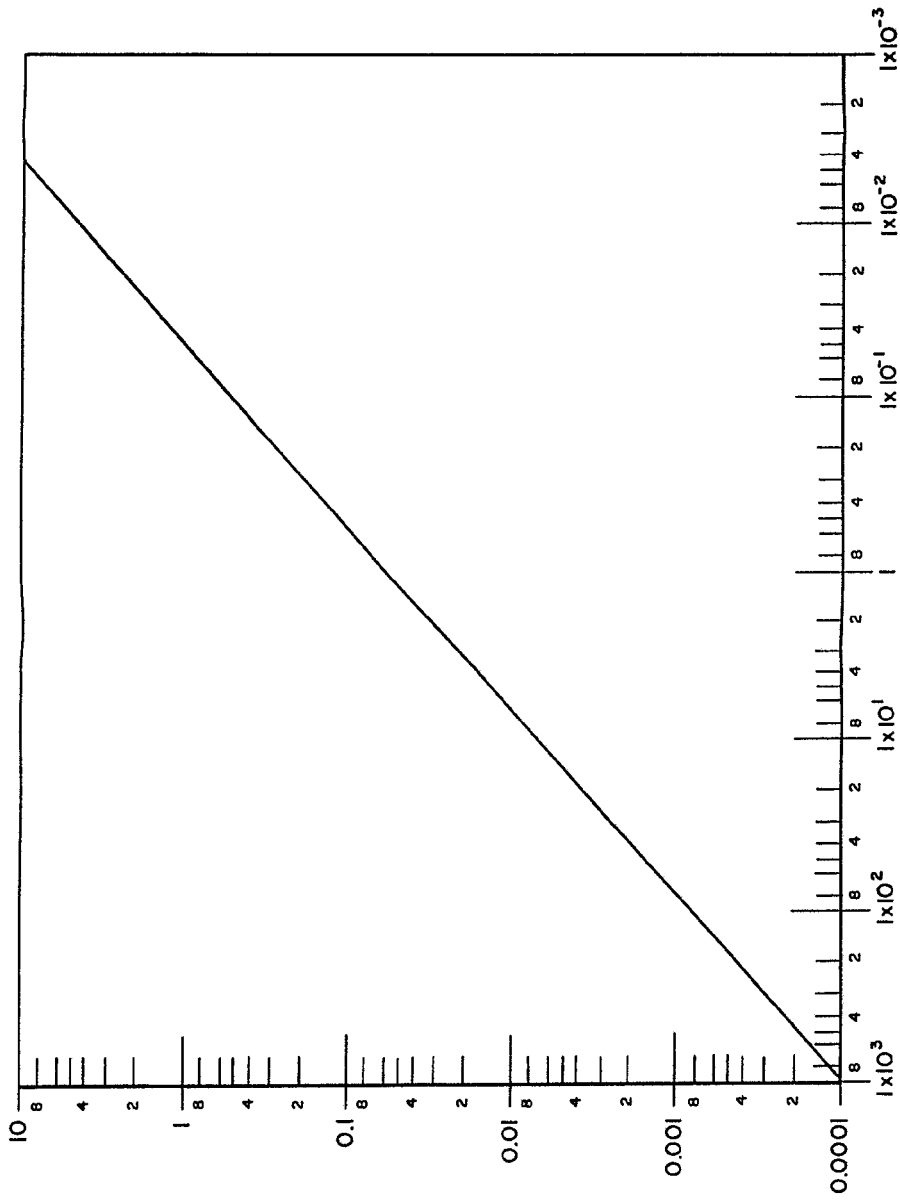


Fig.4

ESCALA VARIABLE
M. P. D. 18 DE Octubre DE 1974
BERNARDO Upegui
P. E.

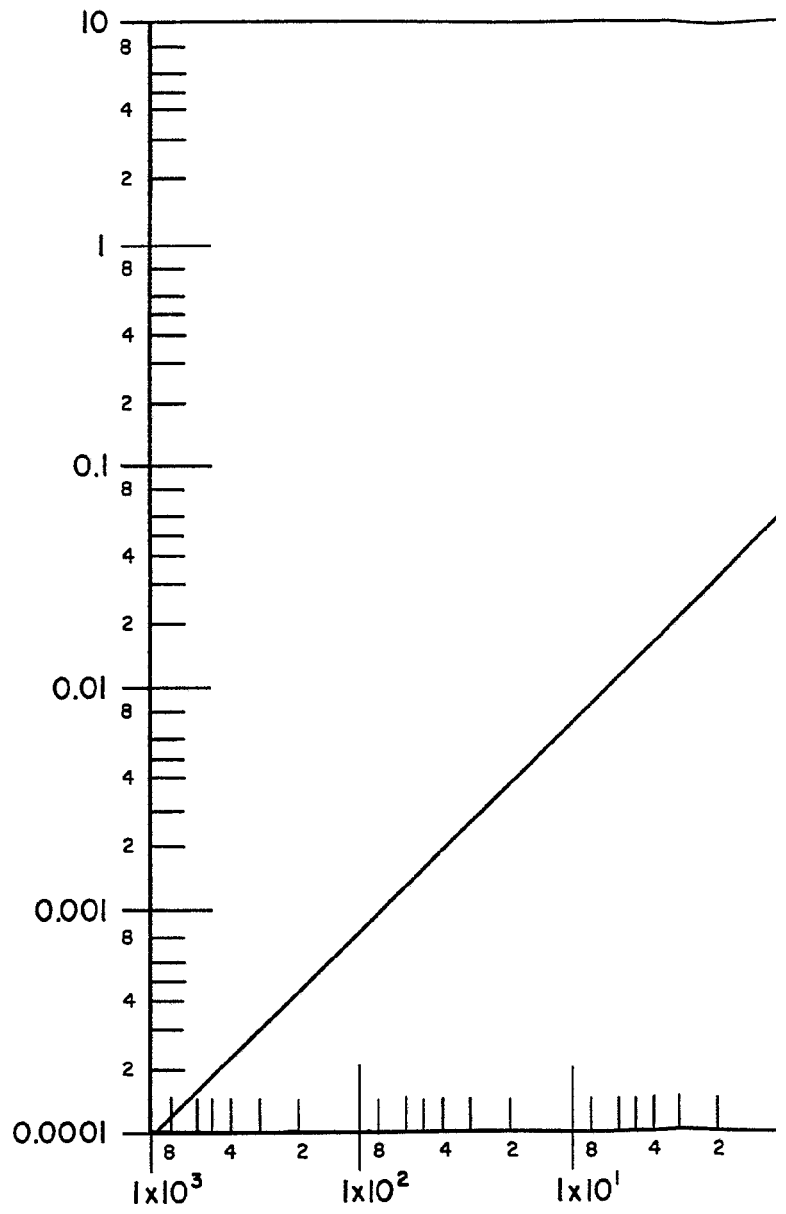


Fig.4

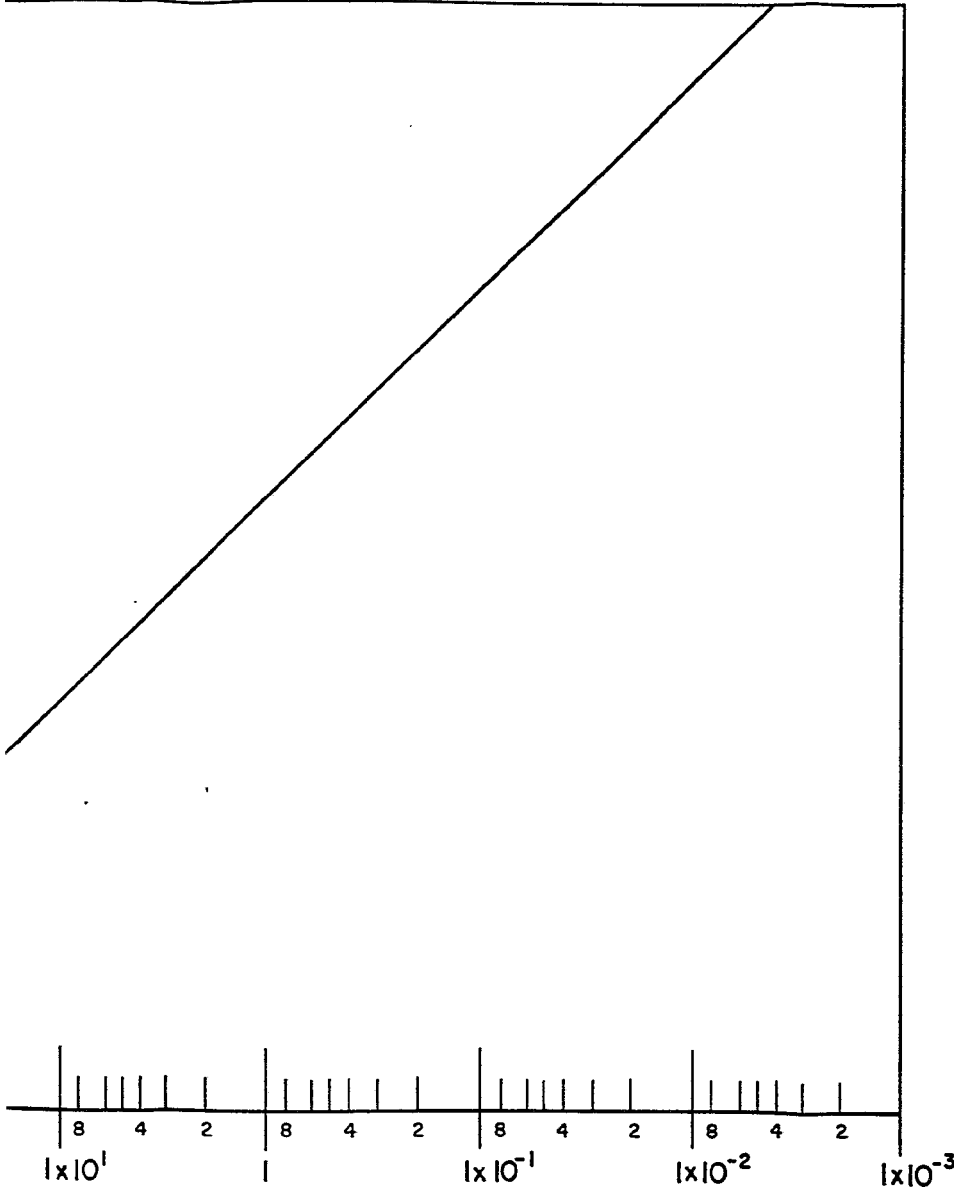
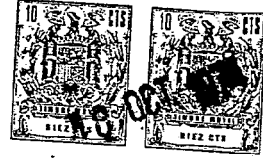


Fig.4

ESCALA VARIABLE
MÁDRID, 18 DE Octubre DE 1974
BERNARDO UNGERÍA
P. E.

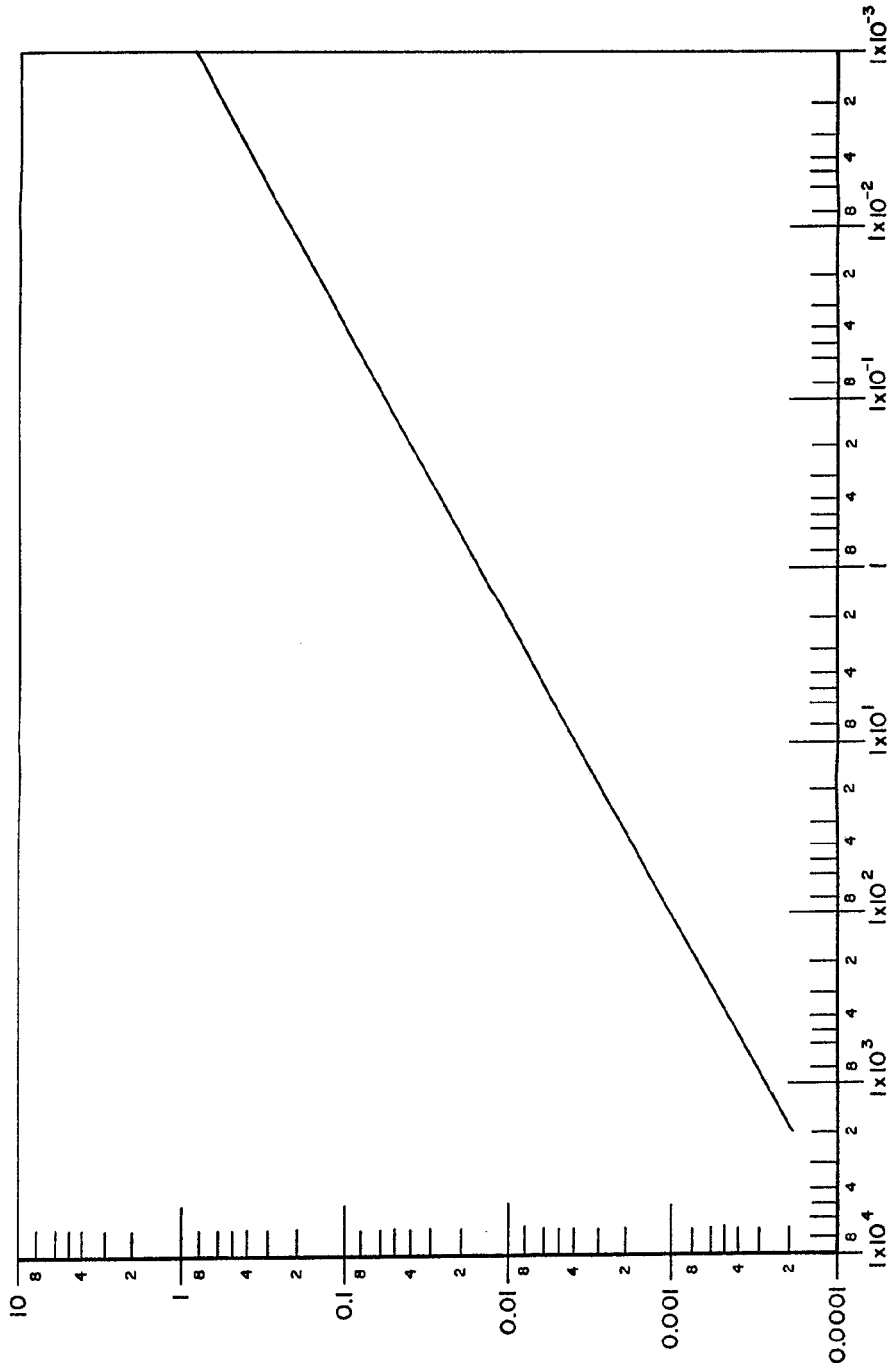
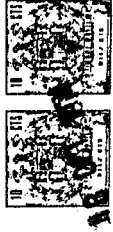


Fig.5

ESCALA VARIABLE
MAY 18 DE Octubre DE 1974
BERNARDO VARGAS
S.P.

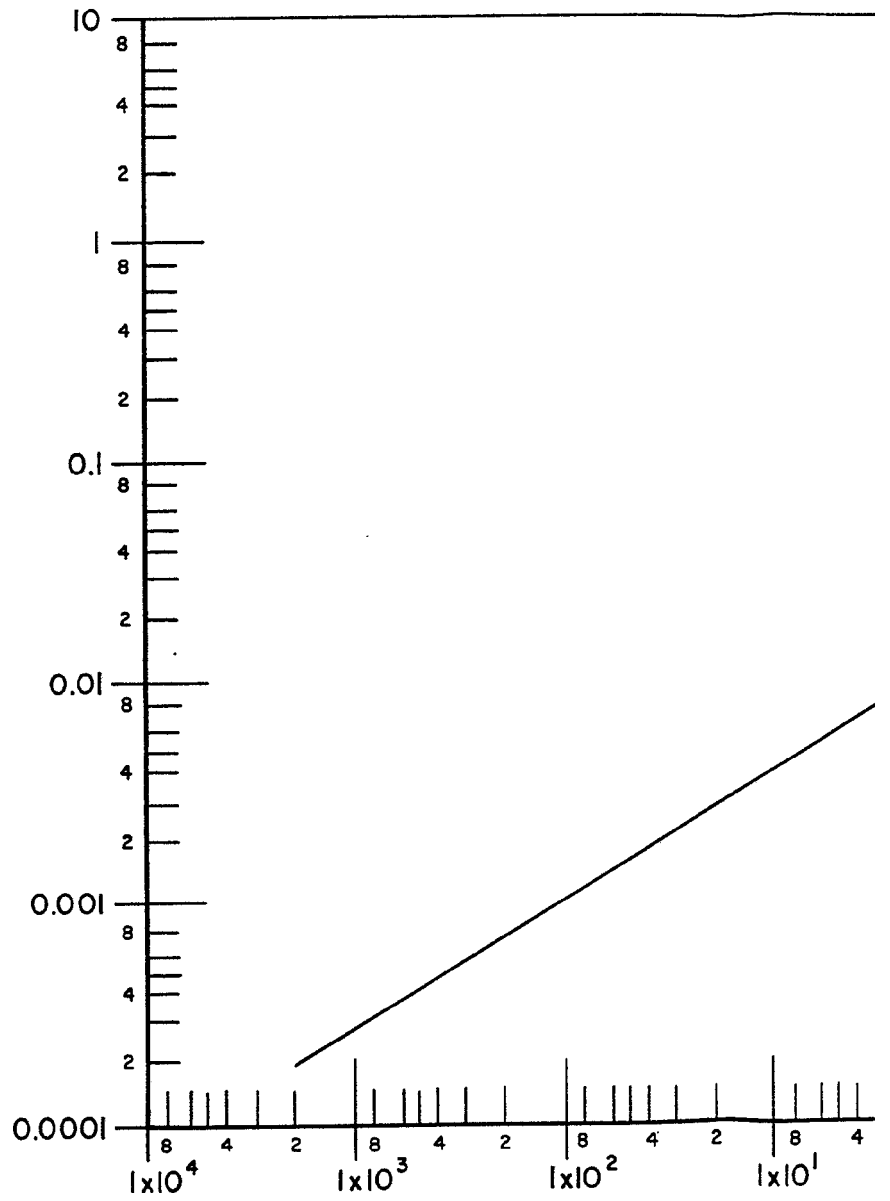


Fig.5

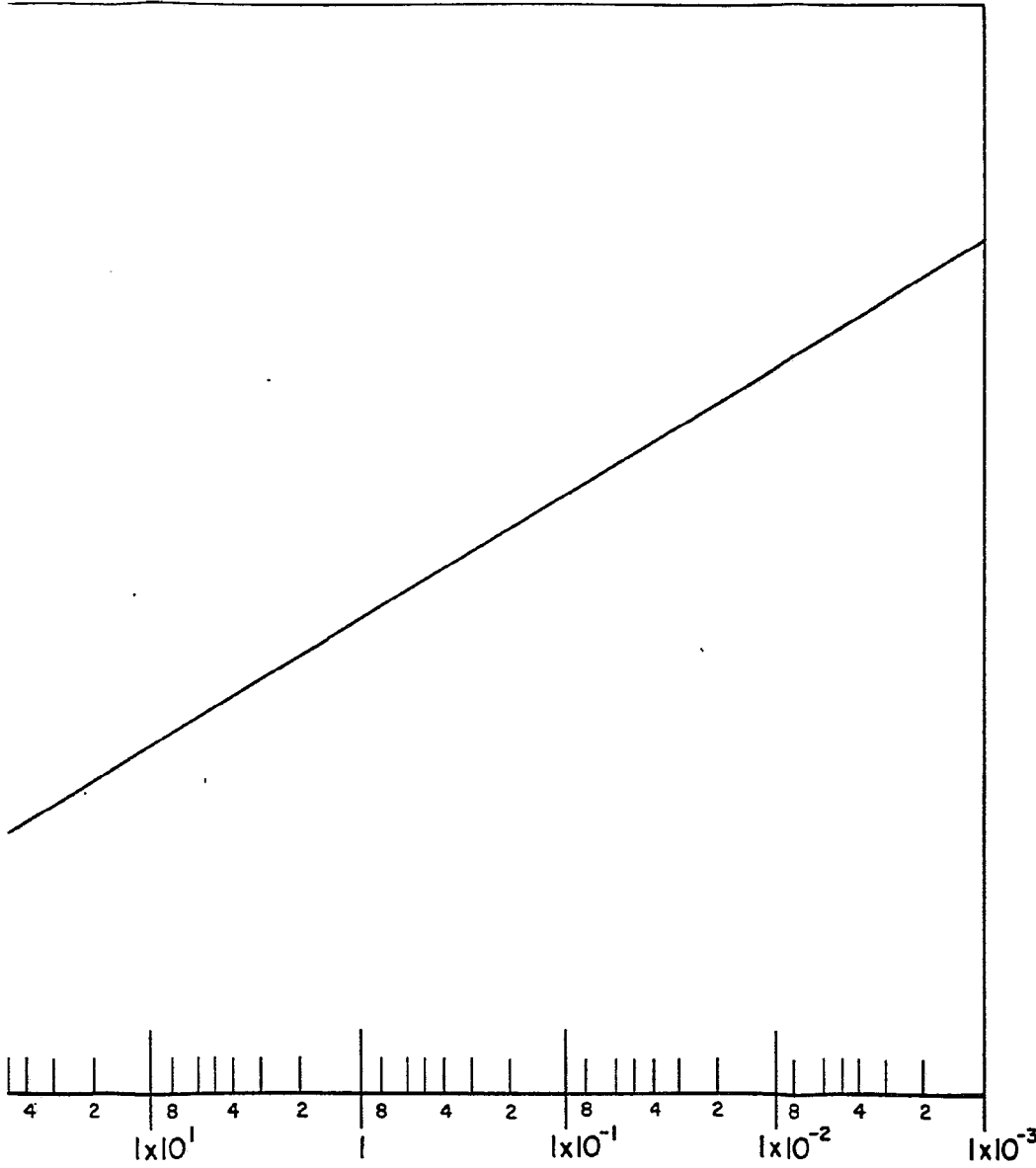


Fig.5

ESCALA VARIABLE
MADRID, 18 DE Octubre DE 1974
BERNARDO URBAIN
P. P.