

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 324**

51 Int. Cl.:
H01L 31/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08849334 .1**
96 Fecha de presentación: **13.11.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2210283**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.07.2010**

54 Título: **MÉTODO PARA LA PRODUCCIÓN DE CÉLULAS SOLARES DE SILICIO CRISTALINO
USANDO UNA CODIFUSIÓN DE BORO Y FÓSFORO.**

30 Prioridad:
13.11.2007 NL 2000999

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
28.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
28.02.2012

73 Titular/es:
**STICHTING ENERGIEONDERZOEK CENTRUM
NEDERLAND
WESTERDUINWEG 3
1755 LE PETTEN, NL**

72 Inventor/es:
**MIHAILETCHI, Valentin Dan y
KOMATSU, Yuji**

74 Agente: **Tomas Gil, Tesifonte Enrique**

ES 2 375 324 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para la producción de células solares de silicio cristalino usando una codifusión de boro y fósforo

- 5 [0001] La presente invención se refiere a la producción de una célula solar usando un sustrato de silicio (Si) cristalino. Un ejemplo de tales células solares son unas células solares n-base emisoras de boro con un campo de lado posterior resultante de una difusión de fósforo.
- 10 [0002] Cuando se requieren dos tipos de procesos de difusión (boro y fósforo), el paso de difusión de boro, de temperatura más alta, es normalmente procesado antes que el paso de difusión de fósforo, de temperatura inferior, ver por ejemplo T.Buck y colaboradores., *Proceedings of 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference* (4-8 de septiembre de 2006, Dresden, Alemania) p.1264-1267. Tal secuencia de proceso requiere una capa protectora especial para bloquear la difusión de fósforo en el lado difundido de boro durante el tiempo del paso de difusión con fósforo. A veces, el boro se difunde desde el estrato difundido de boro hacia esta capa protectora y se reduce cerca de la interfaz.
- 15 Esto causa un aumento de la resistencia de lámina del emisor que conduce a un aumento de la resistencia en serie de la célula solar fabricada a través de este proceso. Además, se requieren pasos de proceso adicionales para eliminar la capa protectora, o las propiedades óptimas de la capa protectora se verán comprometidas si ésta se retiene en el sustrato de silicio (por ejemplo, como recubrimiento de pasivación y antirreflejo).
- 20 [0003] Por otro lado, si el paso de difusión de fósforo es procesado antes del paso de difusión de boro, el lado difundido de fósforo debe ser protegido del boro durante el paso de difusión de boro. Adicionalmente, debe evitarse suficientemente que el fósforo se difunda al lado del boro durante la difusión de fósforo, ya que no puede ser fácilmente compensado por el boro. Adicionalmente, el fósforo se efunde del estrato difundido de fósforo a la temperatura de la difusión de boro, y por lo tanto, el fósforo se difunde junto con el boro en la superficie del estrato difundido de boro. Esto
- 25 dificulta obtener buenas propiedades de los emisores dopados de boro. Debido a estas dificultades, apenas se ha intentado la difusión de fósforo antes de la difusión de boro, o, cuando se ha intentado, no ha sido exitosa en la fabricación de una célula solar.
- [0004] Aunque es posible formar ambas difusiones, tanto de boro como de fósforo al mismo tiempo con algunos métodos, tales como la impresión de cada fuente de difusión en un lateral antes del proceso de difusión, tal método produce una compensación de boro por fósforo al menos en el borde del lado de boro, ya que el fósforo se difunde más rápidamente y es más soluble en silicio, y por lo tanto compensa fácilmente el boro.
- 30 [0005] Se conocen otros métodos en los que se usan difusiones separadas para boro y fósforo con obleas colocadas juntas de dos en dos. Dos lados de dos sustratos se tocan el uno con el otro para dejarlos parcialmente protegidos de la difusión. Esto limitará los problemas de compensación de boro por fósforo y viceversa en el borde de las obleas. No obstante, los bordes de las obleas deben cortarse posteriormente, lo que aumenta significativamente los costes por Wp producido.
- 35 [0006] El artículo de S. Sivonthaman y colaboradores, *Appl. Phys. Lett.* 67(16), 2335 - 2337 (1995) describe un método para producir células solares de silicio. El documento US 5,665,175 divulga un método de emisión para producir células solares de silicio.
- 40 [0007] Es objetivo de la presente invención proporcionar un método de fabricación de una célula solar fuera de un sustrato de Si que usa tanto difusión de boro como de fósforo, en el que al menos se resuelve uno de los problemas mencionados anteriormente.
- 45 [0008] El objetivo se consigue con un método de fabricación de una célula solar de silicio cristalino como se reivindica en la reivindicación 1, comprendiendo sucesivamente:
- 50 - provisión de un sustrato de silicio cristalino con un primer lado y un segundo lado opuesto a dicho primer lado,
 - predifusión de fósforo en dicho primer lado de dicho sustrato para obtener un estrato de fósforo difundido con una profundidad inicial,
 - bloqueo de dicho primer lado de dicho sustrato,
- 55 - exposición de dicho segundo lado de dicho sustrato a una fuente de difusión de boro,
 - calentamiento de dicho sustrato durante un cierto periodo de tiempo y a una cierta temperatura para difundir el boro en dicho segundo lado de dicho sustrato y para difundir simultáneamente dicho fósforo además en dicho sustrato.
- 60 [0009] La presente invención implica estabilizar y reducir el fósforo efundido en la atmósfera durante el proceso de difusión de boro, a través de la difusión del fósforo hasta cierto punto en la superficie antes de la difusión de boro. Esto permite eliminar la fuente de difusión de fósforo antes de la difusión de boro. La cantidad de fósforo efundido desde la fuente de difusión es mayor y más fluctuante que aquella de la superficie de silicio donde el fósforo ya está difundido. Por lo tanto, este proceso mejora la calidad y reproducibilidad de los emisores tipo P de boro difundido. También evita la creación de un borde tipo n en el lado difundido de boro y por lo tanto evita la desviación de la célula solar.
- 65 [0010] En un aspecto, la invención también se refiere a una célula solar fabricada con el método anteriormente descrito

como reivindicado en la reivindicación 16.

[0011] Ventajas y características adicionales de la presente invención se aclararán en base a una descripción de varias formas de realización, en las que se hace referencia a los dibujos anexos, en los que:

5 la figura 1 muestra un ejemplo de la estructura de una célula solar producida con un método según una forma de realización de la invención,
 la figura 2 muestra otro ejemplo en el que un sustrato de silicio tipo P,
 las figuras 3A-3D muestran esquemáticamente pasos de tratamiento para hacer un estrato difundido de P en
 10 un lado de un sustrato,
 las figuras 4A-4F muestran esquemáticamente pasos de tratamiento de un método alternativo para la fabricación de un estrato difundido de P en un lado de un sustrato,
 las figuras 5A-5D muestran esquemáticamente pasos de tratamiento de un posible tercer método para la fabricación del estrato difundido de P en un lado del sustrato,
 15 las figuras 6A, 6B muestran dos configuraciones posibles para bloquear un lado del sustrato durante un paso de de difusión de boro,
 la figura 7 muestra esquemáticamente una configuración dorso contra dorso durante un paso de difusión de boro,
 la figura 8 es un gráfico que muestra la eficiencia medida de células solares producidas con el método según la invención en comparación con células solares del estado de la técnica.

[0012] La figura 1 muestra un ejemplo de la estructura de una célula solar producida con un método según una forma de realización de la invención. Una célula solar 10 comprende un sustrato de silicio tipo n 11 con un estrato difundido de boro 12 en un lado y un estrato difundido de fósforo 13 en el otro lado. Se observa que una estructura de célula solar práctica también tiene contactos metálicos y un recubrimiento antirreflejo, pero estos componentes no se muestran en las figuras. La figura 2 muestra otro ejemplo en el que un sustrato 21 de silicio tipo p se procesa para producir un estrato difundido de fósforo 22 en un lado y un estrato difundido de boro 23 en el otro lado. La célula solar de la figura 1 es la forma de realización preferida porque su rendimiento de dispositivo es mejor que el de la figura 2. En la descripción que aparece a continuación se tratan formas de realización del método de fabricación de la célula solar mostrada en la figura 1 (es decir sustrato tipo n).

[0013] El primer paso de este método es hacer un estrato difundido de P en un lado del sustrato. Según una forma de realización, un sustrato 30 se calienta a 800~900° C durante 5-50 minutos en una atmósfera que incluye un vapor de O₂ y P₂O₅. Luego, todas las superficies del sustrato 30 se cubren con una película 31 de SiO₂ comprendiendo P₂O₅ (de aquí en adelante, SiO₂ : P₂O₅). Este SiO₂ crece a partir del Si del sustrato 30 y oxígeno, y P₂O₅ se incorpora en la película 31 de SiO₂. En la interfaz de silicio 33 y la película 31 de SiO₂ : P₂O₅, el P₂O₅ se reduce a P, y el P se difunde en el núcleo del sustrato 30 (ver núcleo 33 en la figura 3B) hasta una profundidad de 0.01~1:0 μm. Hasta aquí, la película 31 de SiO₂ : P₂O₅ y un estrato difundido P 32 se forman en toda la superficie del sustrato de silicio 30. A continuación, la película 31 de SiO₂ : P₂O₅ se elimina por inmersión del sustrato 30 en una solución de 1~50% HF durante aproximadamente 0.5~10 minutos, o exponiendo el sustrato 30 a un vapor de HF, o por ataque usando grabado iónico reactivo, ver figura 3C. A continuación, el estrato difundido P 32 se ataca, salvo en un lado, usando una solución mezclada de 1~30% de HF y 0.1~50% de HNO₃, o se ataca usando grabado iónico reactivo. El ataque de un lado es posible sellando el otro lado del sustrato 30 con un recubrimiento de bloqueo de ataque o dejando flotar el sustrato 30 en la solución. Como resultado, el sustrato 30 comprende ahora un estrato difundido de P 32' en un lado, ver figura 3D.

[0014] Un método alternativo para la fabricación de un estrato difundido de P en un lado de un sustrato se explica en relación con la figura 4A-4F. Primero, un lado de la superficie de un sustrato 40 se reviste bien con líquido, pasta, o gel 41 que incluye partículas finas de P₂O₅ y SiO₂ con cualquier revestimiento por centrifugado, por pulverización, o impresión, ver figura 4B. Los otros lados del sustrato podrían ser revestidos también, pero esto no influye en el resultado final de este método de fabricación. A continuación, el recubrimiento 41 se calienta a 250~500 °C. El solvente se evapora o evacua cuando incluye materia orgánica. El P₂O₅ y SiO₂ permanece en el recubrimiento, ver figura 4C que muestra un recubrimiento 41'. Entonces, en un paso adicional de calentamiento, el sustrato 40 se calienta a 800~900° C durante 2~50 minutos. Como resultado, todas las superficies están cubiertas con SiO₂ : P₂O₅, ver figura 4D. Oxígeno de la atmósfera, y P₂O₅ desde la primera película de recubrimiento 41' que sale a la atmósfera. El P se difunde en el núcleo de Si como en la figura 3B, y se forman en todas las superficies de sustrato de silicio 40 una película 42 de SiO₂ : P₂O₅ y un estrato difundido de P 43. Ahora, la película 42 de SiO₂ : P₂O₅ se elimina usando una solución de 1~50% de HF o cualquier otro método conocido. El estrato difundido de P se ataca, excepto el lado anteriormente revestido, usando solución mezclada de 1~30% de HF y 0.1~50% de HNO₃, o grabado iónico reactivo. Un ataque de un lado es posible

sellando el otro lado con recubrimiento de bloqueo de ataque o dejando flotar el sustrato en la solución. El resultado se muestra en la figura 4F que representa el sustrato 40 con un estrato difundido de P 44 en un lado.

[0015] Un posible tercer método para la fabricación del estrato difundido de P en un lado del sustrato se explica en relación con la figura 5A-5D. Primero se bloquea un lado de un sustrato 50 usando un estrato de bloqueo de difusión en un lado, ver estrato de bloqueo 51. El estrato de bloqueo 51 puede estar formado usando procesos diferentes catalogados a continuación:

- revestir la superficie bien con un líquido, pasta, o gel que incluye SiO_2 o TiO_2 o algo que no se difunda en el silicio por revestimiento de centrifugado o de pulverización o impresión. Calentar el recubrimiento a $200\sim 700^\circ\text{C}$, luego el solvente se evapora.
- Calentar el sustrato 50 a $850\sim 1100^\circ\text{C}$ en una atmósfera de O_2 o $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ durante $0.5 \sim$ varias horas. Luego se forma una película de SiO_2 que es más espesa que $0.1\mu\text{m}$ en todas las superficies. Eliminar la película en un solo lado por inmersión del sustrato 50 en una solución de $1\sim 10\%$ de HF.
- Depositar el SiO_2 o SiN o TiO_2 con un espesor de $>0.1 \mu\text{m}$ o algo parecido usando deposición química de vapor.

[0016] En un siguiente paso, el P se difunde en un núcleo de Si 54 usando el método como se describe en relación con la figura 3B o 4D. Se forma un estrato 52 de $\text{SiO}_2 : \text{P}_2\text{O}_5$ y el P se difunde, pero el estrato de bloqueo 51 previene que el P se difunda en el núcleo de Si 54 en un lado, ver figura 5C. A continuación, el estrato 52 de $\text{SiO}_2 : \text{P}_2\text{O}_5$ y el estrato de bloqueo 51 se eliminan por inmersión del sustrato 50 en una solución de $1\sim 50\%$ de HF.

[0017] Según otra forma de realización, la difusión de P en un solo lado del sustrato se consigue usando un método de difusión dorso contra dorso en el que dos sustratos están en contacto el uno con el otro en su superficie.

Después de la predifusión de fósforo en el primer lado del sustrato, que se ha descrito anteriormente, ese mismo primer lado del sustrato se bloquea antes de que el sustrato se meta en un horno para tratamiento posterior. En una forma de realización, el primer lado 61 del sustrato 60 se bloquea con un primer lado 62 de otro sustrato 63. Este otro sustrato puede ser un sustrato procesado de forma similar, ver figura 6A. Esta manera de bloqueo se denomina como dorso contra dorso. Una de las ventajas de una configuración dorso contra dorso es que se requiere menos espacio en el horno en comparación con el bloqueo individual de cada sustrato. Además, la fuga de fósforo desde el primer lado 61 se previene de forma más eficaz debido a que el sustrato opuesto también tiene concentración de fósforo alta, que mantiene la concentración de fósforo en mejor estado. La figura 6 B muestra una alternativa en la que el sustrato 60 se bloquea con un sustrato 65 que aún no está procesado (es decir, un sustrato fresco).

[0018] En el horno, el segundo lado del sustrato se expone a una fuente de difusión de boro. Esta fuente de difusión de boro puede ser una fuente de vapor o una fuente de recubrimiento. En el horno, el sustrato se calienta por un cierto periodo de tiempo y a una cierta temperatura para difundir el boro en el segundo lado del sustrato y para difundir simultáneamente el fósforo además en dicho sustrato (es decir, a más profundidad que dicha profundidad inicial). Se han logrado resultados exitosos con una fuente de vapor de boro para la difusión. A continuación, se describe una descripción específica de una forma de realización con referencia a la figura 7. Dos sustratos 70, 71 se ponen dorso contra dorso en el horno y se calientan a $900\sim 1000^\circ\text{C}$ durante $30\sim 120$ minutos en una atmósfera incluyendo un vapor de O_2 y B_2O_3 , que puede ser producido por conducción de N_2 a través de líquido BBr_3 . También pueden usarse otras fuentes líquidas de boro como BCl_3 o trimetilborato en vez de BBr_3 . Luego, las superficies expuestas (es decir, aquellas que no están bloqueadas) se cubren con una película 72 de SiO_2 que incluye B_2O_3 (de aquí en adelante, $\text{SiO}_2 : \text{B}_2\text{O}_3$). En las interfaces de núcleos de Si 70, 71 y la película 72 de $\text{SiO}_2 : \text{B}_2\text{O}_3$, el B se difunde en el Si hasta la profundidad de $0.01\sim 1.0 \mu\text{m}$ para obtener los estratos difundidos de B 73, 74. Parte del B_2O_3 puede entrar en el pequeño espacio entre los sustratos 70, 71, pero el impacto es muy pequeño debido a la existencia del P difundido pesadamente en esas áreas. Simultáneamente, el P presente en los estratos difundidos de P 76, 77 también se difunden en los núcleos de Si respectivos 70, 71 conducidos por el calor usado. Éste resultará en estratos difundidos de P que son más profundos que su profundidad original.

[0019] La difusión de boro del ejemplo de la figura 7 usó difusión de fuente de vapor, quedará claro para al experto en la materia que este método es también eficaz en el caso de una difusión de fuente de recubrimiento como se ha descrito en el paso de difusión de fósforo de las figuras 4A-4F.

[0020] La combinación de una predifusión de fósforo con una difusión adicional durante la difusión simultánea de boro y fósforo, conduce a una célula solar con propiedades óptimas, como se puede observar en la figura 8. La figura 8 muestra un gráfico de valores de rendimientos de célula solar fabricada en sustratos multicristalinos tipo n usando el nuevo método (como presentado aquí) y el método del estado de la técnica (ver por ejemplo T.Buck y colaboradores, *Proceedings of 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference* (4-8 de septiembre de 2006, Dresden, Alemania)

p.1264-1267).

5 [0021] Como una consecuencia del método de fabricación anteriormente descrito, el fósforo está difundido más profundamente que, cuando el fósforo está difundido individualmente (no en una difusión simultánea con boro). Cuando se usa la invención, una concentración de fósforo de 0.5 μm de profundidad en el sustrato puede ser más de 100 veces superior que la de 5 μm de profundidad.

10 [0022] En el método según la invención, el fósforo también se puede difundir en el silicio en el lado del boro, ya que una pequeña cantidad de fósforo se difundirá del lado de fósforo al lado opuesto (es decir, el lado difundido de boro). No obstante, en el lado del boro, la cantidad del fósforo difundido es más pequeña que la del boro difundido, y el estrato difundido puede satisfacer fácilmente las condiciones apropiadas para un emisor tipo p.

15 [0023] La cantidad de fósforo difundido sigue siendo más grande que la impurificación básica del sustrato. La concentración de fósforo a 0.2 μm de profundidad puede ser más de 100 veces superior que la de 5 μm de profundidad.

[0024] La invención permite la fabricación de un perfil de impurificación de boro que satisface las condiciones requeridas para un emisor, sin permitir la difusión de mayor cantidad de fósforo que de boro en el lado difundido de boro y sin permitir la difusión de mayor cantidad de boro que de fósforo en el lado difundido de fósforo.

20 [0025] Será entendido que se darán variantes al leer el texto anterior los expertos en la técnica. Esas variantes se consideran dentro del campo de la invención como se describe en las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de una célula solar de silicio cristalino, comprendiendo en secuencia:
 - 5 - provisión de sustrato de silicio cristalino con un primer lado y un segundo lado opuesto a dicho primer lado,
 - predifusión de fósforo en dicho primer lado de dicho sustrato que da una película comprendiendo SiO_2 y P_2O_5 y un estrato de fósforo difundido con una profundidad inicial,
 - eliminación de dicha película de $\text{SiO}_2 : \text{P}_2\text{O}_5$ de todos los lados de dicho sustrato,
 - bloqueo de dicho primer lado de dicho sustrato,
 - 10 - exposición de dicho segundo lado de dicho sustrato a una fuente de difusión de boro,
 - calentamiento de dicho sustrato durante cierto periodo de tiempo y a una cierta temperatura para difundir el boro en dicho segundo lado de dicho sustrato y para difundir simultáneamente dicho fósforo además en dicho sustrato.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, donde dicha predifusión de fósforo en un primer lado de dicho sustrato comprende:
 - calentamiento de dicho sustrato en una atmósfera que incluye O_2 y P_2O_5 para producir la película comprendiendo SiO_2 y P_2O_5 , y un estrato intermedio de fósforo difundido, en todos los lados de dicho sustrato,
 - ataque de dicho estrato de fósforo difundido a excepción de dicho primer lado.
- 20 3. Método según la reivindicación 1, donde dicha predifusión de fósforo en un primer lado de dicho sustrato comprende:
 - formación de un recubrimiento en dicho primer lado usando un método de serigrafía, un método de centrifugado en un solo lado, o un método de pulverización en un solo lado, comprendiendo dicho recubrimiento P_2O_5 y SiO_2 ,
 - calentamiento de dicho sustrato para producir la película comprendiendo SiO_2 y P_2O_5 , y un estrato intermedio de fósforo difundido, en todos los lados de dicho sustrato,
 - ataque de dicho estrato de fósforo difundido a excepción del dicho primer lado.
- 25 4. Método según la reivindicación 1, donde dicha predifusión de fósforo en un primer lado de dicho sustrato comprende:
 - bloqueo de dicho segundo lado de dicho sustrato,
 - calentamiento de dicho sustrato en una atmósfera incluyendo O_2 y P_2O_5 para producir la película comprendiendo SiO_2 y P_2O_5 , y un estrato intermedio de fósforo difundido, en todos los lados de dicho sustrato,
- 30 5. Método según la reivindicación 1, donde dicha predifusión de fósforo en un primer lado de dicho sustrato comprende:
 - bloqueo de dicho segundo lado de dicho sustrato,
 - formación de un recubrimiento en dicho primer lado usando un método de serigrafía, un método de centrifugado en un solo lado, o un método de pulverización en un solo lado, comprendiendo dicho recubrimiento P_2O_5 y SiO_2 ,
 - calentamiento de dicho sustrato para producir la película comprendiendo SiO_2 y P_2O_5 , y un estrato de fósforo difundido en todos los lados de dicho sustrato,
- 35 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2-5, donde el calentamiento de dicho sustrato se realiza a una temperatura de 800~900°C.
- 40 7. Método según las reivindicaciones 4 o 5, donde dicho segundo lado de dicho sustrato se bloquea vía formación de un estrato de bloqueo de difusión en dicho segundo lado.
- 45 8. Método según las reivindicaciones 4 o 5, donde dicho segundo lado de dicho sustrato se bloquea por otro sustrato.
- 50 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicho primer lado de dicho sustrato se bloquea por un primer lado de otro sustrato.
- 55 10. Método según la reivindicación 9, donde dicho otro sustrato comprende un sustrato procesado, que en el momento de dicho bloqueo, está procesado de forma similar a dicho sustrato.
- 60 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5 o 7-8, donde dicho primer lado de dicho sustrato se bloquea vía revestimiento de dicho primer lado de dicho sustrato con un estrato de recubrimiento.

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde dicha exposición de dicho segundo lado de dicho sustrato a una fuente de difusión de boro comprende exponer dicho sustrato a una atmósfera que incluye O_2 y B_2O_3 .
- 5
13. Método según la reivindicación 12, donde dicho cierto periodo de tiempo se encuentra entre 30-120 minutos.
14. Método según la reivindicación 12 o 13, donde dicha cierta temperatura se encuentra entre 900-1000 °C.
- 10
15. Método según la reivindicación 12 o 13, donde dicho B_2O_3 se produce por conducción de N_2 a través de un líquido BBr_3 .
- 15
16. Célula solar fabricada por un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada por el hecho de que** una concentración de fósforo de 0.5 μm de profundidad de dicho primer lado en dicho sustrato es más de 100 veces superior que la concentración de fósforo de 5 μm de profundidad de dicho lado.
17. Célula solar según la reivindicación 16, donde la concentración de fósforo de 0.2 μm de profundidad de dicho segundo lado en dicho sustrato es más de 100 veces superior a la concentración de fósforo de 5 μm de profundidad de dicho lado.

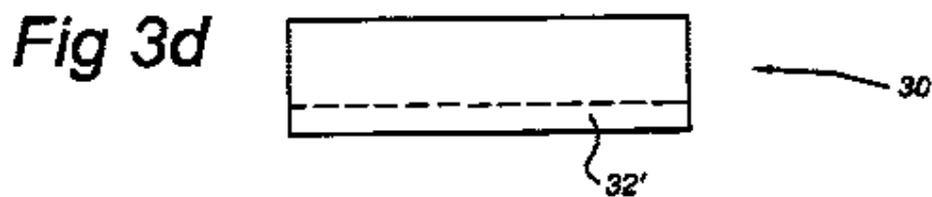
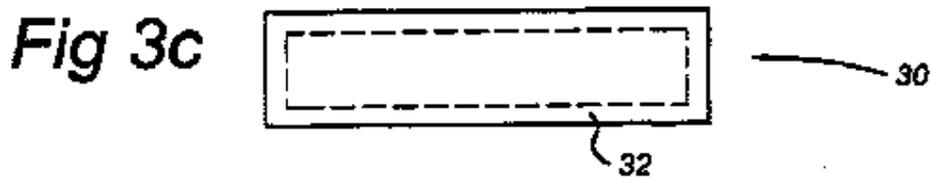
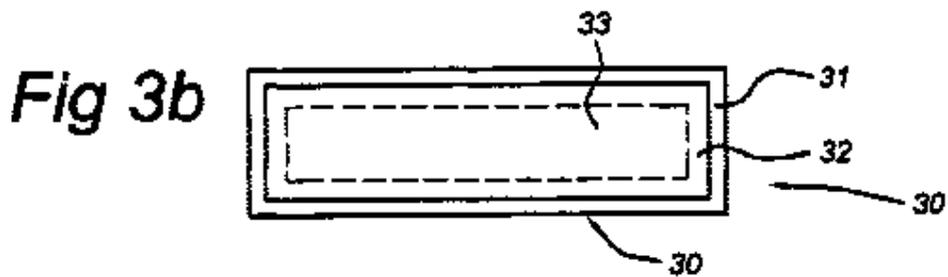
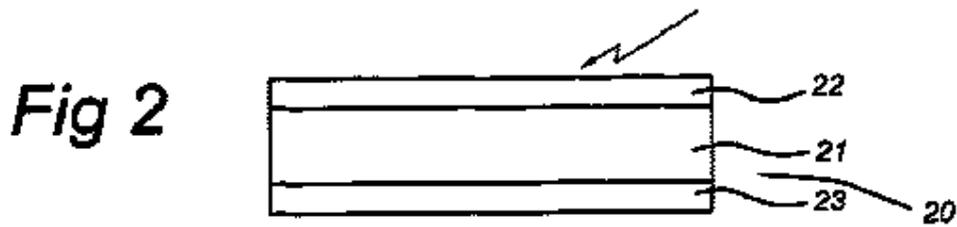
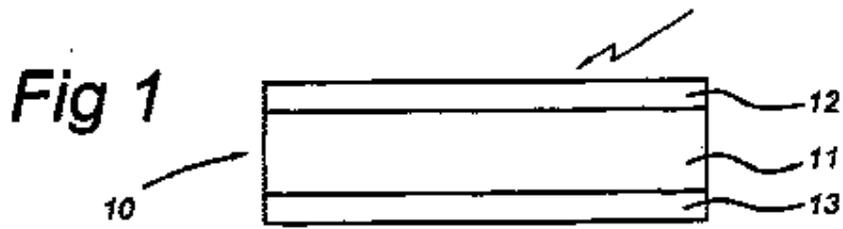


Fig 4a



Fig 4b

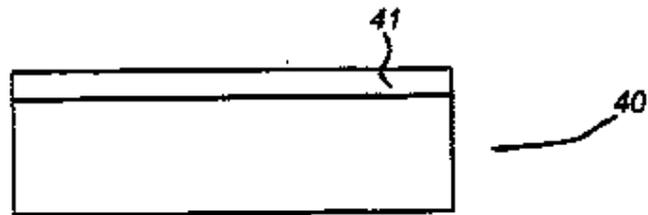


Fig 4c

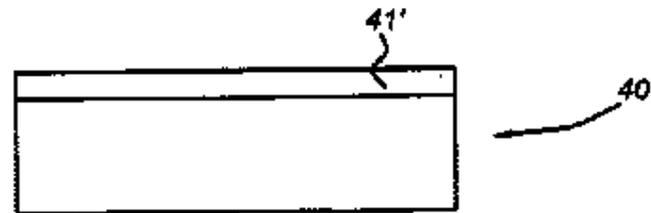


Fig 4d

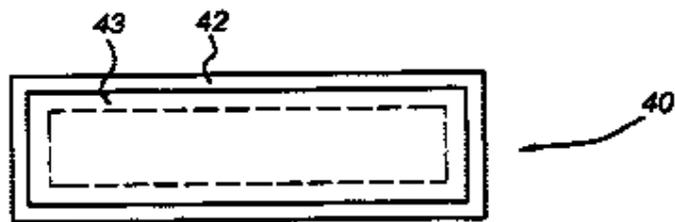


Fig 4e



Fig 4f



Fig 5a



Fig 5b

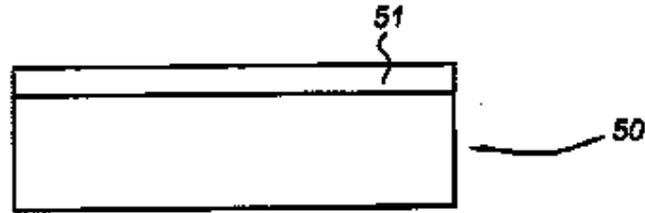


Fig 5c

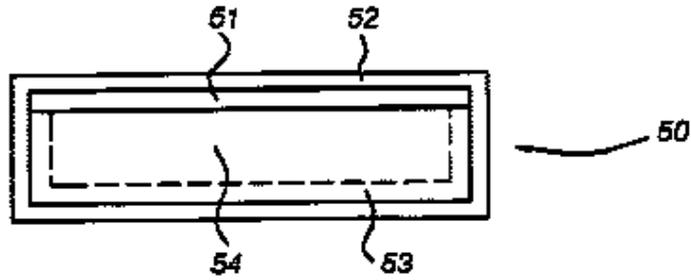


Fig 5d

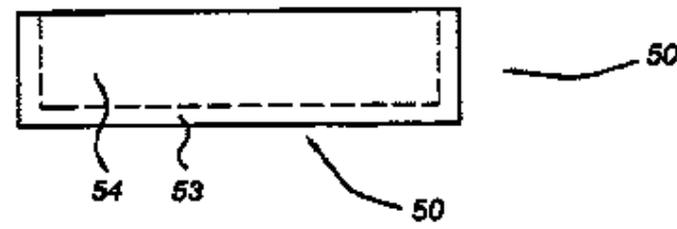


Fig 6a



Fig 6b

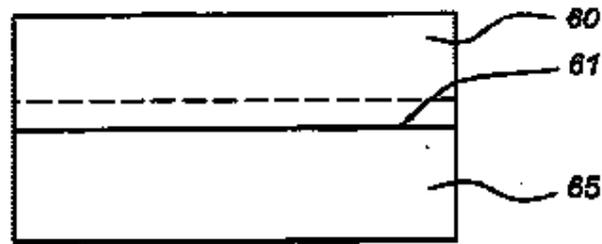


Fig 7

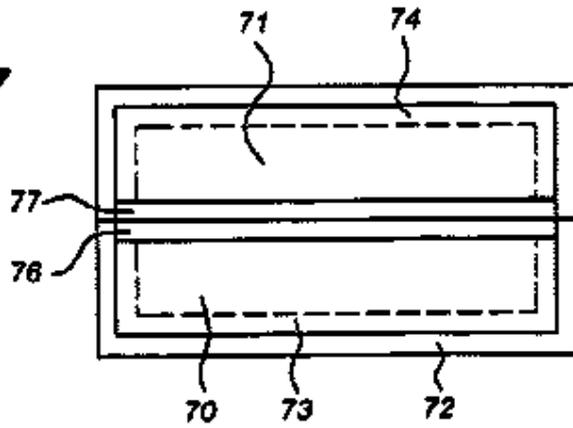


Fig 8

