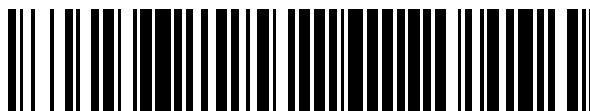


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 755 487**

51 Int. Cl.:

A61N 1/05 (2006.01)

A61N 1/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2016 PCT/EP2016/057492**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.10.2016 WO16165988**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2016 E 16715283 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2019 EP 3283163**

54 Título: **Circuito de celdas de píxeles e implante**

30 Prioridad:

15.04.2015 EP 15305563

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

22.04.2020

73 Titular/es:

**PIXIUM VISION (25.0%)
74 Rue du Faubourg Saint-Antoine
75012 Paris, FR;
SORBONNE UNIVERSITE (25.0%);
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (CNRS) (25.0%) y
INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA
RECHERCHE MÉDICALE (INSERM) (25.0%)**

72 Inventor/es:

**MATOLIN, DANIEL;
POSCH, CHRISTOPH y
BENOSMAN, BENJAMIN RYAD**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 755 487 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

Circuito de celdas de píxeles e implante

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a disposiciones de microelectrónica, en particular, a una matriz de píxeles fotosensibles y a un implante con dicha matriz de píxeles.

10 Estado de la técnica

Se conocen sistemas de implantes retinianos, que pueden restaurar al menos parcialmente la visión a pacientes que han perdido la vista, por ejemplo, a través de enfermedades degenerativas como la retinitis pigmentosa. La visión puede restaurarse al menos en cierto grado con un implante explotando el hecho de que el tejido degenerado de la retina puede evitarse y que las células de la retina restantes pueden estimularse eléctricamente. Esta estimulación eléctrica se puede proporcionar por medio de un sistema de implante. Es bien sabido que el tejido neural puede ser estimulado y activado artificialmente por implantes que transmiten pulsos de corriente eléctrica a través de electrodos a las células neuronales. El paso de la corriente provoca cambios en los potenciales eléctricos a través de las membranas de las células neuronales, que pueden iniciar potenciales de acción neuronales, que son los medios de transferencia de información en el sistema nervioso. En función de este mecanismo, es posible introducir información en el sistema nervioso codificando la información sensorial como una secuencia de pulsos eléctricos que se transmiten al sistema nervioso mediante el sistema de implante. De esta manera, es posible proporcionar sensaciones generadas artificialmente, incluida la visión. Dicho sistema típicamente comprende una disposición montada en la cabeza (por ejemplo, en forma de gafas), que se coloca delante del ojo de un paciente y un implante, en particular, un implante subretiniano, que comprende una pluralidad de electrodos.

En esas gafas, normalmente se proporciona una cámara. La cámara está adaptada para capturar la escena visual frente al paciente. Esta información capturada de la escena es procesada por un ordenador y convertida en una señal de pulsos de luz relacionada. El implante está adaptado para recibir esos pulsos de luz y, en respuesta, para convertir la luz en corriente eléctrica que estimula las células residuales en la retina.

Para ese propósito, el implante comprende una serie de píxeles aislados eléctricamente, en donde cada píxel comprende uno o más elementos fotosensibles tales como fotodiodos y un electrodo estimulante. Los elementos fotosensibles reciben los pulsos de luz y convierten la información transportada por la entrada de luz en señales eléctricas que se transmiten a los electrodos.

Un ejemplo de implante de retina que incluye una matriz de píxeles fotosensibles se describe en Mathieson et al., "Photovoltaic retinal prosthesis with high pixel density", Nat Photon, vol. 6, págs. 391- 397, 2012. En dicho sistema, el implante incluye una serie de celdas de píxeles, cada celda de píxeles implementa un circuito de microelectrónica con una matriz de píxeles del receptor óptico de elementos fotodiodos para convertir la luz pulsada de infrarrojo cercano (~ 900 nm) recibida en pulsos bifásicos de corriente eléctrica capaces de estimular las neuronas retinianas. Aunque una matriz de celdas de píxeles se puede limitar a una sola celda, generalmente incluirá varios circuitos de celdas de píxeles que corresponden a una resolución espacial deseada para la estimulación del tejido del ojo.

Para mejorar el rendimiento de estos implantes, incluida la matriz de píxeles fotosensibles, por ejemplo, al aumentar la calidad de la estimulación de la retina, resolución temporal o espacial, agudeza visual, etc... se ha propuesto aumentar la velocidad de repetición de pulsos de luz alcanzable más allá de las velocidades del estado de la técnica de aproximadamente 30 Hz, posiblemente hacia la resolución temporal nativa de células retinianas del orden de 1000 Hz o más.

Los elementos sensibles a la luz (o fotosensibles) en las implementaciones de microelectrónica de los implantes retinianos del estado de la técnica se realizan en forma de fotodiodos semiconductores. El circuito eléctrico compuesto por los electrodos de estimulación y los fotodiodos conlleva capacitancias (parásitas) que se cargan y descargan alternativamente por las corrientes que entran y salen de estas capacitancias. La fase de carga (cuando el pulso de luz se enciende) depende de la fotocorriente inducida por la luz, mientras que la descarga (la luz está apagada) depende de las corrientes que fluyen a través de la trayectoria de alta impedancia a través del tejido hasta un electrodo de retorno. Debido a esta impedancia que limita las corrientes de descarga a valores mucho más pequeños que las fotocorrientes, el tiempo de descarga puede ser largo en comparación con el tiempo de carga.

Una descarga incompleta en el momento en que otro pulso de luz de estimulación llega al mismo píxel del implante disminuye la inyección de carga alcanzable de este segundo pulso de estimulación y, por lo tanto, limita la eficiencia de estimulación del píxel del implante. Como consecuencia, la velocidad de repetición de los pulsos de luz de estimulación enviados a un píxel del implante se limita si se mantiene una cierta eficiencia mínima de estimulación, impactando en la resolución temporal alcanzable de la estimulación. (véase Loudin et al., 2011, IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems, 5, 468-480). Parece que en realidad, la corriente fotovoltaica (y, por lo tanto, la eficiencia de la estimulación) disminuye exponencialmente al aumentar la frecuencia de los pulsos de luz (Loudin et

al., 2011, supra). Para acelerar la descarga del electrodo entre los pulsos de luz y de esta manera evitar la acumulación de carga y la disminución asociada de corriente con pulsos consecutivos, se ha propuesto agregar un resistor de derivación. Por ejemplo, Wang et al. (2012, J. Neural Eng., 9, 1-11) describen que la adición de un resistor de derivación ayudará a acelerar la fase de descarga de la forma de onda de estimulación o Loudin et al. (2011, IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems, 5, 468-480) sugieren el uso de un resistor de derivación para circuitos de fotodiodos en prótesis retinianas. El resistor de derivación permite que la carga suministrada durante la primera fase del pulso de luz se descargue más rápidamente, pero también afecta a la carga, que en realidad se suministra al tejido. Se ha demostrado, por ejemplo, que si la resistencia del resistor de derivación es demasiado alta, los electrodos no se descargarán completamente entre los pulsos y que la acumulación de carga en el electrodo reducirá la cantidad de la carga suministrada durante los pulsos sucesivos. Como resultado, existe una compensación entre la eficiencia de estimulación alcanzable y la resolución temporal de la estimulación siempre que se use un resistor de valor fijo como dispositivo de derivación. Como consecuencia, en implementaciones del estado de la técnica, el valor del resistor de derivación está optimizado para un cierto compromiso entre estos dos parámetros en conflicto. (Boinagrov et al., Photovoltaic Pixels for Neural Stimulation: Circuit Models and Performance, enero de 2015, IEEE Transactions on Biomedical Circuits and System).

Por lo tanto, sigue existiendo la necesidad de proporcionar un circuito de celdas de píxeles mejorado e implantes, tales como implantes visuales fotovoltaicos, que incorporen el mismo que aborden los inconvenientes descritos anteriormente y que permitan la estimulación con velocidades de pulsos de luz superiores a aproximadamente 30 Hz, más específicamente más allá de aproximadamente 50 Hz, e incluso más específicamente más allá de aproximadamente 100 Hz sin disminuir la eficacia de estimulación del electrodo. En otras palabras, existe la necesidad de acuerdos de microelectrónica que rompan la interdependencia perjudicial entre la velocidad de repetición del pulso de estimulación alcanzable y la eficiencia de la estimulación.

25 Objeto de la invención

Por lo tanto, es un objeto específico de la presente invención proporcionar un circuito de celdas de píxeles optimizado con respecto a las velocidades de repetición de pulsos de luz que aborde esta necesidad. El enfoque adoptado para lograr este objetivo es reemplazar el resistor de derivación de valor fijo con una resistencia variable que se adapta automáticamente a su resistencia dependiendo del estado del proceso de estimulación.

La presente invención proporciona además un implante, como el implante visual, incorporando o implementando dicho circuito optimizado de celdas de píxeles.

El problema se resuelve según la invención con un circuito de celdas de píxeles según la reivindicación 1 independiente. Los desarrollos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Preferentemente, la presente invención proporciona un circuito de celdas de píxeles que puede funcionar con velocidades de pulsos de luz superiores a aproximadamente 30 Hz, más específicamente, más allá de aproximadamente 50 Hz, e incluso más específicamente, más allá de aproximadamente 100 Hz.

La presente invención proporciona además un implante, como el implante visual, incorporando o implementando dicho circuito de celdas de píxeles que puede funcionar con velocidades de pulsos de luz más allá de aproximadamente 30 Hz, más específicamente, más allá de aproximadamente 50 Hz, e incluso más específicamente, más allá de aproximadamente 100 Hz.

La presente invención proporciona además un circuito de celdas de píxeles e implantes, como implantes visuales que incorporan o implementan los mismos, que puede funcionar con velocidades de pulsos de luz de aproximadamente 1000 Hz.

según una realización de la presente invención, se proporciona un circuito de celdas de píxeles que comprende uno o más elementos fotosensibles principales, al menos un electrodo, preferentemente, un electrodo estimulante y una disposición de derivación que comprende:

(i) un interruptor de derivación acoplado eléctricamente en paralelo a través del uno o más elementos fotosensibles principales, y

(ii) una disposición de control operativamente acoplada al interruptor de derivación y configurada para colocar el interruptor de derivación en un estado abierto en respuesta a la luz incidente recibida en la celda de píxeles y colocar el interruptor de derivación en un estado cerrado si no se recibe luz incidente en la celda de píxeles.

Los inventores ahora han demostrado que el uso de una disposición de derivación según la invención permite abordar la situación ideal de tener un resistor de derivación con una resistencia cercana al infinito en la fase de inicio de entrada de luz, y una resistencia cercana a cero en la fase de descarga, maximizando así la eficiencia de transferencia de carga y minimizando el tiempo de descarga que limita la velocidad de repetición de pulsos de luz observada en la técnica anterior.

Según una realización especial, el interruptor de derivación se implementa como un dispositivo MEMS (sistemas microelectromecánicos) o NEMS (sistemas nanoelectromecánicos).

5 Según otra realización especial, el interruptor de derivación es un componente activo basado en semiconductores, como, por ejemplo, un transistor. según una realización específica, se implementa en forma de FET (transistor de efecto de campo, como, por ejemplo, un transistor semiconductor de óxido de metal (MOS) o en forma de transistor bipolar.

10 Según otra realización especial, la disposición de control está configurada para colocar el interruptor de derivación en un estado abierto en respuesta a la luz incidente recibida en el uno o más elementos fotosensibles principales y colocar el interruptor de derivación en un estado cerrado si no se recibe luz incidente en el uno o más elementos fotosensibles principales.

15 Según otra realización especial, la disposición de control comprende un elemento fotosensible auxiliar, y está configurada para colocar el interruptor de derivación en un estado abierto en respuesta a la luz incidente recibida en dicho elemento fotosensible auxiliar y colocar el interruptor de derivación en un estado cerrado si no se recibe luz incidente en dicho elemento fotosensible auxiliar.

20 Según otra realización especial, la disposición de control comprende una disposición de control de interruptor, una disposición de fuente de alimentación configurada para suministrar energía a la disposición de control del interruptor, y una disposición de control de temporización configurada para generar una señal de temporización a la disposición de control del interruptor, en donde la disposición de control del interruptor está configurada para controlar el funcionamiento del interruptor de derivación en función de dicha señal de temporización.

25 Según otra realización especial, dicha disposición de fuente de alimentación comprende un condensador de almacenamiento acoplado eléctricamente a un potencial de referencia del circuito de píxeles en un extremo, y a un nodo que conecta el electrodo y el uno o más elementos fotosensibles principales a través de otro interruptor en el otro extremo, y la disposición de control del interruptor está configurada además para controlar el funcionamiento del interruptor de suministro basado en la señal de temporización.

30 Según otra realización especial, la disposición de control de temporización comprende un elemento fotosensible auxiliar acoplado eléctricamente en serie a una carga, en donde la carga está eléctricamente acoplada a un nodo que conecta el electrodo y el uno o más elementos fotosensibles principales.

35 Según otra realización especial, la disposición de control del interruptor está configurada para abrir el interruptor de derivación y luego cerrar el interruptor de suministro en respuesta a la señal de sincronización que indica que se recibe luz incidente en la celda de píxeles, y para abrir el interruptor de suministro y luego cerrar el interruptor de derivación en respuesta a la señal de temporización que indica que la luz incidente ya no se recibe en la celda de píxeles.

40 Según una realización específica, dicho circuito de celdas de píxeles comprende además al menos un contraelectrodo, también conocido como electrodo de retorno, Según una realización ejemplar adicional de la presente invención, el contraelectrodo está dispuesto alrededor del electrodo estimulante. Además, o como alternativa, el contraelectrodo puede estar dispuesto alrededor del al menos un elemento fotosensible. El término "dispuesto alrededor" en el contexto de la presente invención se entenderá de manera que el contraelectrodo tenga una dimensión lateral y, en esa dimensión lateral, se extiende alrededor del área definida por el electrodo estimulante o por el al menos un elemento fotosensible. En el caso de que se proporcione una pluralidad de elementos fotosensibles, el contraelectrodo puede estar dispuesto alrededor de uno o todos los elementos fotosensibles. Preferentemente, el contraelectrodo está dispuesto simétricamente alrededor del electrodo estimulante.

45 Según otra realización especial, los elementos fotosensibles se seleccionan del grupo que consiste en fotodiodo, fototransistores, fotorresistores u otros dispositivos semiconductores fotosensibles.

50 Según una realización preferida, los elementos fotosensibles principales y el elemento fotosensible auxiliar se implementan en forma de fotodiodos semiconductores.

Según otra realización especial, la presente invención proporciona un circuito de celdas de píxeles como se describe en el presente documento implementado usando componentes compatibles con la tecnología de fabricación de CMOS.

55 Según un aspecto de la presente invención, un implante está provisto de una matriz de píxeles fotosensibles en la que dicha matriz comprende al menos un circuito de celdas de píxeles según la invención. Al proporcionar una matriz de píxeles fotosensibles al implante, el implante se convierte en un implante fotosensible, que puede proporcionar estimulación eléctrica al tejido neural. En particular, el implante puede permitir la estimulación eléctrica al tejido de la retina del ojo de un sujeto. Como alternativa, el implante de la invención puede permitir la estimulación eléctrica a cualquier tejido neuronal de un sujeto en la medida en que el implante esté localizado de modo que sea posible la exposición a la luz (tejidos transparentes, ...).

5 En una realización preferida, el implante es un implante subretiniano. Esto permite colocar el implante dentro del ojo de un paciente, es decir, subretinalmente, para evitar cualquier tejido dañado de la retina. Por consiguiente, los impulsos eléctricos pueden generarse en las proximidades de las células neuronales sensibles que todavía son funcionales en la retina. Ventajosamente, el implante fotosensible también comprende una capa de sellado o un revestimiento de sellado, para proteger la estructura del implante de la corrosión o de daños.

Otro aspecto de la invención es una prótesis visual que comprende un implante de la invención y una cámara.

10 Otro aspecto de la presente invención es un método de estimulación neural, que comprende: implantar un implante de la invención cerca del tejido neural y estimular dicho tejido neural de acuerdo con velocidades de pulsos de luz superiores a aproximadamente 30 Hz, más específicamente, más allá de aproximadamente 50 Hz, e incluso más específicamente, más allá de aproximadamente 100 Hz. Normalmente, un pulso de luz es un pulso de luz infrarroja.

15 Debe apreciarse que la presente invención puede implementarse y utilizarse de numerosas maneras, incluyendo sin limitación como un proceso, un aparato, un sistema, un dispositivo, y como un método para aplicaciones ahora conocidas y desarrolladas posteriormente. Estas y otras características únicas de la invención divulgadas en el presente documento serán más evidentes a partir de la siguiente descripción y los dibujos que se acompañan.

20 Descripción de las figuras

Más detalles, realizaciones preferidas y ventajas de la presente invención se encontrarán en la siguiente descripción con referencia a los dibujos, en los que:

25 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un circuito de celdas de píxeles que usa un resistor de derivación;

30 Las Figuras 2a, 2b y 2c ilustran un tren de pulsos de luz y pulsos de corriente generados por el circuito de celdas de píxeles de la figura 1;

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra un circuito de celdas de píxeles según la presente invención.

La Figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra un circuito de celdas de píxeles según la presente invención.

35 Descripción detallada de la invención

Por simplicidad y claridad de ilustración, las figuras ilustran la forma general de construcción, y pueden omitirse descripciones y detalles de características y técnicas bien conocidas para evitar oscurecer innecesariamente la discusión de las realizaciones descritas de la invención.

40 Adicionalmente, los elementos en las figuras no están necesariamente dibujados a escala. Por ejemplo, las dimensiones de algunos de los elementos en las figuras pueden ser exageradas con respecto a otros elementos para ayudar a mejorar la comprensión de las realizaciones de la presente invención. Ciertas figuras pueden mostrarse de manera idealizada para ayudar a la comprensión, como cuando se muestran estructuras con líneas rectas, ángulos agudos y/o planos paralelos o similares que en condiciones del mundo real probablemente serían significativamente menos simétricas y ordenadas.

50 Los mismos números de referencia en diferentes figuras denotan los mismos elementos, mientras que números de referencia similares pueden, pero no necesariamente, denotar elementos similares.

55 Además, debería ser evidente que la enseñanza en el presente documento puede realizarse en una amplia variedad de formas y que cualquier estructura y/o función específica descrita en el presente documento es meramente representativa. En particular, un experto en la materia apreciará que un aspecto descrito en el presente documento puede implementarse independientemente de cualquier otro aspecto y que varios aspectos pueden combinarse de diversas maneras.

60 Los términos "comprenden", "incluyen", "tienen", y cualquier variación de los mismos, están destinados a cubrir una inclusión no exclusiva, de modo que un proceso, método, artículo o aparato que comprende una lista de elementos no se limita necesariamente a esos elementos, sino que puede incluir otros elementos que no figuran expresamente o son inherentes a dicho proceso, método, artículo o aparato.

65 La palabra "ejemplar" se utiliza en el presente documento para referirse a "que sirve como un ejemplo, caso o ilustración". Cualquier realización o diseño descrito en el presente documento como "ejemplar" no debe interpretarse necesariamente como preferido o ventajoso sobre otras realizaciones o diseños.

En la siguiente descripción y reivindicaciones, se pueden usar los términos "acoplado" y "conectado", junto con sus

derivados. En realizaciones particulares, "conectado" puede usarse para indicar que dos o más elementos están en contacto físico o eléctrico directo entre sí. "Acoplado" puede significar que dos o más elementos están en contacto físico o eléctrico directo. Sin embargo, "acoplado" también puede significar que dos o más elementos no están en contacto directo entre sí, pero aun así cooperan o interactúan entre sí.

5 La Figura 1 muestra un ejemplo de circuito de píxeles fotodiodos (10) convencional que usa un resistor de derivación (11). Dos elementos fotodiodos (12a, 12b) mostrados en la figura 1 están acoplados eléctricamente en serie, con un fotodiodo acoplado eléctricamente a un potencial de referencia, por ejemplo, conectado al electrodo de retorno, y el otro fotodiodo conectado a un electrodo de estimulación (13). el resistor de derivación (11) está montado paralelo a los elementos fotodiodos (12a, 12b), para disminuir el tiempo de descarga de la capacitancia parásita (14) (representada con líneas discontinuas en la figura) de los elementos fotodiodos (12a, 12b) y el electrodo de estimulación (13).

15 La figura 2a muestra un tren de pulsos de luz de forma cuadrada ideales utilizado para la estimulación de un circuito de píxeles fotodiodos del tipo que se muestra en la figura 1. Los pulsos de luz únicos utilizados para la estimulación de los píxeles del implante retiniano pueden tener amplitudes variables, anchos de pulso variables y tiempos de inicio variables con respecto al pulso anterior. Cuando se expone a una estimulación de luz en forma de un pulso de luz tal como se representa en la figura 2a, las corrientes comienzan a fluir a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b), suministrando una carga eléctrica al tejido a través del electrodo. La figura 2b ilustra el voltaje a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b), que aumenta desde un nivel de reposo, por ejemplo, un nivel cero o casi cero, hasta un nivel máximo dependiendo de las características de los elementos fotodiodos (12a, 12b) y el valor del resistor de derivación (11).

25 Al final de un pulso de luz, los elementos fotodiodos dejan de recibir luz y el voltaje a través de los elementos fotodiodos (12a, 12b) comienza a disminuir hacia el nivel de reposo. La constante de tiempo de este decrecimiento depende de las capacitancias (parásitas) (14), apareciendo principalmente en el electrodo (13) y los fotodiodos (12a, 12b), y el valor del resistor de derivación. La constante de tiempo de decrecimiento se vuelve máximamente lenta en ausencia de un resistor de derivación.

30 Por lo tanto, una fase de aumento (21) del voltaje a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b) durante la estimulación de la luz de los mismos es seguida por una fase de disminución (22a) del mismo voltaje, sensible al final del pulso de luz (20a), es decir, el final de la estimulación de la luz de los elementos fotodiodos (12a, 12b). La duración de la fase de disminución (22a) corresponde en parte al tiempo de descarga de la capacitancia parásita (14). Este tiempo de descarga puede reducirse mediante el funcionamiento de un resistor de derivación, como el (11) que se muestra en la figura 1, que funciona como una trayectoria de corriente que captura parte de la corriente, que de lo contrario fluiría parcialmente a través del electrodo (13) y el tejido neural (efectuando la estimulación) durante la fase de aumento (21), y descargaría la capacitancia parásita (14) durante la fase de disminución (22b).

40 La figura 2a muestra además un segundo pulso de luz (20b) que sigue al primer pulso de luz (20a) en el tren de pulsos de luz (20a, 20b, 20c), y separado por una duración de tiempo que es menor que el tiempo de disminución correspondiente a la fase de disminución (22b) cuando se usa el resistor de derivación (11). Por lo tanto, esta segunda estimulación de luz comienza antes de que el voltaje a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b) vuelva al nivel de reposo, es decir, antes del final de la fase de disminución de voltaje (22b).

45 El nivel de voltaje más alto restante a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b) al comienzo del segundo pulso de luz (20b) da como resultado una disminución de la corriente a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12b) y a través del electrodo (13) en respuesta al segundo pulso de luz (20b), y por lo tanto en una corriente reducida disponible para la estimulación del tejido neural.

50 La Figura 2a también muestra un tercer pulso de luz (20c) después del segundo pulso de luz (20b) en el tren de pulsos de luz (20a, 20b, 20c), y separado por una duración de tiempo que es menor que el tiempo de disminución correspondiente a la fase de disminución (22b) cuando se usa el resistor de derivación (11). Como se ilustra en la Figura 2c, la corriente de estimulación disponible se reduce aún más debido a un mayor voltaje a través de los fotodiodos de estimulación (12a, 12 b) al comienzo del tercer pulso de luz (20c). Por lo tanto, la velocidad de repetición de los pulsos de luz para la estimulación está limitada por la fase de disminución (22b) si es necesario retener cierta amplitud de corriente de estimulación, lo que constituye una limitación del circuito de píxeles (10).

60 Además, el uso de una derivación basada en resistor óhmico de valor fijo plantea el problema de la determinación del valor óhmico del (de los) resistor(es) de derivación. La elección de un valor para un resistor de derivación será el resultado de una compensación entre la velocidad a la que se pueden aplicar pulsos de estimulación, que se pueden aumentar disminuyendo el valor del resistor de derivación y la eficiencia de estimulación. Cuanto menor sea el valor óhmico elegido para el resistor de derivación, más corriente fluirá a través del resistor de derivación durante un pulso de estimulación de luz, a expensas de la eficiencia de estimulación de electrodos. Por el contrario, cuanto mayor sea el valor óhmico elegido para el resistor de derivación, menos corriente fluirá a través del resistor de derivación, incluso durante una fase de descarga de capacitancia parásita, aumentando así el tiempo de descarga.

Esto muestra que el circuito de píxeles (10) que usa un resistor de derivación puede no estar adaptado para aplicaciones que requieren una alta resolución temporal o una alta velocidad de estimulación. Por ejemplo, cuando se capturan datos de la escena visual utilizando un sensor de visión basado en eventos del tipo ATIS ("sensor de imágenes basadas en el tiempo, asíncronas), como el descrito en "An Asynchronous Time-based Image Sensor" (C. Posch et al., IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2008, páginas 2130-2133), o en "A QVGA 143 dB dynamic range frame-free PWM image sensor with lossless pixel-level video compression and time-domain CDS" (C. Posch et al., 46(1): 259275, 2011), un dispositivo proyector acoplado a la salida de la cámara ATIS puede generar un tren de pulsos de luz con una resolución temporal de hasta 1 milisegundo (o velocidades de estimulación temporales de hasta 1000 Hz).

Más en general, las investigaciones recientes han demostrado que aumentar las posibles velocidades de estimulación más allá de las velocidades del estado de la técnica de aproximadamente 30 Hz hacia la resolución temporal nativa de las células de la retina del orden de 1000 Hz podría mejorar en gran medida la calidad de la estimulación de la retina.

La figura 3 muestra un circuito de píxeles fotodiodos según la invención que usa una disposición de interruptor de derivación en lugar del resistor de derivación mostrado en la figura 1.

En una o más realizaciones, la disposición del interruptor de derivación puede implementarse utilizando dispositivos activos basados en semiconductores tales como, por ejemplo, un dispositivo transistor (p. ej., transistor FET o transistor bipolar). En dicha realización, la puerta o base de un transistor utilizado en la disposición del interruptor de derivación puede controlarse en fase con el pulso de luz estimulante.

Como alternativa, la disposición del interruptor de derivación puede proporcionarse en forma de un dispositivo de sistemas microelectromecánicos (MEMS) o un dispositivo de sistemas nanoelectromecánicos (NEMS), tal como, por ejemplo, un interruptor micromecánico diseñado para lograr un cortocircuito o un circuito abierto en una línea de derivación acoplada eléctricamente en paralelo a uno o varios fotodiodos fotovoltaicos.

En una o más realizaciones, la temporización del funcionamiento de la disposición del interruptor de derivación puede implementarse usando una señal de control que lleva información de temporización derivada de la entrada de luz al píxel. En algunas realizaciones, dicha señal de control puede generarse usando un fotodiodo pequeño adicional. Como alternativa o además, la información de temporización transportada por la señal de control puede derivarse de la corriente que fluye a través de los fotodiodos principales.

En la figura 3 se muestran dos elementos fotodiodos (32a, 32b) acoplados eléctricamente en serie, con un fotodiodo acoplado eléctricamente a un potencial de referencia (35), por ejemplo, conectado al electrodo de retorno, y el otro conectado eléctricamente a un electrodo de circuito de píxeles (33). Los elementos fotodiodos (32a, 32b) están dispuestos para recibir luz y transformar la luz incidente en corrientes de estimulación desde el electrodo a través del tejido. Los expertos en la técnica relevante apreciarán que se puede usar cualquier dispositivo transductor de luz adecuado que convierta la luz incidente en una señal eléctrica en lugar de los elementos fotodiodos (32a, 32b), que se dan solo a modo de ejemplo.

Además, la presente invención no se limita a una disposición específica de elementos fotodiodos o elemento fotosensible, y sus realizaciones pueden usar un único elemento fotodiodo, o una combinación de dos o más elementos. El interruptor S1 (31) es un dispositivo de derivación provisto para disminuir el tiempo de descarga de las capacitancias parásitas del circuito (30), y en particular el electrodo (33) y los elementos fotodiodos (32a, 32b), además de aumentar la eficiencia de la estimulación del tejido a través del electrodo (33), y está montado en paralelo a los elementos fotodiodos (32a, 32b). Se proporciona una disposición de control (34) con el interruptor S1 (31) para controlar el funcionamiento del mismo, incluida la fuente de alimentación.

La ventaja de un interruptor proporcionado como un dispositivo de derivación sobre un resistor de derivación óhmica fija es que puede acercarse a la situación ideal de tener resistencia infinita en la fase de inicio de entrada de luz y resistencia cero en la fase de descarga, para que pueda maximizar la eficiencia de transferencia de carga y minimizar el tiempo de descarga que limita la velocidad de repetición de los pulsos de corriente de estimulación transmitidos al tejido a través del electrodo (33). Tal y como se ha comentado anteriormente, el uso de un resistor de derivación óhmica fija requiere la determinación de un valor óhmico del resistor, cuyo valor reflejará un compromiso entre la eficiencia de estimulación y la velocidad de repetición. Este compromiso se puede superar ventajosamente utilizando un dispositivo de conmutación para proporcionar la derivación.

En funcionamiento, la disposición de control (34) está diseñada para colocar el interruptor S1 (31) en estado abierto, logrando así una alta resistencia en la línea del interruptor S1 (31), sensible a la recepción de luz incidente en los elementos fotodiodos (32a, 32b), y para colocar el interruptor S1 (31) en el estado cerrado, logrando así una baja resistencia en la línea del interruptor S1 (31), en respuesta a la falta de recepción de luz incidente en los elementos fotodiodos (32a, 32b).

La estimulación se inicia mediante el suministro de luz a los elementos fotodiodos (32a, 32b), por ejemplo, encendiendo

una fuente de luz que suministra luz al circuito (30). Sensible a la recepción de luz en los elementos fotodiodos (32a, 32b), la corriente comienza a fluir a través de los elementos fotodiodos (32a, 32b), suministrando carga al tejido a través del electrodo (33). La disposición de control (34) está diseñada para abrir el interruptor S1 (31), para evitar que parte de la corriente suministrada por los elementos fotodiodos (32a, 32b) fluya a través de la trayectoria de derivación (en lugar de a través del tejido) hasta el electrodo de retorno y, en consecuencia, esta parte de la carga no participe en la estimulación. Debido a que el interruptor de derivación está montado paralelo a los elementos fotodiodos, la disposición de control se configura preferiblemente en algunas realizaciones para abrir el interruptor S1 (31) poco después de que la corriente comienza a fluir a través de los elementos fotodiodos (32a, 32b). Igualmente, en algunas realizaciones, puede ser preferible configurar la disposición de control de modo que cierre el interruptor S1 (31) poco después del final de la recepción de la luz incidente en los elementos fotodiodos (32a, 32b). Por ejemplo, cuando el circuito (30) es estimula con pulsos de luz, la disposición de control puede configurarse preferiblemente en algunas realizaciones para colocar el interruptor de derivación en el estado abierto poco después de que llegue un pulso de luz de estimulación, y colocar el interruptor de derivación en el estado cerrado poco después de que finalice el pulso de luz de estimulación y mantener el interruptor en este estado el tiempo suficiente para permitir una descarga completa de las capacitancias parásitas del circuito (30).

Por lo tanto, en algunas realizaciones, la temporización del funcionamiento del interruptor de derivación S1 (31) se puede lograr utilizando la corriente que fluye a través, es decir, a través de la entrada de luz a los elementos fotodiodos (32a, 32b), que son los principales elementos transductores de luz configurados para recibir la estimulación de luz a la que está expuesto el circuito de píxeles fotodiodos (30).

En algunas otras realizaciones, la temporización del funcionamiento del interruptor de derivación S1 (31) puede lograrse, como alternativa o además de usar la corriente que fluye a través de los elementos fotodiodos (32a, 32b) como resultado de la entrada de luz a la misma, usando un pequeño fotodiodo adicional, que se colocará preferiblemente cerca de los otros fotodiodos, es decir, en la realización ejemplar mostrada en la figura 3, cerca de los elementos fotodiodos (32a, 32b).

Dependiendo de la realización, se pueden implementar varias formas de suministrar energía al conmutador S1 (31) y la disposición de control (34). En el contexto específico de un circuito de píxeles implementado en un implante que comprende un elemento fotosensible, tales como elementos fotodiodos, en algunas realizaciones, es ventajoso utilizar el voltaje de alimentación suministrado por los propios elementos fotosensibles.

La figura 4 muestra un circuito de píxeles fotodiodos (40) según una realización ejemplar que incluye una disposición de control en la que el elemento fotosensible proporciona el voltaje de alimentación.

En la figura 4, dos elementos fotodiodos (42a, 42b) están acoplados eléctricamente en serie, con un fotodiodo acoplado eléctricamente a un potencial de referencia (45), por ejemplo, conectado al electrodo de retorno, y el otro conectado eléctricamente a un electrodo de circuito de píxeles (43). Los elementos fotodiodos (42a, 42b) están dispuestos para recibir luz y transformar la luz incidente en corrientes de estimulación desde el electrodo a través del tejido. Los expertos en la técnica relevante apreciarán que cualquier combinación de uno o más de cualquier elemento fotosensible adecuado que convierta la luz incidente en una señal eléctrica puede usarse en lugar de los elementos fotodiodos (42a, 42b), que se dan solo a modo de ejemplo.

Similar al circuito ilustrado en la figura 3, el interruptor S1 (41) es un dispositivo de derivación montado en paralelo a los elementos fotodiodos (42a, 42b). Se proporciona una disposición de control (44) con el interruptor S1 (41) para controlar el funcionamiento del mismo, incluida la fuente de alimentación. La disposición de control (44) incluye un control de interruptor (46), una disposición de fuente de alimentación para suministrar potencia al control del interruptor (46) en ausencia de luz, y una disposición de control de temporización.

La disposición de fuente de alimentación comprende un segundo interruptor S2 (47) y un condensador de almacenamiento (49), acoplados eléctricamente en serie, con un extremo del condensador de almacenamiento (49) acoplado eléctricamente al potencial de referencia (45) y el otro extremo acoplado eléctricamente a un extremo del interruptor S2 (47), mientras que el otro extremo del interruptor S2 (47) está acoplado eléctricamente a los elementos fotodiodos (42a, 42b), por ejemplo, al nodo (B) entre los elementos fotodiodos (42a, 42b) y el electrodo (43).

La disposición de control de temporización se usa para controlar la temporización de los funcionamientos del interruptor de derivación S1 (41) y del segundo interruptor S2 (47), y comprende un elemento auxiliar fotodiodo (50) (o, dependiendo de la realización, cualquier dispositivo transductor de luz adecuado) acoplado eléctricamente al potencial de referencia (45) en un extremo, y a una carga (48) en el otro extremo. El fotodiodo auxiliar (50) adicionalmente se acopla eléctricamente al control del interruptor (46) a través de una conexión eléctrica entre un nodo (A) ubicado entre el fotodiodo auxiliar (50) y la carga (48), y el control del interruptor (46). El otro extremo de la carga está eléctricamente acoplado a los elementos fotodiodos (42a, 42b), por ejemplo, al nodo (B) entre los elementos fotodiodos (42a, 42b) y el electrodo (43).

El control del interruptor (46) está configurado para controlar los funcionamientos del interruptor de derivación S1 (41), así como el del segundo interruptor S2 (47), en función de la señal de temporización recibida de la disposición de

control de temporización.

El circuito ilustrado en la figura 4 está diseñado de modo que cualquier circuito eléctrico activo del circuito de píxeles del fotodiodo (40) esté alimentado por el voltaje generado por el elemento fotosensible principal, es decir, los elementos fotodiodos (42a, 42b), en presencia de la luz. Para que el circuito (40) esté activo también en momentos en que no brille luz sobre el elemento fotosensible principal (42a, 42b), se genera un voltaje de alimentación al menos durante un tiempo después de que la luz haya dejado de incidir en el elemento fotosensible (42a, 42b). En la realización ejemplar ilustrada en la figura 4, esto se logra utilizando uno o varios condensadores de almacenamiento (49). Los expertos en la técnica relevante apreciarán que se puede utilizar cualquier dispositivo o componente adecuado en lugar del condensador de almacenamiento (49), que se da solo a modo de ejemplo.

En algunas realizaciones, en caso de que el voltaje generado por el elemento fotosensible principal (42a, 42b) sea insuficiente o no sea adecuado para alimentar la disposición de control de derivación, se puede generar un voltaje de alimentación adecuado en el píxel, por ejemplo, empleando un circuito de bomba de carga (no representado en la figura).

Durante el funcionamiento, un ciclo de estimulación correspondiente a un pulso de luz de estimulación del tipo del ilustrado en la figura 2a, se inicia al encender una fuente de luz que suministra luz al circuito (40). Las corrientes comienzan a fluir a través de los fotodiodos de estimulación (42a, 42b), suministrando carga al tejido a través del electrodo (43). Al mismo tiempo, la corriente que fluye a través del fotodiodo auxiliar (50) produce el voltaje en el nodo (A) entre el fotodiodo (50) y su carga (48) para caer a un nivel cercano al potencial de referencia, ya que el fotodiodo auxiliar se comporta como una fuente de corriente ideal acoplada eléctricamente al potencial de referencia (45). Como el bloque de control (46) está acoplado eléctricamente al nodo (A) ubicado entre el fotodiodo auxiliar (50) y su carga (48), el bloque de control (46) recibe el voltaje en el nodo (A) como señal de control. El bloque de control del interruptor (46), en respuesta al voltaje en el nodo (A) que cae a un nivel cercano al potencial de referencia, abre el interruptor S1 (41) y cierra el interruptor S2 (47). El condensador de almacenamiento (49) se carga en consecuencia al voltaje que se desarrolla a través de los fotodiodos de estimulación fotovoltaica (42a, 42b), es decir, en la figura, el voltaje en el nodo (B) ubicado entre la carga (48) y el electrodo (43), ya que el condensador de almacenamiento (49) está acoplado eléctricamente al potencial de referencia (45) en un extremo, y está acoplado eléctricamente al nodo (B) en el otro extremo a través del interruptor cerrado S2 (47).

Al final de la estimulación, la luz se apaga y las capacitancias parásitas del circuito (40), y en particular de los fotodiodos de estimulación fotovoltaica (42a, 42b) y el electrodo (43), deben descargarse lo más rápido posible para prepararse para el próximo ciclo de estimulación.

En ausencia de estimulación lumínica, el fotodiodo auxiliar (50) se comporta como un circuito abierto (dicho de otro modo, una fuente de corriente con corriente nula), de modo que el voltaje en el nodo (A) ubicado entre el fotodiodo auxiliar (50) y su carga (48) aumenta para alcanzar nuevamente el voltaje en el nodo (B) ubicado entre la carga (48) y el electrodo (43). El control del interruptor (46) detecta los cambios de voltaje en el nodo (A), a través de la línea que acopla el control del interruptor (46) al nodo (A), y el interruptor S1 (41) está cerrado por el circuito de control del interruptor, dando como resultado el colapso del voltaje a través de los fotodiodos de estimulación fotovoltaica (42a, 42b). Esto logra una descarga rápida de las capacitancias parásitas de los fotodiodos de estimulación fotovoltaica (42a, 42b) y el electrodo (43).

Para continuar el funcionamiento del circuito de control del interruptor en esta etapa usando el condensador de almacenamiento (49), el control del interruptor (46) ha abierto el interruptor S2 (47) poco antes de cerrar el interruptor S1 (41), evitando efectivamente que el condensador de almacenamiento (49) también se descargue a través del interruptor S1 (41). A partir de este momento (después de abrir el interruptor S2 (47)), la energía eléctrica al bloque de control del interruptor es suministrada por el condensador de almacenamiento (49). Para esto, el terminal de la fuente de alimentación del bloque de control del interruptor está acoplado eléctricamente a un lado del condensador de almacenamiento (nodo (C)) que no está acoplado al potencial de referencia (45). La temporización para el funcionamiento de los interruptores S2 (47) y S1 (41) se deriva de la conmutación de la tensión en el nodo (A) por encima del fotodiodo auxiliar (50) que aumenta rápidamente después de que la luz se ha apagado. Después del final de la fase de descarga, el circuito (40) se establece en un estado inactivo y está listo para recibir un nuevo pulso de luz de estimulación que reinicia el proceso descrito anteriormente.

La figura 5 muestra una realización ejemplar del bloque de control del interruptor (46 en la figura 4). El nodo de entrada (54) del bloque de control del interruptor está conectado al nodo (A) de la figura 4 de modo que el voltaje en este nodo impulsa la entrada de un inversor lógico (52). La salida de este inversor está conectada para controlar el interruptor S2 (57 o 47 en la figura 4) implementado como un transistor NMOS (MOSfet de canal N) donde el drenaje de este transistor está conectado al nodo (B) y la fuente está conectada al nodo (C). La salida del mismo inversor (52) también está conectada a la entrada de un segundo inversor (53). La salida de este segundo inversor (53) está conectada para controlar el interruptor S1 (51 o 41 en la figura 4) implementado como un transistor NMOS donde el drenaje de este transistor está conectado al nodo (B) y la fuente está conectada a un potencial de referencia (55 o 45 en la figura 4). Las conexiones de la fuente de alimentación de ambos inversores (52, 53) están conectadas al nodo (C) y la conexión a tierra de ambos inversores (52, 53) está conectada a un potencial de referencia (55 o 45 en la figura 4).

Aunque la presente invención se ha descrito con respecto a ciertas realizaciones preferidas, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que se pueden realizar varios cambios y/o modificaciones a la invención sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

5 Aunque esta invención se ha descrito en el contexto de ciertas realizaciones preferidas, debe entenderse que ciertas ventajas, características y aspectos de los sistemas, dispositivos y métodos pueden realizarse en una variedad de otras realizaciones. Adicionalmente, se contempla que varios aspectos y características descritos en el presente documento se pueden practicar por separado, combinados o sustituidos el uno por el otro, y que una variedad de combinaciones y subcombinaciones de las características y aspectos se pueden hacer y siguen estando dentro del alcance de la invención. Además, los sistemas y dispositivos descritos anteriormente no necesitan incluir todos los módulos y funciones descritos en las realizaciones preferidas.

10 La información y las señales descritas en el presente documento pueden representarse utilizando cualquiera de una variedad de tecnologías y técnicas diferentes. Por ejemplo, datos, instrucciones, comandos, información, señales, bits, símbolos y chips pueden ser representados por voltajes, corrientes, ondas electromagnéticas, campos magnéticos o partículas, campos ópticos o partículas, o cualquier combinación de los mismos.

15 Dependiendo de la realización, ciertos actos, eventos o funciones de cualquiera de los métodos descritos en el presente documento pueden realizarse en una secuencia diferente, se pueden agregar, fusionar o excluir por completo (por ejemplo, no todos los actos o eventos descritos son necesarios para la práctica del método). Asimismo, en determinadas realizaciones, los actos o eventos se pueden realizar de forma simultánea en lugar de secuencialmente.

REIVINDICACIONES

1. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) que comprende:

- 5 • al menos un electrodo (33, 43);
- al menos un elemento fotosensible principal (32a, 32b, 42a, 42b) acoplado eléctricamente a dicho electrodo (33, 43) para emitir una señal de estimulación al electrodo (33, 43) en respuesta a la iluminación de la luz;
- una disposición de derivación;

en donde el circuito de celdas de píxeles se **caracteriza por que** la disposición de derivación comprende:

- 10 ◦ un interruptor de derivación (31, 41) acoplado eléctricamente en paralelo a través del uno o más elementos fotosensibles principales (32a, 32b, 42a, 42b), y
- una disposición de control (34, 44) acoplada operativamente al interruptor de derivación (31, 41) y configurada para colocar el interruptor de derivación (31, 41) en un estado abierto en respuesta a la luz incidente recibida en la celda de píxeles y para colocar el interruptor de derivación (31, 41) en estado cerrado si no se recibe luz incidente en la celda de píxeles.

2. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según la reivindicación 1, en donde el interruptor de derivación (31, 41) es uno de entre un dispositivo MEMS, un dispositivo NEMS y un componente activo basado en semiconductores.

3. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según la reivindicación 1 o 2, en donde el interruptor de derivación (31, 41) es un componente activo basado en semiconductores seleccionado de un grupo que incluye transistores FET y transistores bipolares.

4. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la disposición de control (34, 44) está configurada para colocar el interruptor de derivación (31, 41) en un estado abierto en respuesta a la luz incidente recibida en el uno o más elementos fotosensibles principales (32a, 32b, 42a, 42b) y colocar el interruptor de derivación (31, 41) en un estado cerrado si no se recibe luz incidente en uno o más elementos fotosensibles principales (32a, 32b, 42a, 42b).

5. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la disposición de control (34, 44) comprende un elemento fotosensible auxiliar (50), y está configurada para colocar el interruptor de derivación (31, 41) en un estado abierto sensible a la luz incidente recibida en el elemento fotosensible auxiliar (50) y colocar el interruptor de derivación (31, 41) en un estado cerrado si no se recibe luz incidente en el elemento fotosensible auxiliar (50).

6. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la disposición de control (34, 44) comprende:

- 40 • una disposición de control del interruptor;
- una disposición de fuente de alimentación configurada para suministrar energía a la disposición de control del interruptor;
- una disposición de control de temporización configurada para generar una señal de temporización a la disposición de control del interruptor;

en donde la disposición de control del interruptor está configurada para controlar el funcionamiento del interruptor de derivación (31, 41) en función de la señal de temporización.

7. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según la reivindicación 6, en donde la disposición de fuente de alimentación comprende un condensador de almacenamiento eléctricamente acoplado a un potencial de referencia del circuito de píxeles en un extremo, y a un nodo que conecta el electrodo (33, 43) y el uno o más elementos fotosensibles principales (32a, 32b, 42a, 42b) a través de un interruptor de suministro en el otro extremo, en donde la disposición de control del interruptor está configurada además para controlar el funcionamiento del interruptor de suministro basado en la señal de temporización.

8. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según la reivindicación 6 o 7, en donde la disposición de control de temporización comprende un elemento auxiliar fotosensible (50) acoplado eléctricamente a una carga en serie, en donde la carga está acoplada eléctricamente a un nodo que conecta el electrodo (33, 43) y el uno o más elementos fotosensibles principales (32a, 32b, 42a, 42b).

9. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según la reivindicación 7, en donde la disposición de control del interruptor está configurada para abrir el interruptor de derivación (31, 41) y luego cerrar el interruptor de suministro en respuesta a la señal de temporización que indica que se recibe luz incidente en la celda de píxeles, y para abrir el interruptor de suministro y luego cerrar el interruptor de derivación (31, 41) en respuesta a la señal de temporización que indica que la luz incidente ya no se recibe en la celda de píxeles.

10. Un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores implementado usando componentes compatibles con CMOS.

5 11. Un implante neural, que comprende una matriz de al menos una celda de píxeles, cada una de las al menos una celda de píxeles que comprende un circuito de celdas de píxeles (30, 40) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

