



Resumen de la Tesis Doctoral

“Estudio de estructuras de baja dimensionalidad y avanzadas para la detección de radiación visible y ultravioleta basadas en nitruros del grupo III”

Carlos Rivera de Lucas
Doctor Ingeniero de Telecomunicación

1. Descripción del trabajo de Tesis

1.1 Contexto histórico

El desarrollo de las tecnologías basadas en los semiconductores ha supuesto posiblemente el avance más destacado del siglo XX en aplicaciones de consumo, especialmente en lo que se refiere al campo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Sin los semiconductores sería imposible hablar de Internet, comunicaciones móviles o domótica, entre otros. Su ámbito de aplicación abarca en la actualidad la práctica totalidad de sectores, desde defensa y seguridad, hasta sanidad, pasando por el sistema financiero o el ocio tal y como lo conocemos hoy en día. La razón de la importancia de los semiconductores radica en que constituyen los bloques básicos de procesado, generación y detección de señales. Por una parte, conforman la inteligencia de los sistemas y sus subsistemas de almacenamiento de acceso rápido, mientras que por otra son responsables de la formación y captación de señales ópticas, eléctricas o mecánicas para comunicaciones u otro tipo de aplicaciones como son sensores o actuadores. Las claves del éxito de esta tecnología son su alta capacidad de integración y miniaturización, su bajo consumo y coste en comparación con otras alternativas, sus elevadas prestaciones (elevada velocidad de conmutación, fiabilidad y eficiencia, por ejemplo) y la posibilidad de implementar nuevas funcionalidades específicas.

En concreto, el progreso alcanzado en la última década en la familia de semiconductores de nitruros del grupo III (en adelante nitruros), principalmente compuestos de (Al,Ga,In)N, ha permitido extender las aplicaciones optoelectrónicas hacia el ultravioleta (UV). Los nitruros han experimentado un fuerte impulso motivado por los avances en la fabricación de diodos electroluminiscentes (*light emitting diodes*, LED). Como dato relevante del alcance que está teniendo la llamada *revolución de los nitruros* en términos generales se puede citar que el mercado global de estos dispositivos se cifró en 3.200 millones de dólares en el año 2004 y se prevé un incremento mucho mayor en los próximos años. En particular, las previsiones apuntan a que el mercado se duplicará ya para el año 2009. Los nitruros forman parte del grupo de semiconductores de ancho de la banda prohibida (comúnmente conocido como *gap*) grande, lo que les confiere, además de la capacidad de emitir luz en todo el rango visible y en el ultravioleta hasta casi 200 nm, interesantes propiedades desde el punto de vista eléctrico. Aunque el interés económico está puesto actualmente en aplicaciones de consumo relacionadas con LEDs, han surgido en paralelo otras líneas que exploran las ventajas de estos materiales cuando se requiere operación a alta potencia, alta frecuencia o alta temperatura. Estos compuestos también tienen un mercado potencial muy prometedor en el campo de los fotodetectores.

1.2 Ventajas y aplicaciones de los fotodetectores basados en nitruros

Los fotodetectores basados en nitruros surgen como solución alternativa a otras tecnologías basadas en semiconductores, generalmente Si, para aplicaciones en el UV. Los nitruros presentan intrínsecamente algunas propiedades que los hacen potencialmente superiores al Si, fundamentalmente, su mayor selectividad espectral, que permite realizar fotodetectores *ciegos* a fotones fuera del rango de UV sin necesidad de utilizar filtros, y su mayor resistencia frente a radiación ionizante, lo que facilita las tareas de calibrado. Así, se espera que los nitruros resuelvan las desventajas asociadas a

los detectores de Si cuando se emplean en aplicaciones *ciegas* al Sol, por ejemplo, para detección de incendios forestales, o cuando se prevé su funcionamiento en condiciones agresivas, por ejemplo en el espacio, donde la degradación juega un papel crítico en el coste y el tiempo de vida de los sistemas de detección. Otras ventajas potenciales de los nitruros provienen del alto valor de su anchura de la banda prohibida (3,44 eV para el GaN) y de su carácter directo, que hace que estos semiconductores sean especialmente indicados para operar a temperatura ambiente o alta temperatura en condiciones de bajo ruido y presenten un alto valor del coeficiente de absorción. Por otra parte, existen algunas particularidades como la mayor energía de ligadura de los excitones o su propia estructura cristalina que pueden ser explotadas para aumentar las capacidades de los fotodetectores.

Las aplicaciones de los fotodetectores basados en nitruros son múltiples. Una lista no exhaustiva, aunque sí ilustrativa, comprende la investigación en plasmas o en astronomía, el curado de resinas de materiales poliméricos para fotolitografía, la purificación de agua, la monitorización y el control de la combustión, la detección de llama, la detección de estelas de misiles y la detección de agentes biológicos. A esta diversidad de aplicaciones se pueden añadir con carácter especial las comunicaciones ópticas tanto en el espacio (comunicaciones seguras) como en el agua, e incluso el concepto de comunicaciones fuera de la línea de visión.

Por último, si bien la mayor parte de la investigación en fotodetectores basados en nitruros se ha volcado en el UV, también es posible extender el rango de detección hacia el visible e incluso el infrarrojo introduciendo In en la aleación del material y manteniendo la mayor parte de las ventajas comentadas anteriormente.

1.3 Hitos en el desarrollo de los fotodetectores basados en nitruros

El trabajo realizado hasta la fecha sobre fotodetectores basados en nitruros se puede clasificar temporalmente en varias etapas. Inicialmente, se fabricaron estructuras simples como fotoconductores y fotodiodos de barrera Schottky sobre capas gruesas de GaN o (Al,Ga)N mediante MOCVD (*metalorganic chemical vapor deposition*) o MBE (*molecular beam epitaxy*). El objetivo fue estudiar las propiedades básicas de los dispositivos, teniendo en cuenta la influencia de la calidad del material. Es importante mencionar que el mayor inconveniente de este sistema de materiales proviene de la carencia de sustratos ajustados en red para el crecimiento. La principal característica ofrecida por estos fotodetectores era la selectividad espectral.

Más adelante se introdujeron innovaciones en el diseño de las estructuras para mejorar parámetros de detección tales como selectividad espectral, ruido o contraste. En este periodo se han reportado valores de detectividad superiores a $10^{13} \text{ cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$, competitivos con los diodos de Si comerciales, y tiempos de respuesta ligeramente superiores a 1 ps, lo que abre expectativas muy atractivas desde el punto de vista comercial.

En la actualidad se trabaja en varios frentes relacionados con la optimización de los dispositivos y la fabricación de cámaras y diodos de avalancha. Casi todos los intentos se han dedicado a desarrollar fotodetectores en el UV. Por el contrario, apenas se han publicado unos pocos estudios que extienden el rango de detección hacia el

infrarrojo mediante el uso de capas activas de InGaN, posiblemente como resultado de las dificultades tecnológicas encontradas.

1.4 Objetivos de la Tesis

El trabajo desarrollado en esta Tesis Doctoral tiene como objetivo estudiar las propiedades de estructuras basadas en nitruros para su aplicación en la fabricación de fotodetectores. Sin embargo, a diferencia de otras aproximaciones seguidas anteriormente, se propone el uso de estructuras avanzadas atendiendo a diversas consideraciones específicas del material como son su piezoelectricidad o su orientación cristalina y a cambios en el diseño de las mismas para mejorar las prestaciones de los dispositivos y, lo que es más novedoso, para añadir nuevas funcionalidades a la detección. Las nuevas funcionalidades consisten en mejorar la selectividad espectral, obteniendo respuestas de tipo paso banda integradas con factores de calidad comparables e incluso superiores a las de los filtros interferenciales, permitir la detección del grado de polarización y fase u orientación de la luz, y aumentar la sensibilidad de los dispositivos introduciendo mecanismos de ganancia de fotocorriente que no requieran del uso de altos voltajes de polarización. Por otra parte se pretende también cubrir el vacío dejado en la literatura con respecto a la detección en los rangos visible e infrarrojo, útil en aplicaciones para biofotónica. A modo de resumen, se pueden concretar los objetivos en los siguientes puntos:

1. Extender el rango de detección de los fotodetectores hacia el visible (o infrarrojo) y el UV-A utilizando aleaciones de (In,Ga)N.
2. Explorar las ventajas potenciales de las estructuras de pozos cuánticos y de baja dimensionalidad, en general, en la detección interbanda frente a estructuras convencionales con capas activas gruesas. El uso de estructuras de pozos cuánticos está motivado por sus propiedades de confinamiento y transporte intrínsecas. En este sentido, se hace especial hincapié en la búsqueda de mecanismos de ganancia.
3. Estudiar algunas propiedades del material relacionadas con la localización debida a inhomogeneidades en composición y la interacción entre los campos de polarización y de deformación para mejorar las prestaciones de los dispositivos.
4. Desarrollar los primeros detectores sensibles a la polarización de la luz basados en nitruros del grupo III. Este tipo de detectores se sirven de la falta de simetría cristalina del plano M , a la que se añade el efecto de la deformación anisótropa generada por el sustrato.

1.5 Desarrollo de la Tesis

Los trabajos realizados a lo largo de la Tesis se pueden agrupar en los siguientes bloques que no pueden considerarse independientes:

1. Estudio de las propiedades físicas de los nitruros como materiales semiconductores y de las estructuras asociadas con los fotodetectores (uniones $p-i-n$, uniones metal-semiconductor, uniones metal-aislante-semiconductor, pozos cuánticos y todas sus combinaciones derivadas) con objeto de elaborar una serie de reglas de diseño útiles en la fabricación de dispositivos. Esta tarea

ha supuesto un esfuerzo en el terreno de modelado y simulación realimentado con los resultados experimentales obtenidos de la caracterización. Dado que no siempre ha sido posible emplear modelos analíticos para entender el funcionamiento de las estructuras, se han desarrollado herramientas basadas en elementos finitos y diferencias finitas para resolver la ecuación de Schrödinger y obtener el tensor de deformaciones en sistemas de dos dimensiones (2D), así como un programa que resuelve autoconsistentemente las ecuaciones de Poisson y Schrödinger en una dimensión (1D).

2. Fabricación de dispositivos partiendo de las estructuras crecidas epitaxialmente por MBE o MOCVD. Como resultado se han obtenido fotodetectores con distintas geometrías, tamaños y espesores de las metalizaciones y aislantes. Los procesos de fabricación de estos dispositivos incluyen ataque por iones reactivos (*Reactive Ion Etching*, RIE), evaporación por haz de electrones y efecto Joule, depósito químico en fase vapor (*Chemical vapor deposition*, CVD) aleado mediante hornos convencionales y de recocido rápido (*Rapid Thermal Annealing*, RTA), así como otros más estándar: fotolitografía, ataques húmedos, limpieza, corte, soldadura y encapsulado.
3. Caracterización óptica y eléctrica de estructuras y dispositivos, y, circunstancialmente, también estructural. La caracterización óptica y eléctrica ha permitido verificar los resultados teóricos y, en algunos casos, impulsar la investigación de nuevas propiedades o fenómenos. Cabe destacar como técnicas de caracterización óptica, la fotoluminiscencia (tanto de onda continua como resuelta en el tiempo) y la catodoluminiscencia. En el lado de la caracterización eléctrica (y electro-óptica) se han empleado diversas técnicas básicas como las características corriente-voltaje ($I-V$), capacidad-voltaje ($C-V$), las medidas por efecto Hall o la fotocorriente, combinando como parámetros, en los casos que sea aplicable, la excitación óptica, la temperatura y el voltaje de polarización.
4. Aplicación de los fotodetectores a sistemas más completos como demostradores en el caso de los detectores de pozos cuánticos. En este sentido, se ha preparado un sistema autónomo que incorpora el fotodetector y la electrónica asociada.

Es importante mencionar que la Tesis se subdivide en dos líneas de investigación temáticamente independientes, correspondientes a fotodetectores basados en pozos cuánticos y fotodetectores basados en nitruros plano M para aplicaciones sensibles a la polarización de la luz. Cada línea de investigación a su vez se compone de los tres primeros bloques anteriores. El primer tipo de fotodetectores tiene como objetivo cubrir las necesidades expuestas en los objetivos 1-3, mientras que el segundo se plantea para cubrir un espacio poco explorado en los fotodetectores, añadiendo la ya mencionada funcionalidad de sensibilidad a la polarización de la luz (objetivo 4).

Estas dos líneas de investigación han sido el fruto del trabajo efectuado en el campo de los fotodetectores de nitruros, siendo posible trasladar muchos conceptos a otros sistemas de materiales. Desde un punto de vista práctico, se dispone de nuevos fotodetectores, que convenientemente optimizados pueden ser utilizados en aplicaciones comerciales relacionadas bien con las telecomunicaciones, bien con la detección de luz y sus características (es decir, como sensores en el ámbito de defensa, seguridad o sanidad, por ejemplo, o simplemente en instrumentación).

1.6 Conclusiones

La Tesis presentada desarrolla un estudio pionero en el campo de los fotodetectores en general y de los nitruros en particular. Las aportaciones han abarcado tanto parte teórica como experimental y han incluido de forma sinérgica disciplinas propias de la ingeniería, la ciencia y la tecnología, que, por otra parte, están tan interrelacionadas. Así, los mecanismos o propiedades, que se han encontrado en la caracterización o se han planteado desde un punto de vista teórico, se han plasmado en resultados prácticos mediante su aplicación a dispositivos concretos.

En primer lugar, se han introducido por primera vez, al menos en conocimiento del autor, los efectos piezoeléctricos para mejorar parámetros de fotodetección de los dispositivos. Esta propuesta ha dado lugar a la invención de un nuevo tipo de dispositivo con un mecanismo de ganancia de fotocorriente basado en el apantallamiento fotoinducido de la barrera de potencial generada por los campos eléctricos debidos al efecto piezoeléctrico. La ganancia de fotocorriente en estos dispositivos es moderada (>10), pero se consigue al mismo tiempo una fuerte reducción en la corriente en oscuridad, resultando en una mejora global de la detectividad en torno a un factor 100.

En segundo lugar, se ha descubierto un nuevo fenómeno físico denominado por el propio autor como *cuasi-deformación*, propio de heteroestructuras mesoscópicas formadas por materiales piezoeléctricos, que supone, bajo determinadas condiciones, la posibilidad de provocar un confinamiento espacial separado de electrones y huecos (*confinamiento por deformación*) de origen mecánico. Los cálculos numéricos y el modelo fenomenológico que describen este nuevo mecanismo de confinamiento predicen también el comportamiento óptico de las heteroestructuras mesoscópicas, proporcionando una guía de consideraciones prácticas para la fabricación de dispositivos optoelectrónicos (en este caso, se refiere fundamentalmente a emisores de luz, aunque el hecho de que se produzca un confinamiento separado de electrones y huecos permite postular un posible mecanismo de ganancia fotoconductiva).

En tercer lugar, se ha propuesto el uso de estructuras de pozos cuánticos de (In,Ga)N/GaN para realizar fotodetectores sirviéndose de sus transiciones interbanda como solución tecnológica a los dispositivos fabricados a partir de capas gruesas de (In,Ga)N. Se ha utilizado iluminación a través del sustrato para conseguir respuesta de tipo paso banda cuando así lo han requerido las aplicaciones finales (por ejemplo, para fluorescencia o control de la combustión). Aparte de servir como solución tecnológica, se ha estudiado el comportamiento de este tipo de estructuras con objeto de optimizar sus prestaciones y se ha encontrado que bajo ciertas condiciones puede producirse un efecto de ganancia gigante (superior a 10^6) para bajas corrientes de oscuridad.

Y por último, se han desarrollado por primera vez en el mundo fotodetectores sensibles a la polarización de la luz intrínsecos en la región del UV basados en GaN crecido con orientación plano M . Estos fotodetectores aprovechan la asimetría cristalina natural en el plano perpendicular a la incidencia de la luz para el material con orientación plano M . Esta asimetría supone un comportamiento dicróico para luz incidente sobre el material. Debido a la deformación biaxial anisótropa generada por el sustrato sobre el que se crece el GaN, el γ -LiAlO₂, la anisotropía óptica se refuerza con consecuencias muy interesantes para la fabricación de fotodetectores. Cálculos de las

reglas de selección de las transiciones y la estructura de bandas usando el método de perturbaciones $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ demuestran que la deformación del sustrato unida al efecto de la orientación cristalina generan un elevado grado de dicroísmo en torno a la energía del ancho de la banda prohibida del material (teóricamente se pueden alcanzar factores de anisotropía superiores a 100). Los fotodetectores fabricados ponen de manifiesto que esta tecnología es adecuada para aplicaciones donde se demande sensibilidad a la polarización de la luz, suministrando contrastes medidos cercanos a 10 en bandas estrechas de unos pocos nanómetros y responsividades de 60 mA/W. Este concepto de sensibilidad a la polarización se ha ampliado para añadir una nueva funcionalidad a estos fotodetectores, la capacidad de presentar una respuesta paso banda en bandas muy estrechas. Un procedimiento análogo al empleado para conseguir la respuesta paso banda se ha propuesto como técnica para determinar el ángulo absoluto de la polarización de la luz. También se han establecido unas reglas de diseño para optimizar las características de estos dispositivos en función del espesor del material activo.

Otras aportaciones menos significativas que las anteriores, pero también destacadas son las que conciernen a los estudios acerca de la localización de portadores en los compuestos de (In,Ga)N (se propone que la localización se debe a atrapamiento de huecos, como parece haberse comprobado posteriormente), al efecto de campo promedio negativo originado por efecto piezoeléctrico y a la optimización de las propiedades de dispositivos (reducción de corrientes de fugas, efecto del número de pozos cuánticos sobre la fotorrespuesta, etc.).

2. Originalidad

Una de las características más notables de la Tesis consiste precisamente en que abre nuevas líneas de investigación en el campo de los fotodetectores, concretamente las que se refieren al uso de estructuras de baja dimensionalidad y a estructuras sensibles a la polarización de la luz. Por tanto, la originalidad en estos casos no reside simplemente en el hecho de generar nuevas aportaciones, sino en que el trabajo en sí mismo se enmarca en una línea pionera en el mundo, donde apenas se pueden encontrar algunas referencias laterales en la literatura científica.

A continuación se presenta un repaso de cada uno de los hitos alcanzados a lo largo de este trabajo de Tesis dejando patente cuáles son las contribuciones más significativas, tanto de las nuevas líneas de investigación como de las aportaciones originales a otras líneas ya existentes:

1. En lo que se refiere al uso de estructuras basadas en sistemas de baja dimensionalidad (es decir, sistemas afectados por propiedades cuánticas), las contribuciones se pueden dividir en tres apartados:

a) Propiedades de los pozos cuánticos de (In,Ga)N/GaN

Se han encontrado evidencias experimentales de la formación de dominios de campo eléctrico generados por efecto de los campos piezoeléctricos en la región de los pozos cuánticos. Hasta la fecha, la mayor parte de los estudios recogen el efecto de los campos piezoeléctricos sobre periodos individuales de las estructuras de pozos cuánticos, obviando, por tanto, el efecto de los mismos sobre el potencial total del dispositivo. Estos dominios de campo eléctrico son el punto de partida de aplicaciones diversas, lineales y no lineales.

Se ha propuesto que la localización, una propiedad inherente del (In,Ga)N, se debe un atrapamiento preferencial de huecos en la escala nanométrica. El origen de la localización ha sido fuente de controversia desde los inicios de la expansión de los nitruros. Su importancia radica en que se considera la causa de la alta eficiencia de los diodos electroluminiscentes de nitruros. Poco después de que se publicara uno de los trabajos relacionados con esta Tesis donde se identificaban características de capacidad diferencial negativa con la localización, se presentó un trabajo por otros autores en la revista *Nature Materials* donde se llegaba a conclusiones similares partiendo de una técnica diferente.

b) Confinamiento por deformación en sistemas mesoscópicos

Se ha propuesto y desarrollado una teoría aplicable a estructuras basadas en materiales piezoeléctricos en la escala mesoscópica. Esta teoría introduce los conceptos de *cuasi-deformación* y confinamiento por deformación en sistemas de baja dimensionalidad. Además, **esta teoría supone el descubrimiento de un fenómeno físico nuevo** que debe ser considerado en un contexto más general que engloba a todos los materiales piezoeléctricos.

c) Fotodetectores basados en pozos cuánticos

Esta es una nueva línea de investigación que se sirve del conocimiento de las propiedades del material y las diferentes estructuras para diseñar dispositivos eficientes para la detección. En esta Tesis se han analizado las condiciones que justifican el uso de pozos cuánticos desde el punto de vista de detección. Se han hecho aportaciones tanto al estudio básico de las propiedades de los dispositivos (por ejemplo, en diodos $p-n$ se han determinado los factores que limitan la eficiencia de colección de portadores fotogenerados) como a su tecnología.

Se ha inventado un nuevo tipo de dispositivo basado en un mecanismo de ganancia de fotocorriente descubierto por el propio autor de la Tesis. Esta contribución demuestra por primera vez cómo se pueden combinar los efectos piezoeléctricos con la detección de luz.

Se ha iniciado un estudio de los mecanismos de ganancia en dispositivos basados en estructuras de baja dimensionalidad, **reportando algunos de los valores más altos de ganancia de fotocorriente encontrados en la literatura científica.**

2. En lo que se refiere al uso de estructuras sensibles a la polarización, las contribuciones se pueden dividir en dos apartados:

a) Efecto de la orientación cristalina en las propiedades del material GaN plano M

Se parte del conocimiento generado por colaboradores extranjeros del autor de la Tesis. Las aportaciones más originales se centran en el análisis de la emisión de fotoluminiscencia de las transiciones excitónicas del material en función de la temperatura y de su comparación con la teoría, donde se obtiene una solución analítica que permite estudiar el efecto de la variación de parámetros en la determinación de los componentes de deformación.

También se han analizado por primera vez, al menos en conocimiento del autor, las propiedades eléctricas de las superficies de GaN en el plano M .

b) Fotodetectores sensibles a la polarización de la luz

Esta es una línea de investigación nueva en los nitruros y, por su planteamiento, en general, de todos los semiconductores. **Se ha demostrado que la realización de dispositivos fabricados en GaN plano M crecido sobre sustratos de LiAlO_2 permite detectar el ángulo de polarización de la luz incidente normal al plano de la muestra.** La contribución de esta Tesis no sólo se ha limitado a la fabricación y caracterización de estos detectores, sino también a la determinación de sus condiciones de diseño.

Otra aportación original parte de la idea de emplear los fotodetectores como elementos de un sistema para mejorar sus características individuales. **El procedimiento planteado ha sido aplicado con éxito tanto para mejorar las capacidades de detección de polarización de la luz (incluyendo grado y fase de la**

polarización) como para obtener un sistema con respuesta paso banda de banda estrecha.

En resumen, esta Tesis ha generado un gran número de contribuciones novedosas, algunas de las cuales llegan a constituir incluso líneas de investigación propias con ramificaciones potenciales en este u otro campo de la ingeniería o la ciencia.

3. Resultados

Los resultados presentados en esta memoria se pueden clasificar dentro de dos grandes bloques. El primero trata de la utilización de sistemas de baja dimensionalidad como parte activa de los fotodetectores, haciendo especial énfasis en las propiedades piezoeléctricas del material y en el carácter intrínsecamente cuántico. El segundo trata de la fabricación, caracterización y diseño de fotodetectores sensibles a la polarización de la luz. A continuación se da una lista de resultados con una breve referencia del logro obtenido. Para más detalles, puede consultarse la memoria de la Tesis.

a) Fotodetectores basados en sistemas de baja dimensionalidad

- Se ha estudiado el papel de los campos de polarización (piezoeléctrica y espontánea) y los estados localizados en la determinación de las propiedades eléctricas y ópticas de las estructuras de pozos cuánticos múltiples. Los resultados indican que el comportamiento observado en todo el rango de contenidos de In sólo se puede explicar como una combinación de ambos efectos.
- Se han encontrado evidencias experimentales de la formación de dominios de campo eléctrico generados por efecto de los campos de polarización, de forma análoga a lo que se observó en el GaAs(111)B. Estos dominios surgen como consecuencia de la superposición de los campos eléctricos inducidos por la polarización en los pozos con los campos preexistentes en la estructura (por ejemplo, los debidos al potencial de superficie en una unión metal-semiconductor) en unas condiciones determinadas.
- Se ha comprobado que tanto el apantallamiento inducido por acumulación de carga como la compensación de campo eléctrico aplicando un voltaje externo dan lugar a efectos no lineales en las propiedades eléctricas y ópticas en este tipo de estructuras. Este resultado **abre la posibilidad de diseñar nuevos dispositivos con comportamiento no lineal.**
- Se ha observado que la localización por inhomogeneidad en composición puede generar una característica de capacidad diferencial negativa cuando se excita ópticamente a energías superiores al *gap* efectivo de los pozos cuánticos. Como conclusión, la localización se produce de forma preferente para huecos. Además, la densidad de estados obtenida en los experimentos de capacidad es de tipo punto cuántico.
- **Se ha propuesto y desarrollado una teoría aplicable a estructuras basadas en materiales piezoeléctricos en la escala mesoscópica.** Esta teoría, descubierta por el autor, introduce los conceptos de *cuasi-deformación* y confinamiento por deformación en sistemas de baja dimensionalidad. La *cuasi-deformación* representa la posibilidad de que la fuerza que origina la deformación actúe de forma distinta para cada uno de los portadores, electrones y huecos.
- Se ha desarrollado una tecnología de detectores basados en pozos cuánticos usando diferentes estructuras (fotoconductores, barreras Schottky y uniones p-n). Las prestaciones de estos detectores se han comparado en términos de corriente en oscuridad, responsividad y detectividad.

- Se ha propuesto que se puede generar ganancia de fotocorriente asociada a la modulación de la altura de barrera formada por el dominio de campo promedio negativo. El mecanismo de reducción de la altura de barrera es el apantallamiento inducido por los portadores fotogenerados. A diferencia de un mecanismo de ganancia fotoconductive estándar, la corriente en oscuridad se puede mantener a niveles bajos, de forma que la detectividad es mucho más alta que en el primer caso. Este resultado da lugar a un **nuevo tipo de fotodetectores que utilizan por primera vez de forma directa los efectos piezoeléctricos para mejorar su capacidad de detección.**
- Se ha desarrollado un modelo que explica la dependencia de la eficiencia de colección de los fotodetectores *p-i-n* basados en pozos cuánticos en función del voltaje aplicado. En este modelo se demuestra que la eficiencia de colección de corriente para pozos cuánticos situados en la zona de carga espacial aumenta significativamente con respecto a pozos situados en la zona cuasi-neutra cuando en estos últimos aumenta el cociente entre el tiempo de escape y el tiempo de recombinación.
- Se ha estudiado el efecto de introducir una barrera de (Al,Ga)N de bloqueo de corriente comparando los resultados producidos por muestras nominalmente iguales excepto por la presencia o no de esta capa. Se ha observado, de acuerdo con las predicciones teóricas, que la corriente en oscuridad disminuye tanto en directa como en inversa.
- **Se ha demostrado la existencia de ganancia fotoconductive gigante para pequeños voltajes en directa** en estructuras *p-i-n* basadas en pozos cuánticos altamente dopados.
- Se han realizado detectores con respuesta paso banda haciendo uso de una configuración con iluminación a través del sustrato. La capa del sustrato actúa como filtro óptico no dejando pasar luz a la zona activa de la unión p-n. El aislamiento eléctrico se consigue de forma natural dado que sólo es posible transporte por difusión y el espesor de la capa es suficientemente grande.

b) Fotodetectores sensibles a la polarización de la luz

- Se ha comprobado el efecto de la deformación anisótropa sobre el espectro de fotoluminiscencia de las emisiones excitónicas intrínsecas. La deformación anisótropa induce una separación importante de las bandas de valencia superiores, que puede llegar a ser de varias decenas de milielectrón-voltios, y, lo que es más importante para su aplicación en dispositivos, modifica las reglas de selección de las transiciones.
- Se ha derivado una solución analítica del Hamiltoniano determinado por el método de perturbaciones $\mathbf{k}\cdot\mathbf{p}$ que permite estudiar el efecto de la variación de parámetros en la determinación de los componentes de deformación.
- Se han estudiado las propiedades eléctricas de las superficies en material GaN plano M mostrando que las alturas de barrera para estas superficies son más bajas que para

las superficies en el plano *C* (orientación habitual en el crecimiento de nitruros). La densidad de estados es también inferior en el caso del plano *M*, lo que apunta a un comportamiento de la superficie muy dependiente de la orientación cristalina.

- **Se ha demostrado que la realización de dispositivos fabricados en GaN plano *M* crecido sobre sustratos de LiAlO₂ permite detectar el ángulo de polarización de la luz incidente normal al plano de la muestra por primera vez en el mundo.**
- Se han determinado las condiciones de diseño óptimas de fotodetectores sensibles a la polarización genéricos en función del espesor de la capa activa.
- **Se ha propuesto, demostrado y patentado un procedimiento que permite emplear estos fotodetectores para detectar el grado y la fase de la polarización de la luz. Un procedimiento similar y compatible con el anterior permite obtener una respuesta paso banda de banda muy estrecha, por lo que además de las características de la polarización se pueden determinar simultáneamente la intensidad y la longitud de onda de luz con muy poco error.**

Parte de los fotodetectores fabricados como resultado de la investigación realizada en esta Tesis se han destinado a formar parte de sistemas más completos de aplicación industrial (detección de llama y monitorización y control de la combustión) o de carácter básico (detección de contaminantes, biochips y detectores integrados).

Estos resultados están recogidos en más de 65 publicaciones internacionales en revistas de alto factor de impacto (*Applied Physics Letters*, *Physical Review Letters*, *Physical Review B*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, *Journal of Applied Physics*, entre otras) y conferencias, así como en 11 proyectos de investigación nacionales e internacionales y 1 patente. Algunas partes de este trabajo han sido seleccionadas y citadas por organismos extranjeros (ver anexos para más detalles):

1. La utilización de los detectores sensibles a la polarización de la luz para su aplicación como detectores de banda estrecha aparece como noticia de la Comisión Europea el 22 de junio de 2007.
2. Dos revistas internacionales de difusión científica (*Compound Semiconductors and Optics*) también han hecho eco de los resultados relacionados con el detector sensible a la polarización de la luz escribiendo sus sendos artículos.
3. En el informe de la conferencia internacional ISBLED 2006 se ha citado el trabajo de los detectores sensibles a la polarización como una de las novedades destacadas.
4. Dos artículos publicados en la revista *Physical Review B* relacionados con la teoría del confinamiento por deformación han sido seleccionados para su inclusión en el *Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology*.

El autor también ha sido nominado por su aportación en el campo de los semiconductores para formar parte de los integrantes de la edición del 2009 de *Who's who in the World*.

4. Aplicabilidad

La tecnología desarrollada en esta Tesis es de carácter básico, por lo que el abanico de aplicaciones es muy amplio. En particular, es una de las tecnologías que ha sido considerada de interés para desarrollar aplicaciones militares por el Departamento de Defensa Americano. A continuación se presenta una lista de aplicaciones agrupadas temáticamente. Es importante mencionar que la mayoría de las aplicaciones que figuran en la lista son de doble uso y, por tanto, no se pueden considerar excluyentes de otro grupo.

a) Tecnologías para la defensa y seguridad

En las tecnologías para la defensa y seguridad, la detección de la polarización de la luz aporta un valor añadido notable (**en el apartado de publicaciones nacionales del anexo 4 se cita un artículo escrito por el autor de la Tesis en el *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa* donde se dan amplios detalles de las ventajas potenciales de esta tecnología para aplicaciones militares**). La razón fundamental es que las características de la polarización de la luz dan información complementaria, útil para discriminar entre metales y dieléctricos, identificar contornos de imágenes, distinguir entre un objeto y el fondo o separar cuantitativamente reflexiones difusas de especulares. Así, la detección de polarización de la luz puede ser usada como herramienta para generar imágenes computerizadas que permitan reconocer blancos o imágenes de forma automática, incluso aunque estos utilicen camuflajes. Por otra parte, este tipo de aplicaciones también requieren en ocasiones alta sensibilidad y selectividad espectral, siendo idóneos los fotodetectores diseñados para tener alta resolución espectral y también los fotodetectores de alta ganancia. Algunos ejemplos de aplicaciones son:

- i) Detección de estelas de misiles. Se requiere alta selectividad espectral y sensibilidad. La ventaja de los fotodetectores de UV proviene de que estos son más difíciles de engañar que los que trabajan en el infrarrojo.
- ii) Reconocimiento y detección automática de objetivos, incluso para hacer inefectivo el uso de camuflajes empleando fotodetectores sensibles a la polarización de la luz.
- iii) Inspección de daños en cascos de buques. Una inspección automatizada con fotodetectores sensibles a la polarización podría ahorrar mucho tiempo y costes en las tareas rutinarias de mantenimiento.
- iv) Detección de agentes biológicos y químicos. Al igual que en el punto i) son aconsejables fotodetectores de alta selectividad y sensibilidad. En concreto, los fotodetectores de banda muy estrecha pueden proporcionar prestaciones únicas.

b) Comunicaciones ópticas

- i) Comunicaciones fuera de la línea de visión. Una solución alternativa a la transmisión vía radio es la utilización de comunicaciones ópticas que aprovechan la retrodispersión atmosférica para guiar la luz del emisor al receptor

sin necesidad de que estos estén en línea de visión directa. Se ha demostrado que la eficiencia de estos sistemas para emisión y recepción en el UV puede ser mejor que la de los sistemas de radiofrecuencia. El problema histórico del coste está dejando de ser una limitación desde que se han conseguido fabricar los primeros emisores de UV de cierta potencia basados en nitruros. Desde el punto de vista del fotodetector, se podrían mejorar mucho las prestaciones y el coste de los sistemas si se emplearan dispositivos semiconductores de alta ganancia como los que se proponen en esta Tesis.

- ii) Comunicaciones submarinas. Existen ventanas de transmisión en el UV para comunicaciones marinas. De nuevo, la existencia de fotodetectores baratos y de altas prestaciones podrían ser útiles en estas aplicaciones.
- iii) Comunicaciones Tierra-espacio. Interesan fotodetectores que aprovechen la ventana óptica atmosférica siendo sensibles al UV e insensibles a la luz visible e infrarroja. La selectividad y la detectividad son las principales figuras de mérito para esta aplicación, siendo parámetros estudiados en los dispositivos propuestos.

c) Tecnologías de almacenamiento de datos

Se pueden utilizar fotodetectores sensibles a la polarización de la luz en sistemas magneto-ópticos que emplean el efecto Kerr magneto-óptico para grabar y leer datos. Este efecto consiste en que la polarización de la luz reflejada varía con el estado magnético de la superficie donde están almacenados los datos. Si se utilizan láseres en el UV, será necesario tener fotodetectores sintonizados también en el UV (o fotodetectores con filtros externos, lo que puede ser una solución más costosa).

d) Fitolitografía de alta resolución

La fitolitografía óptica con luz UV se presenta como una tecnología interesante para la fabricación masiva de dispositivos y componentes. Esta aplicación no es previsiblemente tan crítica como las anteriores, siendo criterios importantes el coste y la fiabilidad.

e) Sistemas de detección UV

Existen muchos sistemas que generan UV en determinadas situaciones de forma que se puede extraer información de los mismos simplemente midiendo la intensidad de esta señal filtrada del resto de componentes de luz de fondo. Ejemplos de aplicaciones son la detección de llama o el control de la combustión. En estos casos, algunos de los dispositivos estudiados junto con sus sistemas electrónicos asociados han sido ya empleados con éxito.

f) Moduladores electro-ópticos

Los moduladores electro-ópticos se basan en un concepto ligeramente distinto al de los fotodetectores. La peculiaridad reside en que el borde de detección tiene que ser sensible al voltaje aplicado en el dispositivo. Una mayor eficiencia se obtiene empleando estructuras de pozos cuánticos en la zona activa.

g) Sistemas relacionados con la salud

Estos son ejemplos de aplicaciones de consumo, como sistemas de purificación de agua o de control de la exposición solar, donde la fiabilidad y el coste son los principales requisitos. Entre los fotodetectores fabricados se pueden encontrar algunos que cumplen con estos requisitos (*p-i-n* basados en pozos cuánticos, por ejemplo).

Las aplicaciones mencionadas arriba demuestran el interés potencial de los fotodetectores estudiados. Su aplicabilidad podría ser directa en muchos casos y en otros podría requerir de un cierto trabajo de optimización.

ANEXOS

ANEXO 1

Menciones y premios al trabajo desarrollado en la Tesis de especial relevancia

1. Best Student Paper Award otorgado por la organización del congreso internacional WOCSDICE 2003 por el artículo "On the photoresponse of (Al,Ga)N-based UV detectors at high energy photons"
2. Noticia breve sobre el trabajo de detectores sensibles a la polarización con el siguiente título: "Euro-Indo collaboration develops new photo-detector", sección Technology Development, European Commission > Research > Headlines, publicado el 22 de junio de 2007.
3. Dos revistas internacionales de difusión científica publican artículos haciendo referencia a los resultados relacionados con el detector sensible a la polarización de la luz:
 - a. Compound Semiconductors (número de abril de 2007)
 - b. Optics (número de 15 de junio de 2007)
4. El informe de la conferencia internacional ISBLLED 2006 ha citado el trabajo de los detectores sensibles a la polarización como una de las novedades destacadas con referencia:
Jean-Yves Duboz, Conference Report: 6th International Symposium on Blue Laser and Light Emitting Diodes (ISBLLED 2006), Montpellier, France, 15–19 May 2006, Phys. Stat. Sol. (a), 2307 (2006).
5. Dos artículos publicados en la revista Physical Review B relacionados con la teoría del confinamiento por deformación propuesta y desarrollada por el autor de esta Tesis han sido seleccionados para su inclusión en el Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology (veáse la lista de publicaciones para obtener la referencia de los artículos).
6. Nominación para formar parte de la publicación Who's Who in the World, Ed. Marquis.

ANEXO 2

Patentes y Modelos de utilidad

Inventores (p.o. de firma): **Carlos Rivera**, Elías Muñoz, Holger T. Grahn
Título: Procedimiento y sistema de detección de polarización de la luz con respuesta paso banda

N. de solicitud: P200701926 País de prioridad: España Fecha de prioridad: 9/07/2007
Entidad titular: UPM, Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik
Países a los que se ha extendido: Pendiente por decidir
Empresa/s que la están explotando:

NOTA: Existe otra patente en preparación en la fecha de entrega de este documento.

ANEXO 3

Participación en Proyectos de I+D financiados en Convocatorias públicas

Título del proyecto: **AlGaN Solar-Blind UV photodetectors fabricated on Si(111)substrates**

Entidad financiadora: Office National d'Etudes et des Recherches Aérospatiales
Entidades participantes: Dpto. Ingeniería Electrónica (UPM), CNRS Valbonne (France)
Duración, desde: 2001 hasta: 2003
Investigador responsable: Elías Muñoz Merino
Número de investigadores participantes: 3

Título del proyecto: **Sensores de llama para gasodomésticos mediante detectores de ultravioleta de GaN**

Entidad financiadora: PETRI
Entidades participantes: ISOM (UPM), ORKLI, Fagor, Ikerlan
Duración, desde: 2000 hasta: 2003
Investigador responsable: Elías Muñoz Merino
Número de investigadores participantes: 3

Título del proyecto: **Tecnologías y Aplicaciones de Microsistemas Activos Inteligentes (TAMAI)**

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología. TIC-2001-3838-C03-01.
Entidades participantes: ISOM (UPM), ETSII (UPM)
Duración, desde: 2002 hasta: 2005
Investigador responsable: Elías Muñoz Merino
Número de investigadores participantes: 3

Título del proyecto: **Desarrollo de sensorización basada en fotodetectores GaN para monotorización de combustión**

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología. FIT-020100-2003-411.
Entidades participantes: ISOM (UPM), ORKLI, Fagor, Ikerlan
Duración, desde: 2003 hasta: 2004
Investigador responsable: Elías Muñoz Merino
Número de investigadores participantes: 3

Título del proyecto: **Desarrollo de sensor UV**

Entidad financiadora: Ikerlan, Universidad Politécnica de Madrid
Entidades participantes: Dpto. Ingeniería Electrónica (UPM)
Duración, desde: 2003 hasta: 2004
Investigador responsable: Elías Muñoz Merino
Número de investigadores participantes: 2

Título del proyecto: **Desarrollo de sensorización basada en fotodetectores GaN para monitorización de combustión**

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología. FIT-020400-2004-58.

Entidades participantes: ISOM (UPM), ORKLI, Fagor, Ikerlan

Duración, desde: 2004 hasta: 2005

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: 3

Título del proyecto: **New generation of GaN-based sensor arrays for nano- and pico-fluidic systems for fast and reliable bio-medical testing**

Entidad financiadora: Unión Europea. STREP 505641-1 contract nº NMP4-CT-2003-505641.

Entidades participantes: ISOM (UPM), TUI, TUM, UoC, FORTH, UNIPRESS, TOPGAN, EADS, Analytic Jena

Duración, desde: 2004 hasta: 2007

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: 5

Título del proyecto: **Nueva generación de matrices de sensores basados en GaN para sistemas nano y pico-fluidos para análisis biomédico rápido y fiable**

Entidad financiadora: TEC-2004-004-E Acción Complementaria.

Entidades participantes: ISOM (UPM)

Duración, desde: 2004 hasta: 2007

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: 5

Título del proyecto: **Desarrollo de Dispositivos Emisores y Detectores en el rango Ultravioleta para Aplicaciones en Comunicaciones, Generación de Luz Blanca, Detección de Contaminación y Bio-Fotónica**

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología. MAT-2004-02875.

Entidades participantes: ISOM (UPM)

Duración, desde: 2004 hasta: 2007

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: 7

Título del proyecto: **Fabrication of AlGaIn/GaN High Mobility Transistors grown on Si(111) and SiC/Si(111) substrates**

Entidad financiadora: NRC-SEPOCYT/CSIC-UPM

Entidades participantes: ISOM (UPM), CSIC, Canadá

Duración, desde: 2004 hasta: 2006

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: -

Título del proyecto: **Ultrahigh sensitivity Slot-Waveguide Biosensor on a highly integrated chip for simultaneous diagnosis of multiple diseases (SABIO)**

Entidad financiadora: Unión Europea. SABIO-026554.

Entidades participantes: ISOM (UPM),

Duración, desde: 2006 hasta: 2009

Investigador responsable: Carlos Angulo Barrios

Número de investigadores participantes: -

Título del proyecto: **Key Organisation for Research on Integrated Circuits in GaN Technology (KORRIGAN)**

Entidad financiadora: Unión Europea. Contract nº 04/102.052/032, 2005-2009.

Entidades participantes: Thales, IEMN, Picogiga, IRCOM, Selex, elettronica, CRN IFN, INFM-NNL Leche, U. Of Roma, Politécnico di Torino, U. De Padova, UMS GMBH, Thales Naval Nederland, TNO-FEL, Ericsson Microwave Systems, Chalmers Univ., Linköping Univ., Norstel, Saab Tech., INDRA, CIDA, ISOM, Selex UK, BAE, QinetiQ.

Duración, desde: 2005 hasta: 2009

Investigador responsable: Elías Muñoz Merino

Número de investigadores participantes: >100

ANEXO 4**Publicaciones o Documentos Científico-Técnicos**

El trabajo realizado por el candidato ha sido publicado en revistas internacionales de alto factor de impacto sometidas a un proceso de revisión por pares, tales como Applied Physics Letters, Physical Review Letters, Physical Review B, Journal of Applied Physics, IEEE Journal of Quantum Electronics, Applied Optics, Journal of Crystal Growth, Superlattices and Microstructures, entre otras.

(CLAVE: L = libro completo, CL = capítulo de libro, A = artículo, R = “review”, E = editor, S = Documento Científico-Técnico restringido.)

Los artículos se han ordenado por año de publicación. Las publicaciones incluyen artículos en revistas, capítulos de libros, libros y otros documentos.

Publicaciones Internacionales

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, E. Muñoz

Título: Observation of giant photocurrent gain in highly doped (In,Ga)N/GaN MQW-based photodiodes

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 92 Páginas, inicial: (3 páginas) Fecha:2008

Lugar de publicación: Applied Physics Letters (en prensa)

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn

Título: Detection of the optical polarization angle with bandpass characteristics based on *M*-plane GaN photodetectors

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 91 Páginas, inicial: 203514 (3 páginas) Fecha: 2007

Lugar de publicación: Applied Physics Letters

Autores (p.o. de firma): S. Ghosh, **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn

Título: Narrow-band photodetection based on *M*-plane GaN films

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 205 Páginas, inicial: 1100-1102 Fecha: 2008

Lugar de publicación: Physica Status Solidi (a)

Autores (p.o. de firma): U. Jahn, E. Calleja, J. Ristic, A. Trampert, **C. Rivera**
Título: Spatially Resolved Luminescence Spectroscopy of Single GaN/(Al,Ga)N Quantum Disks

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 5 Páginas, inicial: 2164-2166 Fecha: 2008

Lugar de publicación: Physica Status Solidi (c)

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: Intrinsic photoluminescence of *M*-plane GaN films on LiAlO₂ substrates

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 101 Páginas, inicial: 053527 (6 páginas) Fecha: 2007

Lugar de publicación: Journal of Applied Physics

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, U. Jahn, T. Flissikowski, J.L. Pau, E. Muñoz, H.T. Grahn
Título: Strain-confinement mechanism in mesoscopic quantum disks based on piezoelectric materials

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 75 Páginas, inicial: 045316 (10 páginas) Fecha: 2007

Lugar de publicación: Physical Review B (**seleccionado el 22/01/2007**, ver anexo 1)

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: Electrical and optical characterization of *M*-plane GaN films grown on LiAlO₂ substrates

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 4 Páginas, inicial: 2548 final: 2551 Fecha: 2007

Lugar de publicación: Physica Status Solidi (c)

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: *M*-plane GaN-based dichroic photodetectors

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 4 Páginas, inicial: 86 final: 89 Fecha: 2007

Lugar de publicación: Physica Status Solidi C

Autores (p.o. de firma): S, Ghosh, **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn

Título: Very narrow-band ultraviolet photodetection based on strained *M*-plane GaN films

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 90 Páginas, inicial: 091110 (3 páginas) Fecha: 2007

Lugar de publicación: Applied Physics Letters

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog

Título: Strained *M*-plane GaN for polarization-sensitive applications

Ref. X revista : Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: 250 final: 253 Fecha: 2007

Lugar de publicación: IEEE 2007 Spanish Conference on Electron Devices

Autores (p.o. de firma): A. Navarro, **C. Rivera**, R. Cuerdo, J.L. Pau, J. Pereiro, E. Muñoz

Título: Low frequency noise in InGaN/GaN MQW based photodetector structures

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 204 Páginas, inicial: 262 final: 266 Fecha: 2007

Lugar de publicación: Physica Status Solidi A

Autores (p.o. de firma): A. Navarro, **C. Rivera**, R. Cuerdo, J.L. Pau, J. Pereiro, F. Calle, E. Muñoz

Título: Noise study in photodiodes based on InGaN/GaN MQWs

Ref. X revista : Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: 321 final: 324 Fecha: 2007

Lugar de publicación: IEEE 2007 Spanish Conference on Electron Devices

Autores (p.o. de firma): J. Pereiro, **C. Rivera**, J.L. Pau, A. Navarro, S. Fernández-Garrido, S. Grzanka, M. Leszczynski, E. Muñoz

Título: Design of InGaN based photodetectors by internal field engineering

Ref. X revista : Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: 296 final: 299 Fecha: 2007

Lugar de publicación: IEEE 2007 Spanish Conference on Electron Devices

Autores (p.o. de firma): J. Pereiro, J.L. Pau, **C. Rivera**, A. Navarro, E. Muñoz, R. Czernecki, G. Targowski, P. Prystawko, M. Krysko, M. Leszczynski, T. Suski
Título: InGaN growth applied to the fabrication of photodetector devices ” in “Nitrides and dilute nitrides: Growth, physics and devices

Ref. revista : X Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha: 2007
Editorial (si libro): Research Signpost, ISBN: 81-7895-250-5
Lugar de publicación: India

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz
Título: Photocurrent gain mechanism in Schottky barrier photodiodes with negative average electric field

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 89 Páginas, inicial: 263505 (3 páginas) Fecha: 2006

Lugar de publicación: Applied Physics Letters

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, P. Misra, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: Polarization-sensitive photodetectors based on *M*-plane GaN grown on LiAlO₂ substrates

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 88 Páginas, inicial: 213507 (3 páginas) Fecha: 2006

Lugar de publicación: Applied Physics Letters

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, A. Navarro, E. Muñoz
Título: Photoresponse of (In,Ga)N-GaN Multiple-Quantum-Well Structures in the Visible and UVA Ranges

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 42 Páginas, inicial: 51 final: 58 Fecha: 2006

Lugar de publicación: IEEE Journal of Quantum Electronics

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, T. Ive, O. Brandt
Título: Photocapacitance characteristics of (In,Ga)N/GaN MQW structures

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 3 Páginas, inicial: 1978 final: 1982 Fecha: 2006

Lugar de publicación: Physica Status Solidi C

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, J. Anduaga, **C. Rivera**, A. Navarro, I. Álava, M. Redondo, E. Muñoz

Título: Optical sensors based on III-nitride photodetectors for flame sensing and combustion monitoring

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 45 Páginas, inicial: 7498 final: 7503 Fecha: 2006

Lugar de publicación: Applied Optics

Autores (p.o. de firma): J. Ristic, **C. Rivera**, E. Calleja, S. Fernández-Garrido, M. Povoloskyi, A. Di Carlo

Título: Carrier confinement effects in Nanocolumnar GaN/AlGaIn Heterostructures Grown by Molecular Beam Epitaxy

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 72 Páginas, inicial: 085330 final: 085335 Fecha: 2005

Lugar de publicación: Physical Review B (**seleccionado el 29/08/2005**, ver anexo 1)

Autores (p.o. de firma): J. Ristic, E. Calleja, A. Trampert, S. Fernández-Garrido, **C. Rivera**, U. Jahn, K.H. Ploog

Título: Columnar AlGaIn/GaN Nanocavities with AlN/GaN Bragg Reflectors Grown by Molecular Beam Epitaxy on Si(111)

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 94 Páginas, inicial: 146102 (4 páginas) Fecha: 2005

Lugar de publicación: Physical Review Letters

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, J. Pereiro, **C. Rivera**, E. Muñoz, E. Calleja
Título: Plasma-assisted molecular beam epitaxy of nitride-based photodetectors for UV and visible applications

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 278 Páginas, inicial: 718 final: 722 Fecha: 2005

Lugar de publicación: Journal of Crystal Growth

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, A. Navarro, E Muñoz
Título: Ultraviolet and visible nitride photodetectors: applications

Ref. X revista : Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: 7 (4 páginas) Fecha: 2005

Lugar de publicación: IEEE 2005 Spanish Conference on Electron Devices

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, J. Pereiro, E. Muñoz
Título: Properties of Schottky barrier photodiodes based on InGaN/GaN MQW structures

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 36 Páginas, inicial: 849 final: 857 Fecha: 2004

Lugar de publicación: Superlattices and Microstructures

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J.L. Pau, F.B. Naranjo, E. Muñoz
Título: Novel photodetectors based on InGaN/GaN multiple quantum wells

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 201 Páginas, inicial: 2658 final: 2662 Fecha: 2004

Lugar de publicación: Physica Status Solidi A

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, **C. Rivera**, E. Muñoz, E. Calleja, U. Schühle, E. Frayssinet, B. Beaumont, J. P. Faurie, P. Gibart
Título: Response of ultra-low dislocation density GaN photodetectors in the near- and vacuum-UV

Ref. X revista: Libro
Clave: A Volumen: 95 Páginas, inicial: 8275 final: 8279 Fecha: 2004

Lugar de publicación: Journal of Applied Physics

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, E. Muñoz, E. Calleja, U. Schühle, E. Frayssinet, B. Beaumont, J. P. Faurie, P. Gibart
Título: Nitride-based photodetectors: from visible to X-ray monitoring

Ref. X revista: Libro
Clave: A Volumen: 36 Páginas, inicial: 807 final: 814 Fecha: 2004

Lugar de publicación: Superlattices and Microstructures

Autores (p.o. de firma): U. Schühle, J.F. Hochedez, J.L. Pau, **C. Rivera**, C. Van-Hoof, J. John, J.P. Kleider, J. Álvarez, E. Muñoz, M. Nesladek, F. Omnès, T. Appourchaux, B. Fleck, P. Lemaire, P. Muret, A. Peacock, M. C. Castex, A. Deneuve
Título: Development of imaging arrays for solar UV observations based on wide band gap materials

Ref. X revista: Libro
Clave: A Volumen: 5171 Páginas, inicial: 231 final: 238 Fecha: 2003

Lugar de publicación: Proceedings SPIE 2003 (San Diego, EEUU)

Autores (p.o. de firma): E. Muñoz, J.L. Pau, **C. Rivera**
Título: Nitride photodetectors in UV biological effects studies

Ref. revista : X Libro
Clave: CL Volumen: Páginas, inicial: final: Fecha:
2003
Editorial (si libro): Kluwer Publishers
Lugar de publicación: Proceedings NATO ARW 2003

Autores (p.o. de firma): J.L. Pau, O. Hainout, **C. Rivera**, E. Muñoz, E. Calleja, J.F. Hochedez, F. Omnès, U. Schühle, P. Lemaire
Título: Fabrication and characterization of AlGaIn photodetectors for applications in the EUV/XUV ranges

Ref. X revista : Libro
Clave: S Volumen: Páginas: 4 páginas Fecha: 2003

Lugar de publicación: 2003 Spanish Conference on Electron Devices

Artículos en preparación (resultados experimentales concluidos):

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, U. Jahn, E. Muñoz, H.T. Grahn
Título: Piezoelectric effects on the potential envelope of III-nitride structures

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: Páginas: Fecha: 2008

Lugar de publicación: Physical Review B

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**, J. Pereiro, E. Muñoz, O. Brandt, H. T. Grahn
Título: Advances in III-nitride photodetectors

Ref. X revista : Libro
Clave: R Volumen: Páginas: Fecha: 2008

Lugar de publicación: The Open Electrical & Electronic Engineering Journal

Autores (p.o. de firma): J. Pereiro, **C. Rivera**, A. Navarro, E. Muñoz, R. Czernecki, S. Grzanka, M. Leszczyński
Título: Optimization of InGaIn/GaN MQW photodetector structures for high responsivity performance

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: Páginas: Fecha: 2008

Lugar de publicación: IEEE J. Quantum Electron. (enviado)

Publicaciones Nacionales

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**

Título: Nueva tecnología: Nitruros del grupo III para la detección de polarización de la luz

Ref. X revista : Libro
Clave: A Volumen: 17 Páginas, inicial: 18 final: 20 Fecha: 2007

Lugar de publicación: Boletín de Observación Tecnológica en Defensa, editado por el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica, Dirección General de Armamento y Material

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**

Título: Curso de Mecánica Cuántica

Ref. revista : Libro
Clave: S Volumen: Páginas: 148 páginas Fecha: 2007

Lugar de publicación: Internet (web del Dpto. Ingeniería Electrónica, UPM)

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**

Título: Medida de la responsividad de detectores de infrarrojo de pozos cuánticos

Ref. revista : X Libro
Clave: L Volumen: Páginas: Fecha: 2002
Editorial (si libro): ETSI de Telecomunicación (UPM)

Lugar de publicación: Madrid

Autores (p.o. de firma): **C. Rivera**

Título: Curso de Física del Estado Sólido

Ref. revista : X Libro
Clave: S Volumen: Páginas: (en preparación) Fecha: 2008

Lugar de publicación: Internet (web del Dpto. Ingeniería Electrónica, UPM)

ANEXO 5

Contribuciones a Congresos

El trabajo realizado por el candidato ha dado lugar a más de 30 publicaciones en conferencias, un gran número de las cuales son orales e invitadas.

Autores: **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: Strained *M*-plane GaN for polarization-sensitive applications
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: Conferencia de Dispositivos Electrónicos 2007

Publicación: 2007 Spanish Conference on Electron Devices IEEE Proceedings

Lugar celebración: El Escorial (Madrid, España)
Fecha: 31 enero- 2 febrero de 2007

Autores: S. Ghosh, **C. Rivera**, J. L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H. T. Grahn
Título: Narrow-band photodetection based on *M*-plane GaN
Tipo de participación: Poster
Congreso: 7th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS)

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Las Vegas (Nevada, USA)
Fecha: septiembre de 2007

Autores: U. Jahn, E. Calleja, J. Ristic, A. Trampert, **C. Rivera**
Título: Spatially resolved luminescence spectroscopy of single GaN/(Al,Ga)N quantum disks
Tipo de participación: Oral
Congreso: 7th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS)

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Las Vegas (Nevada, USA)
Fecha: septiembre de 2007

Autores: J. Pereiro, **C. Rivera**, J.L. Pau, A. Navarro, S. Fernandez–Garrido, S. Grzanka, M. Leszczynski, E. Muñoz

Título: Growth and characterization of (In,Ga)N based photodetectors designed by internal field engineering

Tipo de participación: Poster

Congreso: European Molecular Beam Epitaxy Workshop

Lugar celebración: Granada (España)

Fecha: 5-7 de marzo de 2007

Autores: J. Pereiro, **C. Rivera**, J.L. Pau, A. Navarro, S. Fernandez – Garrido, S. Grzanka, M. Leszczynski, E. Muñoz

Título: Design, by internal field engineering, of InGaN based photodetectors

Tipo de participación: Poster

Congreso: Conferencia de Dispositivos Electrónicos 2007

Publicación: 2007 Spanish Conference on Electron Devices IEEE Proceedings

Lugar celebración: El Escorial (Madrid, España)

Fecha: 31 de enero - 2 de febrero de 2007

Autores: A. Navarro, **C. Rivera**, R. Cuerdo, J.L. Pau, J. Pereiro, E. Muñoz

Título: Noise study in photodiodes based on InGaN/GaN MQW

Tipo de participación: Poster

Congreso: Conferencia de Dispositivos Electrónicos 2007

Publicación: 2007 Spanish Conference on Electron Devices IEEE Proceedings

Lugar celebración: El Escorial (Madrid, España)

Fecha: 31 de enero - 2 de febrero de 2007

Autores: **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog

Título: *M*-plane GaN-based dichroic photodetectors

Tipo de participación: Comunicación oral

Congreso: ISBLLED 2006

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Montpellier (Francia)

Fecha: 15-19 de mayo de 2006

Autores: **C. Rivera**, P. Misra, J.L. Pau, E. Muñoz, O. Brandt, H.T. Grahn, K.H. Ploog
Título: Electrical and optical characterization of *M*-plane GaN films grown on LiAlO₂ substrates

Tipo de participación: Poster
Congreso: IWN 2006

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Kyoto (Japón)
Fecha: 22-27 de octubre de 2006

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz
Título: Internal gain mechanisms in III-nitride based MQW photodetectors
Tipo de participación: Poster
Congreso: IWN 2006

Publicación:

Lugar celebración: Kyoto (Japón)
Fecha: 22-27 de octubre de 2006

Autores: E. Muñoz, **C. Rivera**, J. Pereiro, J.L. Pau, A. Navarro, P. Misra, O. Brandt, H.T. Grahn, U. Jahn, K.H. Ploog
Título: Recent advances in III-N-based photodetectors
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada
Congreso: 2006 Japanese-Spanish-German Joint Workshop on Advanced Semiconductor Optoelectronic Materials and Devices

Publicación:

Lugar celebración: Teikyo (Berlín, Alemania)
Fecha: 8-10 de marzo de 2006

Autores: A. Navarro, **C. Rivera**, J. Pereiro, J.L. Pau, E. Muñoz
Título: Low frequency noise in InGaN/GaN MQW- and InGaN-based photodetector structures
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: ISBLLED 2006

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Montpellier (Francia)
Fecha: 15-19 de mayo de 2006

Autores: J. L. Pau, J. Pereiro, **C. Rivera**, P. Sellin, A. Navarro, P. Tapia, E. Muñoz
Título: Prospects of nitride-based photodetectors for the full range: from visible to alpha-particle irradiation
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: European Workshop on III-Nitride Semiconductor Materials and Devices

Publicación:

Lugar celebración: Heraklion (Creta, Grecia)
Fecha: 18-20 de septiembre de 2006

Autores: J. Pereiro, **C. Rivera**, J. L. Pau, A. Navarro, S. Fernández-Garrido, E. Muñoz
Título: InGaN-based enhanced photodetection by internal field engineering: Growth and characterization of visible and near UV photodetectors
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: European Workshop on III-Nitride Semiconductor Materials and Devices

Publicación:

Lugar celebración: Heraklion (Creta, Grecia)
Fecha: 18-20 de septiembre de 2006

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, T. Ive, O. Brandt
Título: Photocapacitance characteristics of (In,Ga)N/GaN MQW structures
Tipo de participación: Poster
Congreso: 6th International Conference on Nitride Semiconductors

Publicación: *Physica Status Solidi*

Lugar celebración: Bremen (Alemania)
Fecha: 28 de agosto-2 de septiembre de 2005

Autores: E. Calleja, J. Ristic, **C. Rivera**, S. Fernández-Garrido, M. Povoloskyi, A. Di Carlo, A. Trampert, K.H. Ploog
Título: Self-assembled growth of AlGaIn/GaN/AlGaIn Nanocavities on Si(111) by MBE
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada.
Congreso: 13th Euro MBE Workshop

Publicación:

Lugar celebración: Grindelwald (Switzerland)
Fecha: 7-9 de marzo de 2005

Autores: J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, A. Navarro, E. Muñoz
Título: Ultraviolet and visible nitride photodetectors: Applications
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada
Congreso: Conferencia de Dispositivos Electrónicos 2005

Publicación: 2005 Spanish Conference on Electron Devices IEEE Proceedings

Lugar celebración: Tarragona (España)
Fecha: 2-4 de febrero de 2005

Autores: J. Pereiro, J.L. Pau, **C. Rivera**, E. Muñoz
Título: InGaN-based photoconductors and photodiodes grown by Molecular Beam Epitaxy
Tipo de participación: Poster
Congreso: 13th Euro MBE Workshop

Publicación:

Lugar celebración: Grindelwald (Switzerland)
Fecha: 7-9 de marzo de 2005

Autores: J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, A. Navarro, R. Pecharromán, E. Muñoz
Título: III-Nitride-based photodetectors for the visible range
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: WOCSDICE 2005

Publicación:

Lugar celebración: Cardiff (Reino Unido)
Fecha: 16-17 de mayo de 2005

Autores: J. Ristic, **C. Rivera**, S. Fernández-Garrido, E. Calleja, A. Trampert, K.H. Ploog, M. Povoloskyi, A. Di Carlo
Título: Carrier confinement effects in III-N Nanocolumnar Heterostructures and Nanocavities Grown by Molecular Beam Epitaxy
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: 6th International Conference on Nitride Semiconductors

Publicación:

Lugar celebración: Bremen (Alemania)
Fecha: 28 de agosto-2 de septiembre de 2005

Autores: J.L. Pau, **C. Rivera**, P. Tapia, A. Navarro, E. Muñoz
Título: Radiation detectors based on group-III nitrides
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: 10th European Symposium on Semiconductor Detectors

Publicación:

Lugar celebración: Wildbad Kreuth (Alemania)
Fecha: 12-16 de junio de 2005

Autores: E. Muñoz, J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, A. Navarro, and R. Pecharromán
Título: (Al,In,Ga)N-based UV and VIS Photodetectors
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada.
Congreso: The 18th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society

Publicación:

Lugar celebración: Sydney (Australia)
Fecha: 23-27 de octubre de 2005

Autores: J. L. Pau, **C. Rivera**, E. Muñoz
Título: Development of radiation detectors based on group III-N compounds
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: COST action P7: X-ray and neutron optics

Publicación:

Lugar celebración: Madrid (Spain)
Fecha: 5-7 de mayo de 2005

Autores: E. Muñoz, E. Luna, **C. Rivera**, J. Miguel-Sánchez, A. Guzmán, A. Hierro, J. L. Pau, E. Calleja
Título: Quantum well photodetectors based on nitrides. Operation in the near IR, visible and UV
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada.
Congreso: Japanese-Spanish-German Joint Workshop on Advanced Semiconductor Optoelectronic Materials and Devices

Publicación:

Lugar celebración: Yufuin (Japón)
Fecha: Marzo de 2004

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, F. B. Naranjo, E. Muñoz
Título: InGaN/(Al)GaN-based multiple-quantum-well photodetectors
Tipo de participación: Poster
Congreso: ISBLLED 2004

Publicación: Physica Status Solidi

Lugar celebración: Gyeongju (Corea)
Fecha: 15-19 de marzo de 2004

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, J. Pereiro, E. Muñoz
Título: Properties of Schottky barrier photodiodes based on InGaN/GaN MQW structures
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: E-MRS 2004

Publicación: Superlattices and Microstructures

Lugar celebración: Estrasburgo (Francia)
Fecha: 24-28 de mayo de 2004

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, J. Pereiro, E. Muñoz
Título: Photoresponse of III-nitrides detectors in the $\lambda > 360$ nm and $\lambda < 200$ nm regions
Tipo de participación: Comunicación oral. Invitada.
Congreso: 11th Advanced Heterostructure Workshop

Publicación:

Lugar celebración: Kohala Coast, Big Island of Hawaii (USA)
Fecha: 5-10 de diciembre de 2004

Autores: J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, E. Muñoz, E. Calleja, U. Schühle, E. Frayssinet, B. Beaumont, J. P. Faurie, P. Gibart
Título: Nitride-based photodetectors: from visible to X-ray monitoring
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: E-MRS 2004

Publicación: Superlattices and Microstructures

Lugar celebración: Estrasburgo (Francia)
Fecha: 24-28 de mayo de 2004

Autores: J.L. Pau, **C. Rivera**, J. Pereiro, E. Muñoz, E. Calleja
Título: Plasma-assisted molecular beam epitaxy of nitride-based photodetectors for UV and visible applications
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: International Conference of MBE 2004

Publicación: Journal of Crystal Growth

Lugar celebración: Edimburgo (Escocia)
Fecha: 22-27 de agosto de 2004

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, O. Hainout, E. Muñoz
Título: On the photoresponse of (Al,Ga)N-based UV detectors at high energy photons
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: WOCSDICE 2003

Publicación: Memoria de congreso

Lugar celebración: FÜRIGEN (Suiza)
Fecha: 26-28 de mayo de 2003

Best Student Paper Award

Autores: **C. Rivera**, J.L. Pau, E. Muñoz, F.B. Naranjo, E. Calleja
Título: InGaN/(Al,Ga)N multiple-quantum-well based photodetectors
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: heTech 2003

Publicación: Memoria de congreso

Lugar celebración: San Rafael (España)
Fecha: 12-15 de octubre de 2003

Autores: E. Muñoz, J.L. Pau, **C. Rivera**
Título: Nitride photodetectors in UV biological effects studies
Tipo de participación: Comunicación oral
Congreso: NATO ARW on UV Solid-State Light Emitters and Detectors

Publicación: Proceedings NATO ARW

Lugar celebración: Vilnius (Lituania)
Fecha: 24-27 de junio de 2003

Autores: J. L. Pau, O. Hainout, **C. Rivera**, E. Muñoz, J. F. Hochedez, F. Omnès, U. Schühle, P. Lemaire

Título: Fabrication and characterisation of AlGaIn photodetectors for applications in the EUV/XUV ranges

Tipo de participación: Póster

Congreso: Conferencia de Dispositivos Electrónicos 2003

Publicación: Proceedings CDE 2003

Lugar celebración: Calella de la Costa (España)

Fecha: 12-14 de febrero de 2003

ANEXO 6

Estancias en Centros extranjeros (estancias continuadas superiores a un mes)

CLAVE: D = doctorado, P = postdoctoral, I = invitado, C = contratado, O = otras (especificar).

Centro: Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik

Localidad: Berlín

País Alemania

Fecha: 1/10/2004-30/12/2004

Duración (semanas): 13

Tema: Estudio de propiedades ópticas de nitruros del grupo III

Clave: D

ANEXO 7

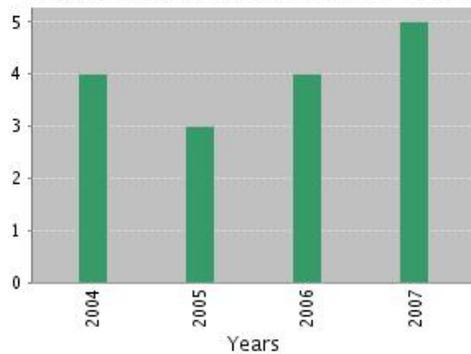
En este anexo se incluye la información referente a las citas de otros investigadores en publicaciones internacionales según los datos que figuran en ISI Web of Knowledge.

[<< Back to previous results list](#)

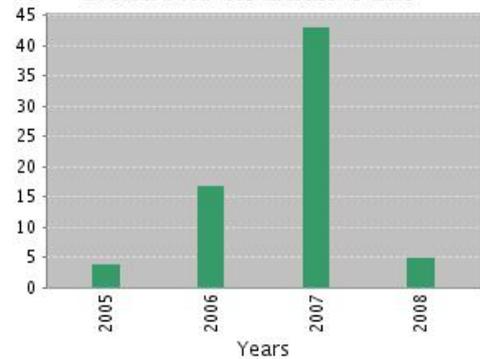
Citation Report Author=(RIVERA,C) AND Institution=(UNIV POLITECN MADRID OR ETSI TELECOMMUN OR ISOM)
Timespan=ALL Years. Databases=IC, SCI-EXPANDED, CCR-EXPANDED [back to 1840], A&HCI, SSCI.

This report reflects citations to source items indexed within Web of Science. Perform a Cited Reference Search to include citations to items not indexed within Web of Science.

Published Items in Each Year



Citations in Each Year



La mayor parte de las citas provienen de artículos con alto factor de impacto. Algunos ejemplos extraídos de ISI Web of Knowledge son:

Optical polarization properties of M-plane GaN films investigated by transmittance anisotropy spectroscopy

Author(s): Bhattacharyya J, Ghosh S, Arora BM, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 91 Issue: 25 Article Number: 251913 Published: 2007

High-detectivity nitride-based MSM photodetectors on InGaN-GaN multiquantum well with the unactivated Mg-doped GaN layer

Author(s): Chang PC, Yu CL, Chang SJ, et al.

Source: IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS Volume: 43 Issue: 11-12 Pages: 1060-1064 Published: 2007

Gallium nitride metal-semiconductor-metal photodetectors prepared on silicon substrates

Author(s): Chuang RW, Chang SP, Chang SJ, et al.

Source: JOURNAL OF APPLIED PHYSICS Volume: 102 Issue: 7 Article Number: 073110 Published: 2007

Low-noise and high-detectivity GaNUV photodiodes with a low-temperature AlN cap layer

Author(s): Chang PC, Yu CL, Chang SJ, et al.

Source: IEEE SENSORS JOURNAL Volume: 7 Issue: 9-10 Pages: 1289-1292
Published: 2007

AlGaN MSM photodetectors with recess-etched LT-AlGaN cap layers

Author(s): Hung H, Chang SJ, Lin YC, et al.

Source: IET OPTOELECTRONICS Volume: 1 Issue: 4 Pages: 147-149 Published:
2007

Influences of multiquantum barriers on carrier recombination in InGaN/GaN multiple-quantum-well light-emitting diodes

Author(s): Nee TE, Wang JC, Shen HT, et al.

Source: JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS BRIEF COMMUNICATIONS & REVIEW PAPERS Volume: 46 Issue: 4B
Pages: 2413-2417 Published: 2007

AlGaN ultraviolet metal-semiconductor-metal photodetectors with low-temperature-grown cap layers

Author(s): Chang SJ, Hung H, Lin YC, et al.

Source: JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 1-REGULAR PAPERS BRIEF COMMUNICATIONS & REVIEW PAPERS Volume: 46 Issue: 4B
Pages: 2471-2473 Published: 2007

Optical properties of GaN nanopillar and nanostripe arrays with embedded InGaN/GaN multi quantum wells

Author(s): Keller S, Fichtenbaum NA, Schaake C, et al.

Source: PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC SOLID STATE PHYSICS Volume:
244 Issue: 6 Pages: 1797-1801 Published: 2007

Optical polarization anisotropies in GaN films for different nonpolar orientations

Author(s): Grahn HT

Source: PHYSICA STATUS SOLIDI B-BASIC SOLID STATE PHYSICS Volume:
244 Issue: 6 Pages: 1839-1847 Published: 2007

InGaN-GaN MQW metal-semiconductor-metal photodiodes with semi-insulating Mg-doped GaN cap layers

Author(s): Yu CL, Chuang RW, Chang SJ, et al.

Source: IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS Volume: 19 Issue: 9-12
Pages: 846-848 Published: 2007

Photocurrent gain in 4H-SiC interdigit Schottky UV detectors with a thermally grown oxide layer

Author(s): Sciuto A, Roccaforte F, Di Franco S, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 90 Issue: 22 Article Number: 223507 Published: 2007

AlGaN photodetectors prepared on Si substrates

Author(s): Chiou YZ, Lin YC, Wang CK

Source: IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS Volume: 28 Issue: 4 Pages: 264-266 Published: 2007

GaN and InN nanowires grown by MBE: A comparison

Author(s): Calarco R, Marso M

Source: APPLIED PHYSICS A-MATERIALS SCIENCE & PROCESSING Volume: 87 Issue: 3 Pages: 499-503 Published: 2007

Electronic band structure of wurtzite InN around the fundamental gap in the presence of biaxial strain

Author(s): Bhattacharyya J, Ghosh S

Source: PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE Volume: 204 Issue: 2 Pages: 439-446 Published: 2007

Ni/Au contacts on homoepitaxial p-ZnSe with surface oxygen plasma treatments

Author(s): Lin TK, Lam KT, Chang SJ, et al.

Source: JOURNAL OF VACUUM SCIENCE & TECHNOLOGY B Volume: 25 Issue: 1 Pages: 213-216 Published: 2007

Micro-Raman spectroscopy of a single freestanding GaN nanorod grown by molecular beam epitaxy

Author(s): Hsiao CL, Tu LW, Chi TW, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 90 Issue: 4 Article Number: 043102 Published: 2007

Orange-red light-emitting diodes based on a prestrained InGaN-GaN quantum-well epitaxy structure

Author(s): Chen HS, Lu CF, Yeh DM, et al.

Source: IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS Volume: 18 Issue: 21-24 Pages: 2269-2271 Published: 2006

Electrical properties of Ohmic contacts to ZnSe nanowires and their application to nanowire-based photodetection

Author(s): Salfi J, Philipose U, de Sousa CF, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 89 Issue: 26 Article Number: 261112 Published: 2006

Two-photon excitation spectroscopy of coupled asymmetric GaN/AlGaIn quantum discs

Author(s): Lee KH, Birner S, Na JH, et al.

Source: NANOTECHNOLOGY Volume: 17 Issue: 23 Pages: 5754-5758
Published: 2006

Origin of high oscillator strength in green-emitting InGaIn/GaN nanocolumns

Author(s): Kawakami Y, Suzuki S, Kaneta A, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 89 Issue: 16 Article Number: 163124 Published: 2006

Enhancement of free-carrier screening due to tunneling in coupled asymmetric GaN/AlGaIn quantum discs

Author(s): Lee KH, Na JH, Taylor RA, et al.

Source: APPLIED PHYSICS LETTERS Volume: 89 Issue: 2 Article Number: 023103 Published: 2006

Heteroepitaxial ZnSe MIS photodetectors with SiO₂ and BST insulator layers

Author(s): Lin TK, Chang SJ, Chiou YZ, et al.

Source: SOLID-STATE ELECTRONICS Volume: 50 Issue: 5 Pages: 750-753
Published: 2006

**POLITÉCNICA**

D. LUIS DE VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, VICERRECTOR PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE POSTGRADO DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CERTIFICA:

que **D. CARLOS RIVERA DE LUCAS** ha alcanzado la mención de “Doctor Europeo” por acuerdo de la Comisión de Postgrado de Doctorado de fecha 2 de julio de 2007 y una vez leída su Tesis Doctoral titulada *“Estudio de estructuras de baja dimensionalidad y avanzadas para la detección de radiación visible y ultravioleta basadas en nitruros del grupo III”* con todos los requisitos establecidos en el artículo I de la Normativa de Doctorados Europeos aprobada por la Comisión de Doctorado de la UPM en sesión de 3 de febrero de 2000.

La lectura de la Tesis Doctoral de D. Carlos Rivera de Lucas tuvo lugar el día 13 de julio de 2007 en la E.T.S.I. Telecomunicación de la UPM siéndole otorgada, por unanimidad, la calificación de Sobresaliente Cum Laudem.

Y para que así conste, a los efectos oportunos, se expide el presente certificado en Madrid a catorce de diciembre de dos mil siete.

Obtuvo la Mención de Doctor Europeo, de conformidad con el Acuerdo de la Comisión de Doctorado de la Universidad Politécnica de Madrid de 3 de Febrero de 2000.

