

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE PELÍCULAS DELGADAS DE DIAMANTE

ELABORATION AND PHYSICAL CHARACTERIZATION OF DIAMOND THIN FILMS

Aníbal Valera¹, Edward Ramos²

RESUMEN

Este proyecto considera la elaboración de películas delgadas de diamante a partir del método plasmático (Glow discharge inducido) desarrollado en el Laboratorio de Óptica y Semiconductores. La correspondiente caracterización óptica y eléctrica de los materiales elaborados.

Palabras clave.- Películas delgadas, Diamante, Celdas solares, Guías de onda ópticas.

ABSTRACT

This Project involves the elaboration of thin films of Diamante up from a non conventionally plasmatic process, developed at the Laboratory de Optica y semiconductores/UNI (Glow Discharge induced). The corresponding optical and electric characterization of the obtained probes.

Key words.- Thin films, Diamond, Solar cells, Optical wave guides.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto surge como consecuencia del proyecto “Estudio del semiconductor carburo de silicio”, desarrollado en el periodo 2004-2005, y en el cual, se elaboraron por el método de “Glow discharge inducido”, películas semiconductoras de SiC de estructura nanocristalina [8 y 9]. En base a la experiencia ganada en ese proyecto, consideramos factible producir películas de diamante teniendo como base un gas que contenga carbono (por ejemplo propano) y aplicando el mismo procedimiento Plasmático desarrollado en nuestro Laboratorio.

El proyecto en mención se enmarca dentro del Proyecto global “Conversión Fotovoltaica de la Energía Solar”, inscrito en la dirección de investigación de la Facultad de Ciencias, en el marco del cual se desarrollan y evalúan nuevos materiales con fines de aplicación fotovoltaica.

Históricamente, los primeros intentos de sintetizar diamante se remontan a los alquimistas de la edad media, no obstante las primeras experiencias serias fueron iniciadas en 1890 por el químico francés MOISSAN, que tuvo la idea de utilizar los efectos de temperatura y presión elevadas, asociadas a solventes de carbono apropiados, para sintetizar diamante. Este procedimiento experimental es en todo análogo al proceso natural que tuvo lugar en las capas interiores de la tierra en su etapa de formación hace miles de millones de años. Sin embargo, fue recién en 1954 que se realizó el primer diamante sintético: Un equipo de la General Electric efectivizó un método de crecimiento a alta presión (70 Kbar) y alta temperatura (1600°C), perfeccionando una prensa hidráulica inventada en 1941 por el premio Nóbel de Física Bridgman. A partir de esa fecha se desarrollaron nuevas innovaciones técnicas para producir diamantes sintéticos [1]. Aparte del método convencional de sintetizar diamante, se

¹Dr. Docente Investigador de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, ²Alumno de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería.

desarrollo un método alternativo para la elaboración de films de diamante, el denominado método CVD. En 1958, W. Eversole de la firma Unión Caribe, logró obtener películas policristalinas de diamante, empleando una reacción plasmática de hidrógeno y metano (10 - 100 mbar, 700-900°C), con tasas de crecimiento del orden de 1 nm/h, no obstante con altas impurezas de grafito. A partir de esa fecha investigadores de diversos países (ExURSS, Japón, USA, Europa), han tomado sucesivamente la posta del frente de Investigación en este material, lográndose a la fecha producir diamante de alta calidad en la forma de films, fibras, recubrimientos, etc. Lo que desde ya constituye una enorme ventaja comparando con el uso limitado que posee el diamante natural [2].

El material Diamante en película delgada, es uno de los últimos avances en el desarrollo de nuevos materiales [1 y 2] y cuyas excepcionales propiedades ameritan el interés no solo de la comunidad científica internacional (por ejemplo: CNRS- Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux et des Hautes Pressions) sino más aun de empresas tales como: Daimler Benz AG, Materialforschung (BMFT-Projekt 03 M 2727 E: "Diamant als Elektronik Material").

Las diferentes técnicas de elaboración de diamante en película delgada, están permitiendo desarrollar a su vez un conjunto de tipos de "Diamante", cuyas propiedades físicas (sobre todo: ópticas y eléctricas) son notoriamente diferentes unas de otras, lo que está conduciendo a diferentes aplicaciones (en la electrónica, óptica y energía nuclear, entre otras) [3, 4].

Uno de los métodos más importantes empleados ordinariamente para la elaboración de películas delgadas de diamante, es la denominada: Deposición química en fase de vapor asistida (CVD assisted) con gases precursores de hidrógeno y metano [5, 6 y 7], y temperaturas de cristalización del orden de 800°C. En el presente Proyecto nos limitamos a usar Hidrogeno y Propano como gases precursores y temperaturas de trabajo del orden de temperatura ambiente.

FUNDAMENTO

El crecimiento cristalino de diamante requiere de una fase reactiva constituyente de átomos de

hidrogeno y de radicales de carbono. El proceso más utilizado para este fin es el denominado CVD (Chemical Vapor Deposition), por el cual, se confina en una cámara una mezcla gaseosa compuesta principalmente de hidrogeno y metano a baja presión (ca. 1 mbar), la que luego se excita (disocia). Esta mezcla se puede disociar de varias maneras: mediante suministro de energía térmica, por ejemplo, mediante un filamento caliente (a 2200°C), mediante una descarga eléctrica (campo eléctrico DC) o también electromagnéticamente (en un campo de radiofrecuencia o microondas), lo que se muestra esquemáticamente en la Fig. 1.

En el caso de que la activación se produzca por descarga eléctrica, como es nuestro caso, se crea un medio reactivo que se denomina "plasma frío", en donde el campo externo aplicado permite la aceleración de los portadores de carga (electrones, iones), los que a su vez transfieren su energía a las moléculas gaseosas por medio de choques múltiples, tal que estas le transfieren su energía a las moléculas gaseosas, las que se ionizan, formando especies carbonadas reactivas y sobre todo hidrógeno atómico.

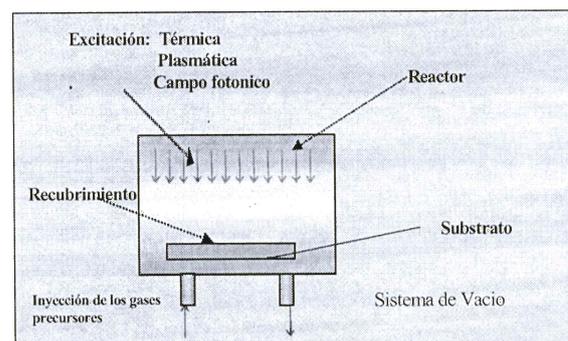


Fig. 1 Diagrama esquemático de la cámara de reacción en el proceso CVD.

Los radicales de carbono y el hidrógeno atómico se encuentran así en un estado de superequilibrio, condensándose las especies carbonadas sobre un sustrato caliente (850°C), mientras que el hidrógeno juega un papel de canalizador y estabilizador de la cristalización tipo diamante (sp^3). El film de diamante se va a formar progresivamente capa por capa.

El porqué la fase de diamante es favorecida comparada con la fase de grafito, aun no es entendida del todo, no obstante se comprueba experimentalmente, que de aparecer esta última va

a ser consumida a favor de la estructura de diamante.

Según Hartman [3] existen tres tipos de fases cristalinas de diamante: las fases en cuña (esquinadas), las fases en escalón y las fases lisas, predominando el crecimiento de caras lisas (dirección $\langle 111 \rangle$ y $\langle 100 \rangle$).

Las características globales del film de diamante resultante, tales como la pureza de la fase diamante, la talla del grano, el espesor, la morfología, la presencia (o no) de textura, etc. van a depender fuertemente de los parámetros experimentales de crecimiento establecidos.

PARTE EXPERIMENTAL

El proceso experimental seguido se puede resumir en los siguientes pasos:

- Elaboración de películas delgadas de diamante por el método de descarga plasmática.
- Mediciones de espectros de transmisión de las muestras.
- Mediciones de modos de transmisión vía guía óptica.
- Medición de índices de refracción.
- Medición del tipo de semiconductor elaborado.
- Medición de respuesta fotovoltaica.

Elaboración de las películas de diamante.- La elaboración de las películas de diamante se efectuó mediante un nuevo sistema de descarga plasmática construido en el desarrollo de este proyecto.

El método aplicado constituye una variante del procedimiento ordinario "Glow discharge" desarrollado en la UNI y aplicado exitosamente para la elaboración de materiales semiconductores nanocristalinos, descrito ampliamente en anteriores publicaciones [8], diferenciándose esencialmente en que la fuente del material de base no es sólido, sino gaseosa (gas propano), lo cual va a favorecer notoriamente el crecimiento de las películas, reduciendo los periodos de cristalización de 1 mes a algunos días.

En la Fig. 2 se muestra el correspondiente diagrama esquemático del equipo construido. La presión de trabajo es del orden de 1 Torr y la corriente plasmática se fija en un promedio de 30 mA.

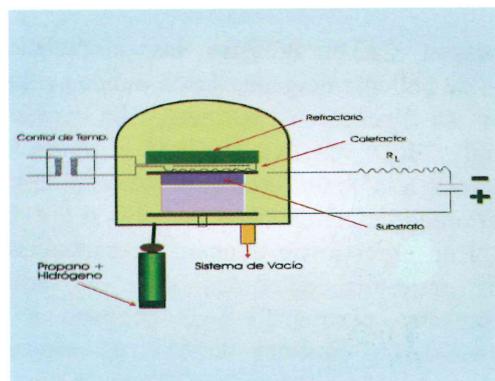


Fig. 2 Diagrama esquemático de la cámara de reacción en el proceso CVD/UNI.

Las primeras películas de diamante obtenidas con este sistema usando solamente el gas propano son translúcidas mostrando una ligera coloración granate, creciendo a un promedio de 50 nm/h, mostrando todas un fuerte carácter semiconductor tipo "n". Las películas de diamante obtenidas con este sistema usando simultáneamente el gas propano y el gas hidrógeno fueron de manera general más translúcidas mostrando una ligera coloración amarilla, creciendo a un promedio de 80 nm/h, mostrando todo un ligero carácter semiconductor tipo "n".

Mediciones de espectros de transmisión.- Las mediciones de transmitancia se efectuaron mediante un sistema multicanal óptico (OMA) según se muestra esquemáticamente en la Fig. 4.

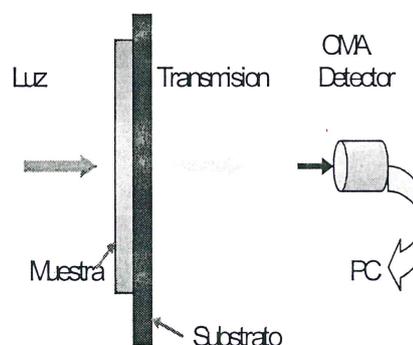


Fig. 4 Sistema experimental OMA para la evaluación de espectros de transmisión de las muestras obtenidas.

En la Fig. 5, se presenta un espectro de transmisión característico de las muestras obtenidas por el primer procedimiento plasmático (CVD/Propano).

La muestra CCD8 muestra las modulaciones propias de película delgada, desde donde se puede estimar su espesor (2.60 μm). La variación espectral del coeficiente de transmisión corresponde a la de un semiconductor con un cuasi gap del orden de 2.2 eV (560 nm). En la Fig. 6, se presenta un espectro de transmisión característico de las muestras obtenidas por el segundo procedimiento plasmático (gas propano + gas hidrógeno). La muestra CCD5 es altamente transparente, detectándose una ligera coloración amarilla, correspondiente a un nivel trap alrededor de 2.4 eV.

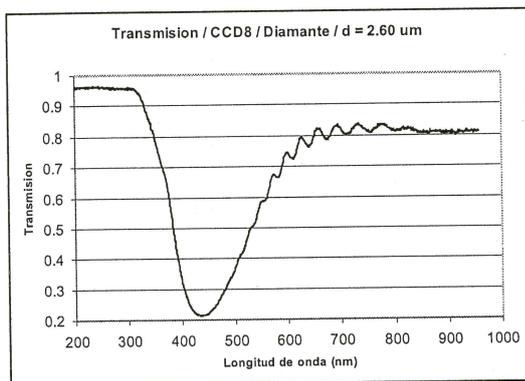


Fig. 5 Espectro de transmisión de una muestra de diamante (película CCD8) sobre un sustrato de vidrio, obtenidas por el primer procedimiento plasmático (CVD/Propano).

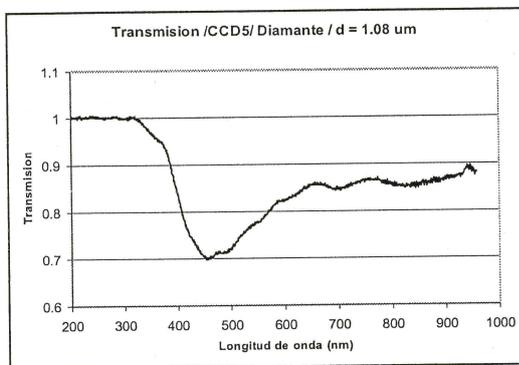


Fig. 6 Espectro de transmisión de una muestra de diamante (película CCD5) sobre un sustrato de vidrio, obtenidas por el segundo procedimiento plasmático (en base al gas propano).

Mediciones de modos de transmisión vía guía óptica.- En la Fig. 7 se muestra de manera

esquemática el arreglo experimental empleado en la determinación de los modos de transmisión en una guía óptica. Un haz monocromático (633 nm) incide sobre un prisma de acople, haciendo un ángulo θ_i . El haz entra a la guía por el prisma. Si la inclinación del haz que llega a la guía óptica, cumple la condición de resonancia, el rayo se propagará por esta, llegando al otro extremo de la guía, incidiendo finalmente sobre el detector (D).

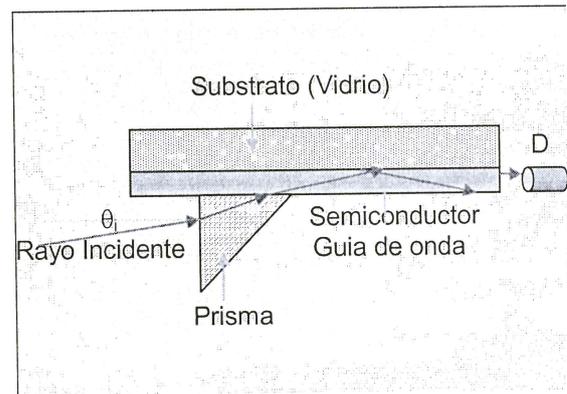


Fig. 7 Diagrama esquemático del principio experimental empleado en la medición de modos de propagación en guías ópticas.

En la Fig. 8 se muestra el resultado de la evaluación de la transmisión de una guía óptica plana realizada con una película de diamante (CC02) de espesor 6.98 μm y de índice de refracción 2.24. El gráfico muestra un solo modo de propagación para un ángulo de incidencia $\theta_i = 14.4^\circ$, el que corresponde al modo 13 de esta guía con un ángulo de ataque interno $\phi_i = 37.5^\circ$.

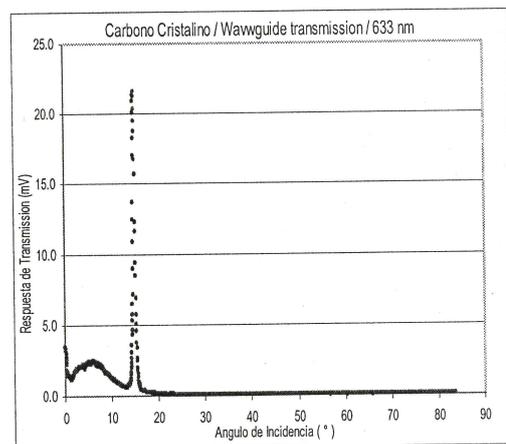


Fig. 8 Respuesta de la propagación preferencial de un modo en una guía óptica plana de diamante (película CC02).

Mediciones del índice de refracción.- Los índices de refracción de las muestras elaboradas se midieron por el Método de Brewster, a la longitud de onda de 675 nm. El resultado que se muestra en la Fig. 9 corresponde a la muestra CC02, empleada en la transmisión de guía óptica, resultando un índice de refracción efectivo de 2.24.

En las muestras elaborados por el segundo procedimiento plasmático (gas puro) los índices de refracción resultan del orden de 2.4, valores estos que se acercan notablemente al del sólido Diamante convencional (2.42).

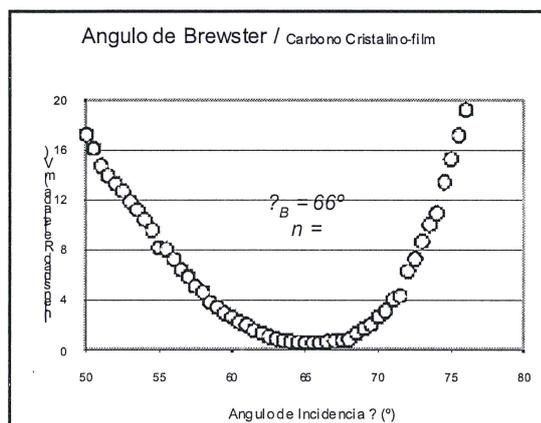


Fig. 9 Determinación experimental del ángulo de Brewster para una película de diamante (CC02).

Mediciones del tipo de semiconductor.- El método usado para determinar el comportamiento semiconductor y en particular el tipo de semiconducción de las muestras elaboradas es el denominado "La sonda Seebeck". En la Fig. 10 se muestra esquemáticamente el arreglo empleado: 2 electrodos (uno caliente, otro frío) se adhieren sobre la muestra de referencia, produciéndose una señal de voltaje (termo voltaje), cuyo signo y magnitud va a depender del tipo de semiconductor aplicado.

En la Fig. 11 se presenta la respuesta de termo voltaje de una película de diamante elaborada por el procedimiento CVD y en donde se observa que al aplicarse el calentamiento del electrodo referencial la señal de voltaje se incrementa negativamente (Zona entre flechas), reasumiendo su valor original al enfriarse paulatinamente. Todas las muestras de diamante elaboradas por este

procedimiento, muestran este comportamiento que es característico de semiconductores tipo "n".

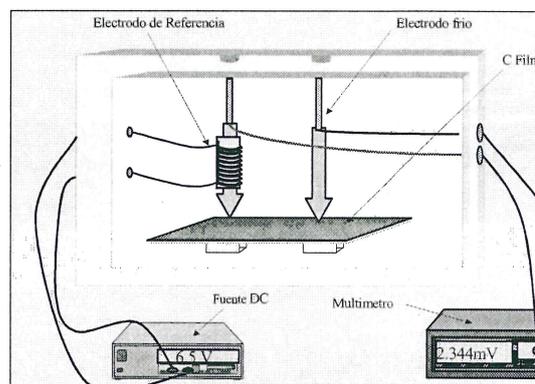


Fig. 10 Diagrama esquemático del arreglo experimental (Sonda Seebeck), para determinar el tipo de conducción en muestras semiconductoras.

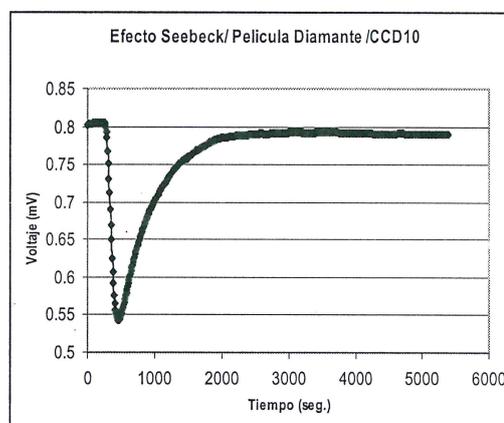


Fig. 11 Respuesta de termo voltaje de una película semiconductor de diamante (Muestra CCD10) experimental (Sonda Seebeck), para determinar el tipo de conducción en muestras semiconductoras.

Medición de respuesta fotovoltaica.- Una aplicación de las películas semiconductoras de diamante es en la elaboración de nuevos tipos de celdas solares.

A partir las muestras tipo "n" desarrolladas en este proyecto se construyó una unión fotovoltaica (tipo Schottky): unión Aluminio / Semiconductor, como se describe en la Fig. 12. Sobre un sustrato de vidrio, sobre el que se ha recubierto previamente una capa de óxido de estaño (TO) (capa conductora y transparente), que va a actuar como electrodo y a la vez ventana de entrada de la luz.

Sobre el TO se deposita la película de diamante y sobre esta la película metálica (Aluminio).

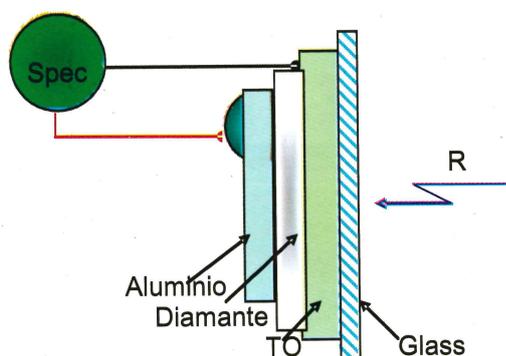


Fig. 12 Diagrama esquemático de la unión fotovoltaica construida en base a una película de diamante y una capa de aluminio.

Finalmente, tanto al aluminio como también al conductor TO se adosan los contactos eléctricos de la celda solar. En la Fig. 13 se presenta la respuesta fotovoltaica de la unión descrita.

El resultado obtenido es aún prematuro y factible de ser mejorado sustancialmente, tal que permita obtener con buena resolución un espectro de eficiencia cuántica, lo que será motivo de un próximo proyecto.

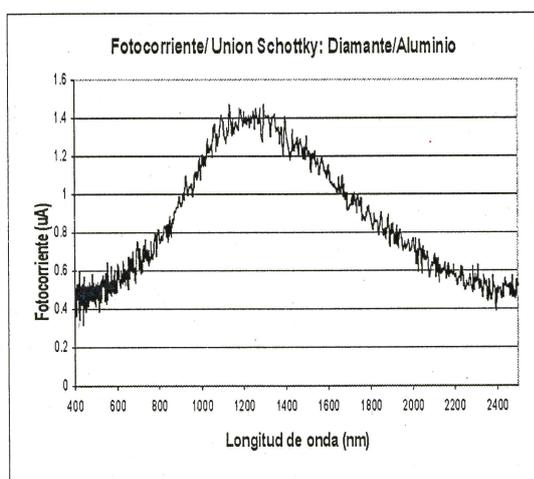


Fig. 13 Respuesta fotovoltaica de una celda solar construida en base a una película de diamante (tipo n) y una capa de aluminio.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente trabajo no se han realizado evaluaciones de estructura que permitan asegurar plenamente que las muestras elaboradas sean películas de diamante. No obstante, debido a que se emplea el mismo equipo y procedimiento que se utilizó en la elaboración de nanocrisales de carburo de silicio [8], se estima que el resultado sea análogo: elaboración de nanocrisales de diamante. Esta aseveración se refuerza con la determinación de ciertos parámetros físicos propios de diamante.

Las muestras transparentes elaboradas por el segundo procedimiento plasmático (gas propano + gas hidrógeno), poseen un Gap energético que se escapa del rango de medición de nuestros equipos, cuyo límite máximo es 5 eV, lo que se puede esperar de películas diamantadas de alta calidad cuyo gap energético es del orden de 5.4 eV [1].

Las muestras translucidas elaboradas por el primer procedimiento plasmático (Gas propano) muestran un cuasigap del orden de 2.2 eV. Este hecho se puede explicar por la presencia de un nivel interbanda por debajo de la banda de conducción, cuyo borde empieza en 2.2 eV.

La existencia de un nivel interbanda de alta absorción se ve confirmada mediante evaluaciones de transmitancia UV (Espectro Fig. 5), en donde se aprecia una zona de absorción localizada alrededor de 2.79 eV (445 nm), fuera de la cual el material es nuevamente transparente.

El hecho de que las muestras translucidas muestren conductividad tipo "n" es coherente con la existencia de niveles localizados 2.2 eV por debajo de la banda de conducción.

La coloración de las muestras translucidas y los correspondientes niveles interbanda se deben muy probablemente a los bordes de grano nanocrystalino, cuya densidad produce típicamente un gran número de fallas estequiométricas.

Como corolario a este trabajo, que demuestra la posibilidad de realizar en nuestro medio materiales de punta, se debe indicar que el mismo se ha realizado con equipos desarrollados en el Laboratorio de Óptica y Semiconductores de la Facultad de Ciencias.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo del presente proyecto contamos con el apoyo económico del Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias / UNI, por lo que estamos muy reconocidos.

REFERENCIAS

1. **Bachmann, P. K., Van Enckevort, W.**, "Diamond deposition technology". *Diamond and Related Materials*, pp. 1, 1021 – 1034, Holanda, 1992.
2. **Findeling-Dufour, C.**, et al. "Growth of large single-crystal diamond layers: analysis of the junctions between adjacent diamonds". *Diamond and Related Materials*, pp. 996 – 998, Holanda, 1998.
3. **Hartman, P., Perdock, W. G.**, "On the relation between structure and morphology of crystals I". *Act. Cryst.*, pp. 8, 49-52, USA, 1955.
4. **Badzian, A. R.**, et al. "Cristallization of diamond from the gas phase. PartI "Material Research Bulletin, pp. 23, 385-400, USA, 1987.
5. **Touzelbaev, M. N., Goodson, K. E.**, "Applications of Micron-Scale Passive Diamond Layers for the IC and MEMS Industries". *Diamond and Related Materials*. Vol 7. pp 1-14, 7, Holanda, 1998.
6. **Goodson, K. E.**, "Impact of CVD Diamond Layers on the Thermal Engineering of Electronic Systems". *Annual Review of Heat Transfer*. Vol 6. pp. 323-353, Begell. N.Y. 1995.
7. **Badzian, A. R.**, et al. "Cristallization of diamond crystals and films by microwave assisted CVD, PartII". *Material Research Bulletin*, pp. 23, 531-548, USA, 1988.
8. **Simon, P., Lichte, H., Moenter, D., Reschetilowski, W., Valera, A., Carrillo-Cabrera, W.**, "Electron Holography, a Versatile Tool for Characterization of Materials: Fluoroapatite-Gelatine-Composites, SiC and SiO₂". *Z. Anorg. Allg. Chem.*, pp. 631, 983-992, Alemania, 2005.
9. **Valera, A.**, "Grown of Nano-crystalline Silicon carbide (SiC) semiconductor films by a non conventional DC plasma assisted deposition system", Lima, Perú. Reporte Técnico UNI, 2005, a ser publicado próximamente.

Correspondencia: avalera@uni.edu.pe

Recepción de originales: enero 2007

Aceptación de originales: marzo 2007

IRLA DORALIZA MANTILLA NUÑEZ

Obtuvo el grado de Bachiller en Ciencias Físicas y Matemáticas en 1984 y en 1985 el título profesional de Licenciatura en Matemáticas en la Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad. Desde 1985 es docente de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde realizó estudios de posgrado obteniendo el grado de Maestro en Ciencias con mención en Matemática Aplicada. Cursó estudios de Doctorado en Matemática en la Universidad de Oviedo-España

ANIBAL VALERA PALACIOS

Realizó estudios universitarios en la Universidad Nacional de Ingeniería, obteniendo el grado académico de Bachiller en Ciencias con mención en Física en 1973. Obtuvo el grado de Diplom-Physiker en 1976 en la Universidad de Stuttgart-Alemania, así como el grado de Doctor en Física (Dr. rer.nat.) en 1979. Desde el año 1979 es docente investigador en la Facultad de Ciencias de la UNI en el campo de Energía Solar. Ha expuesto trabajos de desarrollo e investigación en reuniones nacionales e internacionales.

LUIS RODOLFO ROCA GALINDO

En el año 2005, Obtuvo el título de Licenciado en Matemática en la UNI. Actualmente es miembro del Laboratorio de Simulación e Investigación Numérica de la Facultad de Ciencias-UNI y docente investigador.

AMILCAR MESCCO MIZARES

Egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Ha participado en el Centro de Investigación y Desarrollo FIEE-UNI.

DARIO UTRILLA SALAZAR

Cursó sus estudios superiores en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde obtuvo el título profesional de Ingeniero Electrónico. Realizó su grado académico de Maestría en Microelectrónica en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Asimismo obtuvo su Maestría en Telemática en la Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente es docente investigador en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería y de la

Universidad Nacional del Callao. Brinda Asesoría de Automatización en (cace ings. s.a.) y se encuentra afiliado al Centro de Investigación de Alcob-Perú de APEC (convenio Perú - Corea)

AUGUSTO BERNUY ALVA

PhD(c) Ing. Graduado en Ingeniería de Sistemas en la UNI en 1985, obtuvo el DEA en la Universidad Pontificia de Salamanca en el año 2006. Es Profesor de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la UNI desde el año 2000. Ha publicado 14 artículos en Conferencias Internacionales en Europa, EEUU y Latinoamérica sobre temas relacionados con la Gestión del Conocimiento, el Capital Intelectual y la Educación a Distancia. También es revisor en temas de Gestión del Conocimiento de la prestigiosa Universidad Pontificia Javeriana de Colombia. Su más reciente publicación ha tenido lugar en el CISSE 2007 (International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering, auspiciado por la IEEE y la Universidad de Bridgeport en Diciembre en el 2007, siendo el único peruano entre 452 artículos aprobados. Ha escrito 4 libros: "Sistemas Integrados Administrativos", "Formación del Capital Intelectual" "Planeamiento Estratégico en TI" y "Los Desafíos de la Educación Virtual". Su más reciente obra mereció la 1ra Mención Honrosa en el III Concurso Nacional de la ANR en el año 2007. Ha sido expositor en temas de Comercio Electrónico y Software Libre en el Perú y el Extranjero desde el año 2001. En el año 2003 fue promotor del 1er Foro Regional de Desarrollo Universidad Empresa, donde participó la Alianza Estratégica UNI-UNMSM-UNALM y en el mismo año 2003 fue co-organizador por la UNI del I Foro Latinoamericano de Software Libre auspiciado por la UNESCO. Realizó el Doctorado en Informática en la Universidad Pontificia de Salamanca y su Tesis Doctoral presenta aportes para el análisis del "Capital Intelectual" y el diseño de Sistemas Colaborativos desde la perspectiva de la Ingeniería de Sistemas. Actualmente es Asesor de Tesis, también Asesor de la Cátedra de Tesis-II en la UNI y catedrático en el curso de Tópicos Especiales de Ingeniería de Sistemas en la UTP.

JUAN F. TISZA CONTRERAS

Ingeniero Electrónico (1976), por la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima-Perú. Decano de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica del

JORGE DEL CARPIO SALINAS

Ingeniero Electrónico egresado de la UNI, con estudios de Maestría y Doctorado, en la Facultad Politécnica de Mons – Bélgica. Ha desarrollado trabajos relacionados al área de Biomédica y Sismología. Profesor investigador de Antegrado y Posgrado de la Sección de Electricidad y Electrónica, Profesor de la Universidad San Martín de Porres. Participa actualmente como Asesor de la Presidencia del CONCYTEC y en el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo de cooperación nacional e internacional, así como en auditorías y consultarías.

LUIS E. HUAMANCHUMO DE LA CUBA

Licenciado en Estadística-UNI, Economista Universidad del Pacífico. Catedrático Escuela Profesional de Ingeniería Estadística-UNI, Instructor, Escuela Nacional de Estadística e informática-INEI. Investigador en el Centro de Investigaciones Judiciales de la Corte Suprema de Justicia de la República del Perú. Consultor en temas económicos, investigación comercial y psicometría.

JOSE W. CAMERO JIMENEZ

Licenciado en Estadística-UNI, Catedrático, Escuela Profesional de Ingeniería Estadística, Investigador en la Gerencia de Certificaciones y Nuevos Negocios de Certificaciones del Perú S.A. Consultor y Expositor en temas especializados en Control de Calidad en el Colegio de Ingenieros del Perú y ESAN.

KESBER ANGULO SANCHEZ

Estudiante, Escuela Profesional de Ingeniería Estadística-UNI y asistente de investigación. Ganador en Proyectos de Investigación en el IX Congreso Nacional de Estudiantes de Estadística, Huaraz 2007.

SUSANA M. PETRICK CASAGRANDE

Profesora Asociada de la UNI, obtuvo el grado Doctor en Física en 1999, en el Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Río de Janeiro, Brasil. Realizó sus estudios de bachiller en Física en la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú, donde también obtuvo el título profesional de Licenciada en Física en 1993 y el grado de Maestro en Ciencias con Mención en Física en 1995. Desde el inicio de su carrera profesional su

trabajo se ha desarrollado en el estudio, caracterización y datación, de materiales obtenidos de excavaciones arqueológicas y desde el año 2000 en la caracterización de pintura de caballete.

ROSANNA KUON ARCE

Graduada en Arquitectura en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cuzco. Realizó estudios de Posgrado en Historia de la Arquitectura y Restauración de Monumentos y Sitios Históricos en el Instituto Universitario de Arquitectura de Venecia, Italia, y en la Universidad Católica de Córdoba, Argentina. Ha realizado estudios de especialización en Conservación Preventiva en el Centro Canadiense de Conservación y en el Centro de Conservación y Restauración - CECOR, en Minas Gerais, Brasil, y en el ICCROM en Roma, Italia; así como pasantías en el taller de Restauración de TAREA, en Argentina. Docente de Conservación Preventiva en la Universidad Ricardo Palma y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Fue jefa del Taller de Restauración del Museo de Arte de Lima y es activa participante y conferencista en eventos académicos y reuniones internacionales sobre Conservación y Restauración en Europa y América. Actualmente se desempeña como Directora encargada del Museo de Arte Italiano de Lima y en la práctica privada de restauración de pintura de caballete. Es miembro de instituciones internacionales de conservación y Directora de investigación de la Asociación Civil Conservando.

LUIS ALBERTO MOSQUERA LEIVA

Egresado en 1995, obtuvo el título profesional en 1997 y realizó estudios de Maestría en Física en la Facultad de Ciencias de la UNI, en el año 2003, obtuvo el grado de Doctor en Física en la Universidad de Campinas en Sao Paulo-Brasil. Actualmente es docente investigador de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

TOMAS POWELL VILLENA ANDRADE

Primer Ingeniero Físico del Perú, graduado en el año 2007 con nivel de excelencia por la Facultad de Ciencias de la UNI, egresado de la primera promoción de Ingeniería Física en el Perú, con especialidad en metrología aplicado a sistemas de calidad (ISO17025-ISO9000) e instrumentación electrónica. Socio accionista de UNIPETRO (empresa de servicios en metrología).

Perú. Profesor principal de la UNI, Universidad Nacional Mayor de San Marcos y Universidad Ricardo Palma. 25 años de consultor en áreas de automatización, electrónica industrial y control de procesos industriales. Estudios de especialización en Italia, USA, Brasil, Colombia, Alemania, Argentina, México, Cuba y Uruguay. Autor del libro "Los Dispositivos Electrónicos y sus Aplicaciones".

OSCAR A. Z. SOTOMAYOR

Ingeniero Electrónico (1995) por la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Magíster en Ingeniería Eléctrica (1997) y Doctor en Ingeniería Química (2002), ambos por la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (EPUSP), Brasil. 2 post-doctorados por la EPUSP en el área de control de procesos. Actualmente, profesor del Núcleo de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Federal de Sergipe, Brasil. Autor de más de 60 artículos publicados en revistas internacionales indexadas y congresos internacionales en el área de control de procesos. Áreas de interés: control predictivo, identificación y optimización de sistemas, diagnóstico y control tolerante a fallas, desempeño y auditoria de controladores.

DARCI ODLOAK

Ingeniero Químico (1971) por la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (EPUSP), Brasil. Magíster en Ingeniería Química (1977) por la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil. Doctor en Ingeniería Química (1980) por la Universidad de Leeds, Reino Unido. Trabajó en Petrobras como ingeniero de procesos (1973-1990) y como jefe del grupo de control avanzado (1991-1996) que desarrolló e implementó los sistemas de control avanzado para las principales refinerías de petróleo en Brasil. Actualmente, profesor principal del Departamento de Ingeniería Química de la EPUSP. Áreas de

interés: control predictivo robusto, control tolerante a fallas e integración de control y optimización en tiempo real. Autor de varias publicaciones en revistas internacionales indexadas y congresos internacionales en el área de control de procesos.

LINCOLN F. L. MORO

Ingeniero Químico (1982), Magíster en Ingeniería Química (1992) y Doctor en Ingeniería Química (2000), todos por la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (EPUSP), Brasil. Desde 1983 trabaja en Petrobras, habiendo participado del proyecto e implementación de los sistemas de control avanzado en las unidades de procesos de varias refinerías de petróleo. Actualmente, coordinador ejecutivo del Centro de Excelencia en Automatización Industrial de Petrobras y trabaja en la implementación de sistemas de optimización en tiempo real. Áreas de interés: optimización en tiempo real, control predictivo multivariable e programación de la producción, temas sobre los cuales ha publicado diversos trabajos en revistas internacionales indexadas y congresos internacionales.

HERNÁN D. ÁLVAREZ ZAPATA

Ingeniero Químico (1991) y Magíster en Ingeniería de Sistemas (1995), ambos por la Universidad Nacional de Colombia. Doctor en Ingeniería de Sistemas de Control (2001), por el Instituto de Automática de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Actualmente, Profesor Asociado de la Escuela de Procesos y Energía de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Área de interés: Modelado y Control de Procesos Químicos. Autor de dos libros, dos capítulos de libro, cinco publicaciones en revistas internacionales y seis artículos en revistas nacionales, todas indexadas.

