

Crecimiento por ablación láser de filtros rugate apodizados para telecomunicaciones

Roberto Machorro, CNyN-UNAM y Noemi Abundiz, CICESE

Agosto 2009

Resumen del proyecto

Antecedentes

El multiplexado juega un papel esencial en las comunicaciones ópticas hoy en día. Puede lograrse una mayor densidad de canales al acercar las longitudes de onda portadoras de cada uno de ellos. Una limitante es la contaminación de información entre canales, el crosstalking. Los filtros pasabanda de capas con espesor finito, bien definido, tienen respuesta espectral con oscilaciones fuera de la región de interés. Los filtros rugate, con capas inhomogéneas, permiten manipular los índices de refracción de tal manera que es posible eliminar esas oscilaciones perjudiciales, apodizando la respuesta. Una manera de elaborar estos filtros es con evaporación reactiva. Aquí se propone el uso de evaporación con láser pulsado

Objetivos

Recubrimiento de capas delgadas inhomogéneas, controlando el índice de refracción con una evaporación reactiva, manipulando las entradas de los gases que reaccionan con los átomos del blanco.

Hipótesis

Al controlar el índice y el espesor de películas delgadas por depósito con láser pulsado (PLD), es posible optimizar y desarrollar filtros rugate para la región del infrarrojo y visible, para así reducir la contribución de los armónicos en el espectro electromagnético.

Metas

Control de la entrada de gases de fondo y reactivo al sistema de vacío. Diseño teórico de filtros interferenciales pasabanda. Calcular curva elipsométrica esperada, a usarse en el control de crecimiento. Control de depósito del recubrimiento usando elipsometría in-situ, en tiempo real. Análisis del espectro del plasma, obtención de densidad y temperatura del plasma. Caracterización de los filtros con interferometría, reflectancia, transmitancia y elipsometría. Correlación entre los espectros del plasma y las propiedades del apilamiento resultante.

Resultado entregables

Preparar filtros rugate con respuesta apodizada. Publicar al menos un artículo internacional arbitrado por año con los resultados del proyecto. Presentación de una ponencia en congreso internacional y una nacional, por año. Avanzar en un 65 % en la tesis de doctorado de la estudiante que colabora.

Protocolo del proyecto

Antecedentes

Los filtros ópticos interferenciales de capas delgadas tienen una importancia cada vez mayor en la ciencia y la tecnología actuales. Prácticamente toda la instrumentación moderna cuenta de varias maneras con películas delgadas: cámaras, binoculares, anteojos, telescopios, microscopios, proyectores, relojes, computadoras, autos, juguetes, etc. Desde la década de los 1980s surge una simbiosis entre componentes ópticas y electrónicas, conocida como fotónica. La óptica y la electrónica comparten teorías e instrumentación, una complementa y ayuda a la otra. Un área relevante de la fotónica es de servicios de comunicaciones ópticas, que están ahora en el centro de la industria creciente del siglo XXI, la transferencia de datos. Aquí los productos de películas delgadas ópticas han contribuido enormemente a la expansión de estos servicios. Sin las componentes ópticas como las fibras ópticas, láseres de estado sólido, resonadores multicapa, divisores de haz, filtros pasa banda, etc. la computación y comunicaciones actuales no serían tan rápidas como lo son en la actualidad, ni la densidad de información transmitida llegaría a los límites actuales.

El multiplexado por división en longitud de onda (wavelength-division-multiplexing WDM) es una técnica eficiente de mejorar la capacidad de información de los sistemas de comunicaciones ópticas (Ref. [1]). La función principal del WDM es el uso efectivo del ancho de banda de las fibras ópticas, el cual excede varios terahertz en la ventana de baja absorción a $l = 1.5\mu m$ al enviar simultáneamente múltiples canales cambiando ligeramente la frecuencia portadora (colores), como se muestra esquemáticamente en la figura 1.

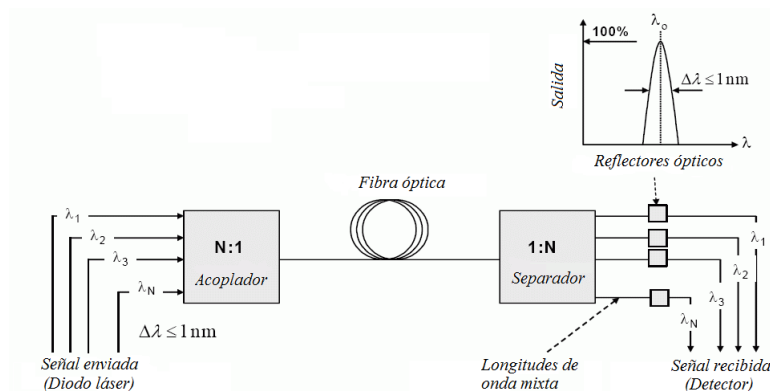


Figura 1: Multiplexado de información por selección de portadora (tomada Ref. [2])

Los filtros ópticos (por transmisión o por reflexión) juegan un papel importante en el dispositivo que selecciona la longitud de onda a enrutar cada señal transmitida a los detectores. El región de transmisión (pasabanda) del filtro debe ser menor que la separación entre canales de la fibra, el cual está en el intervalo de 1 nm . La síntesis de filtros de alta salida con un ancho de banda alrededor de 1.5 nm es un reto en la investigación.

Los filtros ópticos clásicos emplean capas delgadas discretas, superpuestas una sobre otra, de manera que la reflectancia y transmitancia pueda regularse adecuadamente (Ref. [3]). Los filtros pasabanda tienen una fuerte limitante, cuando se hacen con capas discretas: alrededor del máximo de transmitancia principal hay regiones de transmitancia que se extienden a todo lo ancho del espectro (Figura 2a y 2b).

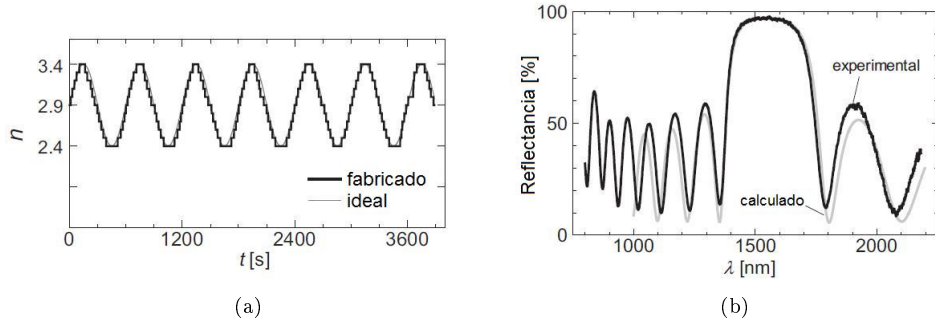


Figura 2: Espectro de reflectancia de un filtro pasabanda con capas discretas (tomada Ref. [23])

Al enviarse o recibirse información por un canal la señal permeará a los otros canales (cross-talking), dando lugar a pérdida de eficiencia en las comunicaciones. El filtro ideal sería aquel que carezca de estos lobulos secundarios que se traslapen con los demás canales (Figura 3b). Esto puede lograrse con un filtro rugate cuyo índice de refracción se modula de tal manera que permite a la multicapa acoplarse a los medios entrante y saliente, eliminando las reflexiones indeseables, este proceso se denomina apodización.

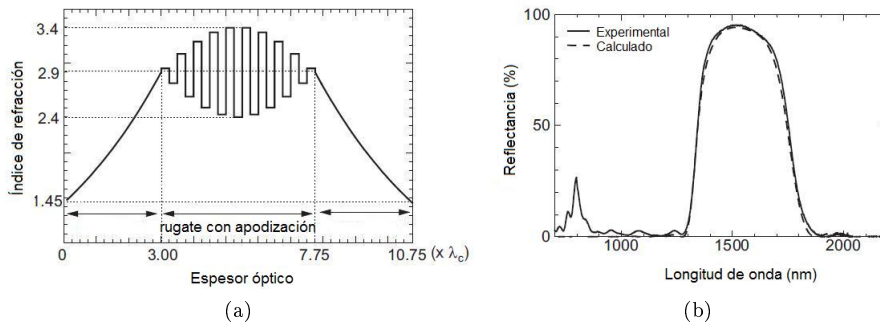


Figura 3: Espectro de reflectancia de un filtro pasabanda con capas inhomogéneas continuas y apodizadas. A la derecha el perfil teórico de los índices (tomada Ref. [23]).

Un filtro rugate representa un recubrimiento con un perfil de índices de refracción senoidal (Figura 3a). Los filtros rugate son los sistemas ideales para los reflectores de capas delgadas de banda angosta sin los armónicos en el espectro electromagnético (Ref. [7, 8]). En este contexto, nuestro propósito el desarrollar y optimizar las técnicas asistidas por plasma para la producción de filtros rugate especificados para la región del cercano infrarrojo y visible. Lo que en la teoría aparenta ser la solución ideal a los problemas de los armónicos indeseables de los filtros pasabanda, en la práctica no hay actualmente una solución probada y confiable. Mucho menos escalada a nivel de producción industrial. Han sido reportadas varias maneras de crecer filtros rugate y algunas industrias del ramo los ofrecen bajo pedido especial.

Una opción es la de usar coevaporación con dos fuentes de emisión de material, ya sea cañones

de electrones o botes, colocando frente a ellos mascarillas que dejan pasar la cantidad programada de material (Ref. [4, 6]). Girando las mascarillas se abre una y otra fuente, reduciendo paulatinamente la cantidad de material que llega al sustrato. Esta técnica la hemos probado tanto en nuestro laboratorio como en otros lugares (CIO), en parte apoyado por un proyecto de CONACyT (Ref. [5]). La técnica es poco eficiente y pobre control de índices. Otra técnica empleada es la porosidad del material depositado, por ejemplo Silicio, para controlar el índice efectivo del material (Ref. [9]). Aún y cuando puedan conseguirse variaciones importantes en el índice de refracción, las películas no resultan tan robustas en el largo plazo, al permitir la entrada de vapores de agua que eventualmente perjudican el depósito. Mecánicamente son frágiles. A la fecha hemos realizado experimentos utilizando oxinitruros de silicio (Ref. [10, 11, 12, 13, 14]) evaporando usando Depósito con Láser Pulsado, (PLD por sus siglas en inglés Pulsed Laser Deposition). El perfil de índice de refracción senoidal es preparado variando la presión de oxígeno dentro de un gas de fondo de nitrógeno. partiendo de un blanco de Si₃N₄ ó de Si. Hemos establecido que la mezcla de materiales con esta técnica producen índices que caen dentro de los materiales puros de Si₃N₄ y SiO₂, esto es, entre 2.2 y 1.46. La densidad de empaquetamiento es muy alta, las películas son robustas mecánicamente y estables químicamente. Esta idea ya se está empleando en la preparación de filtros rugate por medio de erosión iónica de radio frecuencia (Ref. [21, 23]).

En el Departamento de Óptica del CNyN-UNAM se ha logrado la capacidad para diseñar filtros rugate. Al mismo tiempo tenemos avances que permiten asegurar la preparación de dichos filtros. Con el apoyo del CONACyT (Ref. [5, 12, 15]) hemos creado la infraestructura y adquirido la experiencia para el recubrimiento de películas inhomogéneas, tipo rugate. Una primera aplicación de estos apilamientos fué para realizar nanoestructuras de alta dureza, con un proyecto CONACyT (Ref. [16]). Entre los avances alcanzados podemos mencionar: Con el análisis el espectro del plasma emanado durante un depósito con PLD podemos estimar/predecir la calidad de la película resultante (Ref. [17, 18, 19, 22]). Podemos controlar vía computadora la entrada de dos gases, uno que se emplea como gas de fondo y el segundo como gas reactivo, para oxidar o nitrurar la película en crecimiento (Ref. [20, 25, 26]). Una vez completado el depósito, su caracterización la podemos realizar por varias espectroscopías ópticas como reflectometría, espectro-elipsometría (Ref. [11]), interferometría y espectroscopías electrónicas, como XPS, Auger, TEM, SEM, EDAX, DRX, STM, y AFM. Tenemos la capacidad instalada para crecer capas delgadas en sistemas de alto vacío por ablación láser, desbastamiento iónico (DC y RF), cañon de electrones, evaporación térmica.

Por último, debemos enfatizar que la técnica de PLD es la que mejor permite controlar el crecimiento de las capas. Sin ser MBE, al depositar material lentamente, sin inercia, de tal manera que el control del espesor de las capas es sumamente preciso, a diferencia de la técnicas de cañon de electrones, desbastamiento iónico, evaporación térmica, etc; la estequiometría puede ser controlable para generar los índices deseados.

Objetivo del proyecto

Elaboración de filtros interferenciales pasabanda, tipo rugate, empleando ablación láser pulsado reactivo.

Este objetivo, que tiene aplicación práctica en el corto plazo, también involucra la aplicación de elementos básicos como son la estimación de la estequiometría a partir de la densidad de las especies del plasma durante el crecimiento de las capas.

Metas

Control de la entrada de gas de fondo y gases reactivos al sistema de vacío

Sistema que permite programar el perfil de índices y manipularlo desde una computadora personal.

Diseño teórico de filtros interferenciales pasabanda

Proponer apilamientos ópticos pasabanda apodizados.

Calcular curva elipsométrica esperada, a usarse en el control de crecimiento

Usando como objetivo el diseño del filtro apodizado, calcular cuál será la trayectoria de los datos elipsométricos a medida que crezcan las capas.

Control de deposito del recubrimiento usando elipsometria in-situ, en tiempo real

En tiempo real, la comparación de las trayectorias de los datos elipsométricos con los esperados permitirá evaluar si el depósito va por el rumbo correcto y corregirlo en caso negativo.

Análisis del espectro del plasma, obtención de densidad y temperatura del plasma

En tiempo real, el análisis del espectro debe proporcionar que elementos contiene el plasma, su presencia relativa entre ellos y la temperatura de las especies de interés.

Caracterización de los filtros con reflectancia, transmitancia y elipsometria

Verificar que la curva de transmisión esperada sea igual a la experimental. Medir también las propiedades de las capas individuales usando elipsometría ex-situ.

Hipótesis del proyecto

Al controlar el índice y el espesor de películas delgadas por depósito con láser pulsado (PLD), es posible optimizar y desarrollar filtros rugate para la región del infrarrojo y visible, para así reducir la contribución de los armónicos en el espectro electromagnético.

Contribución del proyecto

Hay dos tipos de contribuciones, las tangibles y las intangibles

Contribuciones tangibles

- Fabricación de filtros inhomogéneos o tipo rugate, en los cuales se puede manipular el índice de refracción de las capas de tal manera que permitan modificar la respuesta espectral de la luz transmitida.
- Publicar un artículo internacional arbitrado por año con los resultados del proyecto. Esta es una meta mínima, sabemos que habrá mucha información como para más artículos, el tema es novedoso, relevante, sin duda recabará mucho interés de la comunidad.
- Presentación de una ponencia en congreso internacional por año. Es muy importante la interacción con otros grupos de trabajo afín.
- Presentación de al menos una ponencia en congreso nacional por año.

Contribuciones intangibles

- Comprender mejor el proceso de erosión, para controlarlo y obtener mejores películas apodizadas, lo más cercano al desempeño ideal y con mayor repetibilidad.
- Ahorrar tiempo y esfuerzo al evitar evaporaciones que no llevarán a una capa correcta.
- Desarrollar trabajo interesante, original y de relevancia.

Metodología

Diseño

Diseño teórico de filtros interferenciales pasabanda

Nos enfocaremos a filtros pasabanda apodizados, esto es, filtros que permiten el paso de luz en regiones específicas del espectro electromagnético, sin los lóbulos secundarios indeseables, precisamente los que pueden dar lugar al “cross-talking”. El diseño de estos filtros es relativamente simple, excepto la parte de apodización, donde las variaciones del índice puede seguir muchas trayectorias. Haremos un estudio con el cual podremos establecer la trayectoria más eficiente, con el menor número de capas (menos material, menos tiempo, más simples) que realicen la misma tarea.

Calcular curva elipsométrica esperada, a usarse en el control de crecimiento

El control del crecimiento lo llevaremos a cabo con dos herramientas muy poderosas: elipsometría y espectroscopía de campo. Aún y cuando proporcionan diferente información, las dos son muy sensibles. Elipsometría permite obtener las propiedades ópticas del material ya depositado al medir las variaciones del estado de polarización de la luz incidente y reflejada en la muestra bajo estudio. En la medida que la capa crece, los parámetros elipsométricos cambian, siguiendo una trayectoria bien definida.

Con la curva de calibración mencionada en el apartado "Control de la entrada de gases de fondo y reactivo al sistema de vacío", podemos predecir cuál será la trayectoria de los parámetros elipsométricos.

Depósito de películas

Control de la entrada de gases de fondo y reactivo al sistema de vacío

Hasta el momento tenemos la capacidad de programar una presión dada y lograrla automáticamente con una computadora personal y válvulas reguladas. En esa atmósfera realizamos depósitos y los caracterizamos, obteniendo de allí una curva de “calibración” de índice contra presión, como se muestra en la figura siguiente.

Tenemos como primera meta el llegar a una versión del sistema donde las presiones que determinan un índice, sigan una trayectoria preasignada, de manera que se pueda reproducir un perfil de índice deseado.

Caracterización

Optica

In situ

- Elipsometría cinética
 - El llevar un registro de la evolución de la respuesta elipsométrica del recubrimiento nos permitirá compararlo con la evolución teórica del mismo.
- Espectroscopía de plasma

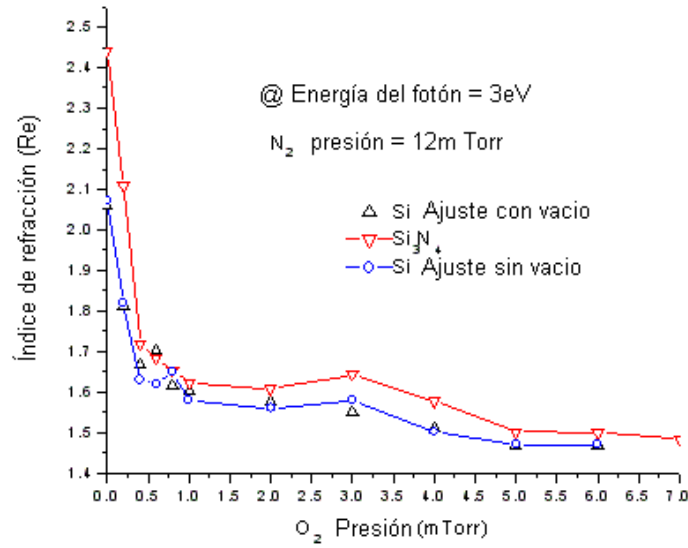


Figura 4: Curva de calibración del índice en función de la presión del gas de fondo.

- La luz que emana el plasma generado por ablación láser permite estimar con relativa precisión el contenido químico del material con que se crece la película. Un monitoreo de este plasma, así como la comparación de la intensidad de líneas entre elementos que componen al plasma, permitirá saber la estequiometría de la película, aspecto que se puede ratificar con la espectroscopía XPS, una vez terminado el proceso.
 - Se puede establecer una correlación entre la razón de líneas espectrales con las propiedades ópticas de una capa dada, para así hacer un seguimiento de las mismas durante el proceso de crecimiento.
- Interferometría
 - Esta herramienta nos permitirá estimar la densidad de partículas neutras dentro del plasma, que también participan en el proceso de crecimiento, pero que no pueden observarse desde la espectroscopía de emisión, ya que no emiten. Con apoyo de este proyecto, planeamos la construcción de un interferómetro tipo Mach-Zehnder, que permita medir variaciones en la fase de una onda que cruce por el plasma. Las variaciones son proporcionales al camino óptico que viaja la luz, y de allí su relación con la densidad del plasma. Para diferenciar si la fase se adelanta o se atrasa, introduciremos detección heterodina, modulando uno de los haces a una frecuencia fija y un detector con amarre de fase (lock-in).
 - Reflectometría/Transmisión
 - Tenemos la experiencia en monitores ópticos para el control de espesores de capas delgadas durante el crecimiento, empleando reflectancia/transmitancia de luz. Esta técnica complementa a las otras, e introduce un elemento adicional, ya que como se mencionó en la parte de diseño, las películas son del tipo cuarto de onda, con lo que la R/T tendrán máximos y mínimos. El monitor óptico de R/T permite compensar errores en la suspensión del depósito de una de las capas. Haremos una versión del tipo banda-ancha, con auxilio de un espectrómetro dedicado, que ya tenemos.

Ex situ

- Elipsometría
 - Una vez terminado el recubrimiento, con la respuesta elipsométrica espectral podremos sintetizar el contenido de las capas evaporadas, con modelos electromagnéticos adecuados. El modelaje no es algo simple y requiere, además del programa propio del instrumento, rutinas externas para el cálculo de películas inhomogéneas.
- Transmisión-Reflexión
 - Esta es la prueba crítica. Podría pasar todas las demás, pero si el perfil espectral no es como el esperado, esto es, si no se cancelan los armónicos indeseables de un filtro pasabanda típico, el filtro simplemente no sirve.
- Interferometría
 - Es bien sabido la limitación que tienen los recubrimientos de PLD. La uniformidad de las capas es buena en una región limitada, según sea la distancia blanco a sustrato, típicamente de 5 cm.. Buscamos caracterizar la planicidad de los filtros, tanto en altura como en respuesta espectral. La primera la haremos con un interferómetro tipo Twyman-Green, que construiremos en el laboratorio.

Electrónica

XPS

Las espectroscopías electrónicas permiten estimar el contenido químico de las capas. Con esto es posible determinar estequiometrías. Estos resultados se compararían con las propiedades ópticas, para su ratificación.

Resumen curricular

Datos Generales

Roberto Machorro Mejía

Datos particulares R.F.C. MAMR-500329-948, Fecha y Lugar de Nacimiento: 29 de marzo de 1950, Puebla, Pue. Nacionalidad: Mexicana, Máximo grado de estudios: Doctorado (INAOE, 1986). Dirección personal: La Joya 214, Frac. Playa Ensenada, Ensenada, B.C. 22880, tel ++ 52 (646) 177-2158 ; Correo- e roberto@cnyn.unam.mx

Experiencia desde 1976 en investigación y desde 1972 en docencia

SNI nivel II, Pride-UNAM nivel C

Publicaciones en revistas internacionales con arbitraje (dentro del SCI): 51, un capítulo en libro. 413 citas, incluyendo 137 autocitas. Factor de Hirsch=12 Memorias en extenso en congresos internacionales: 23. Memorias en extenso en congresos nacionales: 11. Presentaciones en congresos nacionales 77 Presentaciones en congresos internacionales 47. Participación en proyectos de investigación 13, 8 como responsable. Dirección de tesis: 9 (3 Lic, 4 MC, 2 Dr), 1 de doctorado en proceso.

Aparatos para la enseñanza de la física, nivel licenciatura: 17, a nivel secundaria y preparatoria : 7

Diseño o integración de sistemas para la investigación: 22, Diseño de sistemas para la industria: 4

- Seis últimas publicaciones (El estudiante participante está con un asterisco)
 - 51.- Modelo del voltaje de descarga en depósitos de por erosión iónica reactiva. V. García-Gradilla, G. Soto-Herrera, R. Machorro-Mejía, E. Mitrani-Abenchuchan. Revista Mexicana de Física 55 (2) 106–111 (2009)

- 50.- Characterization of AlN thin-films fabricated by reactive DC sputtering: experimental measurements and Huckel calculations. Manuel García-Méndez, Santos Morales-Rodríguez, Donald H. Galván, and Roberto Machorro . International Journal of Modern Physics B, Vol. 23, No. 9 2233–2251 (2009)
 - 49.- Optical Properties of and films deposited by laser ablation. Prieto-López, L.O.; Yubero, F.; Machorro, R.; De La Cruz, W.. Microelectronics Journal, Vol. 39 Issue 11, p1371-1373, Nov 2008
 - 48.- Surface and Mechanical Characterization of Reactive Magnetron Sputtering on A. Fragiel*, R. Machorro, J. Muñoz-Saldaña, J. Salinas* y L. Cota . Applied Surface Science, Vol. 254 Issue 15, p4632-4637, May 2008
 - 47.- Characterization of ALN thin films deposited by DC reactive magnetron sputtering. M. García-Méndez, S. Morales-Rodriguez, R. Machorro, y W. De La Cruz. Revista Mexicana de Física, 54 (4) 271–278 (2008)
 - 46.- Water-Jet: a promising method to cut optical glass . J. Salinas-Luna*, J. Camacho*, E. Luna, J.M. Nuñez y R. Machorro . Applied Optics, 45, 3477-3481 (2006).
- Seis publicaciones más relevantes (El estudiante participante está con un asterisco)
- 40.- Wide-field spectroscopy for optical characterization of the pulsed laser deposition plume, E. Pérez-Tijerina*, Roberto Machorro, and J. Bohigas, Review of Scientific Instruments, 75, 455-461 (2004) 2 citas
 - 32.- Modification of refractive index in silicon oxynitrides films during deposition, R. Machorro, E.C. Samano, G.Soto, F. Villa and L. Cota-Araiza , Materials Letters, 45, 47-50 (2000), 13 citas
 - 26.- In situ ellipsometric characterization of SiN_x films grown by laser ablation, E.C. Samano, R. Machorro, G. Soto*, and L. Cota, J. Applied Physics, 84, 5296-5305 (1998), 21 citas
 - 20.- SiC_xN_y thin films alloys prepared by pulsed excimer laser deposition, Roberto Machorro, E.C. Samano, G. Soto and L. Cota, Applied Surface Science, 127-129, 564-568 (1998), 32 citas
 - 10.- Admittance Determination of the Optical Properties of Thin Films, Francisco Villa*, Roberto Machorro, J.Siqueiros and Luis E. Regalado, Applied Optics, 33, 2672-2677 (1994), 1 cita
 - 3.- Determination of the optical constants of MgF₂ and ZnS from spectrophotometric measurements and the classical oscillator model, J. Siqueiros*, R. Machorro y L.E. Regalado, Applied Optics, 27,2549 (1988), 18 citas

Noemi Abundiz Cisneros

Nacionalidad: Mexicana ; Lugar de Nacimiento: Ensenada, Baja California, México Estado Civil: Soltera Fecha de Nacimiento : 5 de mayo de 1983 Domicilio: Calle Rafael Moreno #172 Infonavit Punta Banda Teléfono: (646)176-74-09; Cel: (646)117-17-55; Fax: (646)174-08-80 / E-mail: noemi_abundiz@yahoo.com.mx

2001 – 2006 LICENCIATURA : Físico; INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, Baja California, México

2006-2008 MAESTRIA EN CIENCIAS: Óptica; INSTITUCIÓN: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), Cholula, Puebla, México

2009-..... DOCTORADO EN CIENCIAS: Física de Materiales; INSTITUCIÓN: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, B.C., México

Experiencia Profesional

2005 – 2006 PRACTICAS PROFESIONALES EN CCMC-UNAM, Ensenada B.C.; ASESOR : Dr. Roberto Machorro Mejía; TRABAJO EFECTUADO: Calibración del espectrofotómetro, adquirir espectros del plasma en el laboratorio, identificación de líneas espectrales, procesamiento de los espectros por IRAF* y así como la redacción de manuales de operación para la calibración de un espectro utilizando la paquetería de IRAF*. *Image Reduction and Analysis Facility, IRAF, de National Optical Astronomy Observatories (NOAO), URL: iraf.noao.edu.

2006 - 2008 TESIS de MAESTRIA, INAOE, Cholula, Puebla; ASESOR: Dr. Gabriel Martínez Niconoff; TRABAJO REALIZADO: Análisis teórico de plasmones superficiales generalizados, en donde se hicieron diversas aplicaciones como: interferencia de dos plasmones superficiales y obtención de haces plasmónicos tipo Bessel, haces plasmónicos Gaussianos y haces plasmónicos capilares; otra actividad fue hacer un análisis de plasmones-partículas.

PARTICIPACIONES EN CONGRESOS Y PONENCIAS EN TALLERES: 15

Calendario de trabajo

XX

Actividad/ Bimestre	Año I						Año II						Año III					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Bibliografía	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Adquisición de partes	x	x																
integración interferómetros			x	x														
Calibra n vs P	x	x																
Razones de Int. de línea	x	x																
Programar control de P			x															
Procesamiento de datos																		
Respuesta del instrumento																		
Densidad y temperatura																		
Etc...																		
Publicación 1																		
Adquisición de equipo 2																		
Intalación de equipo 2																		

Infraestructura y apoyo técnico disponible

- Preparación de capas delgadas
 - Sistema de alto vacío de 16", 18" y 4" (10-6 Torr), con posibilidades de introducir gases como argón y oxígeno, calentamiento de sustrato Desbastamiento con RF y DC Sistema de depósito de películas delgadas por erosión iónica DC y RF, cañón de electrones evaporación térmica
 - Sistema de ultra alto vacío con análisis in-situ, con posibilidades de introducir gases como argón y oxígeno, calentamiento de sustrato.
 - Láser de excímero KrF
 - Láser de Nd-YAG, pulsado
- Adquisición de espectros ópticos
 - Dos espectrómetros de campo Chromex, 50cm
 - Un espectrómetro de campo, hecho en casa, 80 cm
 - Detectores CCD con intensificador, uno de 512x256 (Andor) y otro de 2kx2k, hecho en casa
 - Computadoras personales y programación especializada
- Caracterización de las capas delgadas
 - Propiedades ópticas
 - Espectro elipsómetro Woollam, in situ, cámara de ultra alto vacío
 - Espectro elispómetro Jobin Ivon, ex situ Espectrofotómetro
 - Perkin Elmer 330, 185-2500nm
 - Espectrofotómetro FTIR
 - Microscopio óptico Olympus, normal y por contraste de fase
 - Estructural,
 - composición química, morfológica XPS, Auger, STM, TEM, SEM, XRD
- Propiedades físicas
 - Curva de histéresis
 - Susceptibilidad magnética
 - Conductividad dc y ac, con refrigeración a 70 grados Kelvin.
- Biblioteca especializada
- Talleres de mecánica fina
- Apoyo técnico en electrónica, microscopías y espectroscopías electrónicas

Referencias

- [1] http://www.jeol.com/jeolnews/jeol_news601/News%20home/28/index.html
- [2] Synthesis of Multilayer and Waveguide Filters for use in Optical Communication Systems, Safwat W. Z. Mahmoud, Moustafa F. Ahmed and M. A. Kaid, Egypt. J. Solids, 28, 123 (2005)
- [3] Thin-film optical filters, Angus Macleod, Adam Hilger 1986
- [4] http://www.iof.fraunhofer.de/departments/óptical-coatings/nir-vis/projects/rugate_e.html
- [5] Producción y Caracterización de Materiales Compuestos con Base a Películas Delgadas" Conacyt, noviembre 1991
- [6] F. Villa, O. Pompa, L.E. Regalado y R. Machorro, Inhomogeneous thin films obtained by co-evaporation and variable aperture masks, Optical Intereference Coatings, Tucson AZ, EUA, Junio 7 al 12 de 1998, Paper FB5-1, Optical Society of America Technical Digest Series Vol. 9
- [7] Rugate absorbing thin films: the 2x2 inhomogeneous matrix. Francisco Villa Villa, Roberto Machorro and Amalia Martínez, Applied Optics 34, 3711-3714 (1995).
- [8] Admittance Determination of the óptical Properties of Thin Films, Francisco Villa, Roberto Machorro, J.Siqueiros and Luis E. Regalado, Appl. Opt. 33, 2672-2677, (1994)
- [9] <http://www.freshpatents.com/óptical-cross-connect-switch-with-axial-alignment-beam-dt20050714ptan20050152638.php?type=description>
- [10] Optimal Control on Composition and óptical properties of Silicon Oxynitride Thin Films, E. C. Samano, J. Camacho, and R. Machorro, J. Vacuum Science and Technology A, 23, 1228-1233 (2005)
- [11] Modification of refractive index in silicon oxynitrides films during deposition, R. Machorro, E.C. Samano, G.Soto, F. Villa and L. Cota-Araiza, Materials Letters 45, 47-50 (2000)
- [12] Proyecto Conacyt: Respuesta óptica de medios inhomogeneos usando espectroelipsometría", octubre 1993
- [13] Effects of backround gas-plume interaction in the deposition of SiNx films, E.C. Samano, Roberto Machorro, G. Soto and L. Cota, Appl. Sur. Sci, 127-129, 1005-1010 (1998)
- [14] SiCxNy thin films alloys prepared by pulsed excimer laser deposition, Roberto Machorro, E.C. Samano, G. Soto and L. Cota, Appl. Sur. Sci, 127-129, 564-568 (1998)
- [15] Proyecto Conacyt: Adquisición bidimensional de espectros para el analisis de plasmas Clave 4000380-5-G36531E
- [16] Proyecto Conacyt: Crecimiento de materiales nanoestructurados y caracterización de sus propiedades mecánicas, Conacyt, Inicia en abril de 2000, responsable L. Cota.
- [17] Bidimensional multiple spectra acquisition using fiber optics, E. Pérez-Tijerina, Roberto Machorro, and J. Bohigas, Review of Scientific Instruments, 75, 455-461 (2004)
- [18] Density sensitive line ratios in plasmas generated by laser ablation in thin film deposition, E. Pérez-Tijerina, Joaquin Bohigas, and Roberto Machorro, J. Appl. Physics. 90, 3192-3199 (2001)
- [19] Density and temperture maps of aluminium plasma obtained by laser ablation, E. Perez-Tijerina, J. Bohigas and R. Machorro, Rev. Mex. de Física, Aceptado para su publicación en 2005

- [20] Supervisión del Crecimiento de Capas Inhomogéneas y del Gas de Fondo en Ablación Láser, Victor Garcia Gradilla, Tesis de Maestría presentada en marzo de 2003 en CICESE.
- [21] Rugate filters fabricated by a radio frequency magnetron sputtering system by use of an optical in situ monitoring technique, *Appl. Op.* 45, 184-190 (2006).
- [22] Control del depósito de capas delgadas en sistemas asistidos por plasma, J. Salinas-Luna, Noemí Abundiz, J. Camacho, O. Raymond, J. Bohigas y R. Machorro, XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Física de Superficies y Vacío, Zacatecas, Zac. Septiembre 2005.
- [23] O. Hanaizumi, H. Yoda and K. Shiraishi, 'Optical Devices with Wavelength-Selectivity Using Multi-Dimensional Periodic Structures', *IPAP Books 2* (2005) pp. 317-330
- [24] Supervisión del Crecimiento de Capas Inhomogéneas y del Gas de Fondo en Ablación Láser, Victor Garcia Gradilla, Tesis de Maestría presentada en marzo de 2003.
- [25] Modelo del voltaje de descarga en depósitos de ZrOX por erosión iónica reactiva, V. García-Gradilla, G. Soto-Herrera , R. Machorro-Mejía, E. Mitrani-Abenchuchan, *Revista Mexicana de Física*, 55 (2) 106–111, 2009
- [26] Victor Garcia Gradilla, Tesis doctoral, CICESE, en proceso