



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Informe Técnico de residencia: Síntesis y estudio de las propiedades foto catalíticas de estructuras multicapa de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ obtenidas por Rocío Pirolítico Ultrasónico.



Ingeniería Química

Alumna:

Estefanía Lara Camas

Asesor interno:

Juan José Solís Zavala

AGOSTO – DICIEMBRE DE 2014

Cinvestav IPN

CAPÍTULO

1

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el estudio de películas de TiO_2 , se vio con la necesidad de emplear nuevas técnicas que mejorasen las características del TiO_2 , el cual posee un alto índice de refracción[1] y su gran capacidad para transmitir en el infrarrojo cercano del espectro, lo hacen aplicable en películas anti reflejantes [2].

El TiO_2 existe en tres formas cristalinas: Anatasa, Rutilo y Brookita, La fase anatasa se forma a bajas temperaturas (menores de 550°C) y posee una mayor área superficial debido a su naturaleza intrínseca y es la idónea para el estudio de aplicaciones fotos catalíticas [1].

En su fase anatasa, el TiO_2 presenta una gran actividad foto catalítica, logrando que las películas delgadas de este material tenga un gran poder de oxidación y logra llegar a descomponer compuestos orgánicos cuando son expuestos a radiación ultravioleta. De esta es posible crear un material auto-limpiable [3].

Como la fotocatalisis ocurre en la superficie externa de la película de TiO_2 , se han implementado diferentes procesos de depósito para la creación de películas delgadas, uniformes y continuas de TiO_2 , para su estudio.

La síntesis de TiO_2 en forma de película se ha llevado a cabo por técnicas, tales como evaporación, sol-gel, CVD, sputtering, Rocío pirolítico etc. [21]

Uno de los métodos empleados para el depósito de películas de TiO_2 sobre vidrio es el Rocío Pirolítico [4]. El Rocío Pirolítico ultrasónico es una técnica la cual sirve para la obtención de películas, se emplea un equipo llamado humidificador ultrasónico, el cual produce una nebulización del agua a través de vibraciones de muy alta frecuencia, generan un aerosol que lleva a cabo la descomposición del precursor, y éste se deposita mediante un gas de arrastre sobre el sustrato para llegar a ser un recubrimiento en el sustrato [5].

En los últimos años, los desechos de tintes orgánicos vertidos en cuerpos de agua por las industrias de textiles, plásticos, cosméticos entre otras, ha despertado gran preocupación debido a la generación de subproductos altamente tóxicos para la salud humana por lo tanto se ha planteado el uso de materiales foto catalíticos como una solución económica a este problema [6].

Es posible disminuir la cantidad de desechos químicos en agua y aire por medio de fotocatalisis. Los foto catalizadores basados en dióxido de titanio son de mayor interés para propósitos ambientales que otros semiconductores [1] los cuales emplean radiación UV para oxidar compuestos orgánicos en CO_2 y H_2O [6].

Las aplicaciones sobre el uso del dióxido de titanio (TiO_2) como foto catalizador para la eliminación de contaminantes orgánica en agua [16] y aire han ido incrementándose. Sin embargo, el polvo convencional de TiO_2 tiene importantes desventajas, una es que se necesita un proceso de separación del polvo utilizado en agua, otra importante desventaja es que se presenta una caída de presión si se

utilizan lechos grandes de foto catalizador en un reactor donde se tiene un efluente gaseoso [16]. Estos y otros problemas se pueden solucionar cuando las micro partículas de TiO_2 se inmovilizan como películas sobre sustratos sólidos [17].

En este trabajo se presentaran la evaluación de las propiedades fotocatalíticas de estructuras multicapa de SiO_2/TiO_2 obtenidas por el método de Rocío Piroclítico Ultrasónico.

En el primer capítulo se da una pequeña introducción sobre la importancia de la fotocatalisis y su aplicación como materiales auto-limpiables además de presentar los objetivos y dar a conocer las características del CINVESTAV del IPN donde fueron desarrollados los estudios a las películas delgadas de TiO_2 . El capítulo 2 presenta el área de trabajo y sus características. El capítulo 3 se darán las propiedades y características del TiO_2 como catalizador en fotocatalisis además de explicar cómo se realizan las películas delgadas y como se llevó a cabo el experimento de fotocatalisis. El capítulo 4 y 5 son resultados, discusiones y conclusiones y recomendaciones. Finalmente el capítulo 6 se encontrara las citas bibliográficas usadas en este trabajo.

1.1 Justificación

La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de métodos eficientes para eliminar compuestos químicos generados por diferentes actividades del hombre[25]. La contaminación del agua reviste gran importancia debido a que los contaminantes pueden acumular y ser transportados a arroyos, ríos, lagos, y mantos freáticos, afectando la vida silvestre y la salud del ser humano.

Debido a las crecientes demandas de nuevos materiales auto-limpiables [6] se han elaborado nuevas tecnologías basadas en las basan en la destrucción foto catalítica de los contaminantes orgánicos, y que pueden también remover contaminantes metálicos, constituyen una herramienta más, de reciente desarrollo, para brindar soluciones a algunos problemas que van desde la desinfección de aguas en comunidades poco desarrolladas, hasta el tratamiento de efluentes de algunos procesos industriales.

La remoción foto catalítica de contaminantes (RFC) es una de la llamada Tecnologías Avanzadas de Oxidación (TAO), que buscan transformar cuantitativamente la materia orgánica en dióxido de carbono, logrando así la mineralización completa de los contaminantes orgánicos. [25]

Tal cual la oxidación foto catalítica o actividad foto catalítica consiste en la degradación de compuestos orgánico mediante el uso de radiación ultravioleta y foto catalizadores (materiales soportados y no soportados). En este proceso la oxidación tiene lugar directamente en la superficie del catalizador o semiconductor, empleando luz ultravioleta como fuente de energía.

Desde hace unos años se ha encaminado la investigación a nuevos métodos de purificación de aguas hacia procesos que supongan una destrucción del contaminante en vez de hacia aquellos que suponen únicamente un cambio de fase de éste [25].

Es por ello que el presente trabajo se exponen algunos estudios realizados en el CINVESTAV del IPN para demostrar sí los materiales sintetizados por TiO_2 son idóneos para la degradación de contaminantes como tintes orgánicos presentes en aguas residuales, para ser aplicado como material auto-limpiables.

1.2 Objetivo general

Sintetizar estructuras de TiO_2 mediante la técnica de Rocío Pirolítico Ultrasónico y evaluar sus propiedades foto catalíticas para su aplicación de auto materiales limpiables (degradación de tintes orgánicos).

1.2 Objetivos específico

- Conocer y operar la técnica de Rocío Pirolítico Ultrasónico
- Sintetizar películas de TiO_2 que reúna las propiedades de transparencia adecuadas en base a espesores y temperaturas para el estudio de su actividad foto catalítica.
- Evaluar la actividad foto catalítica de las películas de TiO_2 mediante la degradación de la solución de violeta de metileno a diferentes tiempos de exposición a radiación UVA.

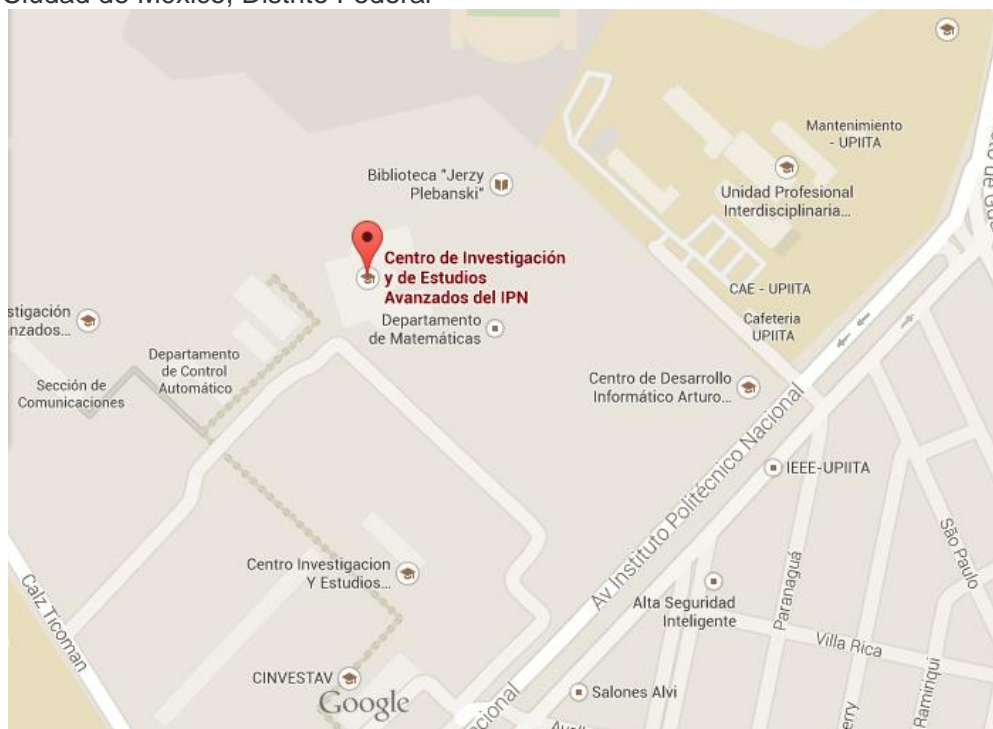
1.4 Aspectos generales de la empresa

1.4.1 Ubicación de la empresa

CINVESTAV

(Centro de investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional)

Av. Instituto Politécnico Nacional 2508
San Pedro Zacatenco
07360 Ciudad de México, Distrito Federal



1.4.2 Compromiso

En el Cinvestav estamos convencidos y comprometidos con respetar la dignidad, los derechos y las libertades de las personas, por lo que invitamos a toda la comunidad a conocer y hacer suyo el Código de Conducta, adoptando cada una de las acciones descritas como una forma de trabajo y un estilo de vida, con el propósito de dignificar el servicio público, así como fortalecer la armonía y un mejor clima laboral.

1.4.3 Organigrama

Por disposición oficial y de acuerdo a la Ley de Transparencia, el Cinvestav le ofrece el Directorio actualizado del personal administrativo e investigadores para que pueda usted tener contacto con ellos.

- **Dirección General**

La Dirección General se encarga de formular planes, estrategias y programas de desarrollo institucional que permitan alcanzar el objetivo de formar investigadores especialistas a nivel de posgrado y expertos en diversas disciplinas científicas y tecnológicas.

- **Secretaría Académica**

La Secretaría Académica se encarga de regular, coordinar y reglamentar, los programas académicos y proyectos de investigación a desarrollar a corto y mediano plazo por la entidad, en concordancia con los objetivos institucionales enmarcados en el decreto de creación y, promoviendo la vinculación del Cinvestav.

- **Secretaría Administrativa**

La Secretaría Administrativa se encarga de proponer e instrumentar las políticas, normas, sistemas y procedimientos necesarios para salvaguardar los bienes institucionales, verificar la exactitud y seguridad de los datos contenidos en el registro de las operaciones presupuestales y contables, desarrollar la eficiencia del control de gestión, así como supervisar la correcta administración de los recursos financieros, humanos y materiales de la entidad.

- **Secretaría de Planeación**

La Secretaría de Planeación se encarga de coordinar las acciones relacionadas con la formulación de la política de desarrollo institucional en materia de ciencia y tecnología, investigación y desarrollo educativo y su concreción en programas; así como dirigir y coordinar las actividades de planeación, vinculación y compatibilización, cuidando que los planes y programas que se generen, mantengan congruencia en su elaboración y contenido.

1.4.4 Valores

Valores Éticos de los Servidores Públicos de la Administración Pública Federal.

Bien Común.

Todas las decisiones y acciones del servidor público deben estar dirigidas a la satisfacción de las necesidades e intereses de la sociedad, por encima de intereses particulares ajenos al bienestar de la colectividad. El servidor público no debe permitir que influyan en sus juicios y conducta, intereses que puedan perjudicar o beneficiar a personas o grupos en detrimento del bienestar de la sociedad.

El compromiso con el bien común implica que el servidor público esté consciente de que el servicio público es un patrimonio que pertenece a todos los mexicanos y que representa una misión que sólo adquiere legitimidad cuando busca satisfacer las demandas sociales y no cuando se persiguen beneficios individuales.

Integridad.

El servidor público debe actuar con honestidad, atendiendo siempre a la verdad. Conduciéndose de esta manera, el servidor público fomentará la credibilidad de la sociedad en las instituciones públicas y contribuirá a generar una cultura de confianza y de apego a la verdad.

Honradez.

El servidor público no deberá utilizar su cargo público para obtener algún provecho o ventaja personal o a favor de terceros. Tampoco deberá buscar o aceptar compensaciones o prestaciones de cualquier persona u organización que puedan comprometer su desempeño como servidor público.

Imparcialidad.

El servidor público actuará sin conceder preferencias o privilegios indebidos a organización o persona alguna.

Su compromiso es tomar decisiones y ejercer sus funciones de manera objetiva, sin prejuicios personales y sin permitir la influencia indebida de otras personas.

Justicia.

El servidor público debe conducirse invariablemente con apego a las normas jurídicas inherentes a la función que desempeña. Respetar el Estado de Derecho es una responsabilidad que, más que nadie, debe asumir y cumplir el servidor público. Para ello, es su obligación conocer, cumplir y hacer cumplir las disposiciones

Transparencia.

El servidor público debe permitir y garantizar el acceso a la información gubernamental, sin más límite que el que imponga el interés público y los derechos de privacidad de los particulares establecidos por la ley.

La transparencia en el servicio público también implica que el servidor público haga un uso responsable y claro de los recursos públicos, eliminando cualquier discrecionalidad indebida en su aplicación.

Rendición de Cuentas.

Para el servidor público rendir cuentas significa asumir plenamente ante la sociedad, la responsabilidad de desempeñar sus funciones en forma adecuada y sujetarse a la evaluación de la propia sociedad.

Entorno Cultural y Ecológico.

Al realizar sus actividades, el servidor público debe evitar la afectación de nuestro patrimonio cultural y del ecosistema donde vivimos, asumiendo una férrea voluntad de respeto, defensa y preservación de la cultura y del medio ambiente de nuestro país, que se refleje en sus decisiones y actos. Nuestra cultura y el entorno ambiental son nuestro principal legado para las generaciones futuras, por lo que los servidores públicos también tienen la responsabilidad de promover en la sociedad su protección y conservación.

Generosidad.

El servidor público debe conducirse con una actitud sensible y solidaria, de respeto y apoyo hacia la sociedad y los servidores públicos con quienes interactúa.

Esta conducta debe ofrecerse con especial atención hacia las personas o grupos sociales que carecen de los elementos suficientes para alcanzar su desarrollo integral, como los adultos en plenitud, los niños, las personas con capacidades especiales, los miembros de nuestras etnias y quienes menos tienen.

Igualdad.

El servidor público debe prestar los servicios que se le han encomendado a todos los miembros de la sociedad que tengan derecho a recibirlos, sin importar su sexo, edad, raza, credo, religión o preferencia política.

No debe permitir que influyan en su actuación, circunstancias ajenas que propicien el incumplimiento de la responsabilidad que tiene para brindar a quien le corresponde los servicios públicos a su cargo.

Respeto.

El servidor público debe dar a las personas un trato digno, cortés, cordial y tolerante.

Está obligado a reconocer y considerar en todo momento los derechos, libertades y cualidades inherentes a la condición humana.

Liderazgo.

El servidor público debe convertirse en un decidido promotor de valores y principios en la sociedad, partiendo de su ejemplo personal al aplicar cabalmente en el desempeño de su cargo público este Código de Ética y el Código de Conducta de la institución pública a la que esté adscrito.

El liderazgo también debe asumirlo dentro de la institución pública en que se desempeña, fomentando aquellas conductas que promuevan una cultura ética y de calidad en el servicio público. El servidor público tiene una responsabilidad especial, ya que a través de su actitud, actuación y desempeño se construye la confianza de los ciudadanos en sus instituciones

1.4.5 Misión y visión

Misión: Contribuir de manera destacada al desarrollo de la sociedad mediante la investigación científica y tecnológica de vanguardia y la formación de recursos humanos de alta calidad.

Visión: Ser la institución líder en la formación de investigadores de alto nivel y generación de conocimiento científico y tecnológico de frontera, con un creciente impacto nacional e internacional que contribuya en forma visible y relevante a la solución de problemas del país ampliando nuestra presencia en la sociedad y en la cultura contemporánea.

CAPÍTULO

2

2. CARACTERIZACIÓN Y PROBLEMÁTICA DEL ÁREA

2.1 Caracterización del área de participación

Laboratorio:

Para la realización de películas de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ se realizaron en el laboratorio de Síntesis dentro del departamento de Física del CINVESTAV

El laboratorio cuenta con:

- Humificadores
- Campanas de extracción
- Área de lavado: Jabón industrial Extran, agua desionizada y destilada. Brochas de lavado.
- Área de desechos.
- Área de secado: Nitrógeno comprimido y papel.

Para el análisis de la actividad fotocatalítica de las películas de TiO_2 se realizaron en el laboratorio de medición.

Se contó con el equipo de Perfilometría el cual mide los espesores de las películas.

Materiales y Equipo:

El equipo utilizado para la realización de películas de TiO_2 es el humificador para la técnica de Rocío Piroclítico ultrasónico.

Estos son los materiales usados para la realización de películas de TiO_2

- Esferas de vidrio 250 ml
-
- Pipetas 10 ml
- Vasos de precipitado 50 ml
- Sustrato de Vidrio Corning 2x 1 cm o 2x2 cm
- Baño de estaño
- Sustrato de silicio
- Probetas 100 ml
- Boquilla

- Mangueras

Para la caracterización de la actividad foto catalítica:

- Celdas de cuarzo
- Pipetas volumétricas 1000 microL
- Matraz Erlenmeyer 250 ml
- Probeta 100 ml

Reactivos para realización de Soluciones:

Para la formación de películas de TiO_2 :

- Isopropóxido de titanio
- Agua destilada

Para la caracterización de la actividad foto catalítica:

- Agua destilada o des ionizada
- Violeta de metileno

2.2 Problemas a resolver

- Conocer el método de Rocío pirolítico ultrasónico
- Obtener películas delgadas de TiO_2 mediante el método de Rocío Pirolítico ultrasónico.
- Realizar los cálculos necesarios de la solución de violeta de metileno y armar el equipo de monitoreo bajo luz UV para poder investigar sus propiedades foto catalíticas para la aplicación de materiales auto-limpiables.

2.3 Alcances y limitaciones

Los alcances que se dieron durante la estancia en el CINVESTAV del IPN fueron que se tenía a la mano todas las sustancias químicas que se necesitaban para poder realizar películas delgadas de TiO_2 .

Las limitaciones fueron variadas, después de haber realizadas películas durante un tiempo fue imposible medirles el espesor en el equipo de Perfilometría puesto que éste mismo se encontraba dañado lo que limito el seguimiento de realización películas multicapa.

En consecuencia se realizaron más películas de TiO_2 para su estudio de actividad fotocatalítico y casi no se realizaron películas delgadas de multicapa de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ porque al final el mismo estudio fue encaminado hacia el TiO_2 .

El laboratorio a pesar de contar con el equipo suficiente para RPU se encontraba en malas condiciones y pocos de los humidificadores ultrasónicos servían.

Había un pequeño espacio para lavar los materiales que limitaba el aseado de los mismos al igual que el acceso a éste de más de una persona.

CAPÍTULO

3

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 Revisión del estado de arte.

1.- Oja Acik a,* , A. Junolainen a, V. Mikli b, M. Danilson a, M. Krunks

A Departamento de Física, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.

Departamento de Ciencia de Materiales. ESFM-IPN UP-ALM Mexico D.F. México

Thin Solid Films

CRECIMIENTO DE PELÍCULAS ULTRA DELGADAS POR ROCÍO PIROLÍTICO EN DIFERENTES SUSTRATOS.

Este artículo nos demuestra mediante la caracterización AFM (microscopio de fuerza atómica) y XPS (Espectroscopía Foto electrónica de rayos X) que el crecimiento de estructuras nanométricas de TiO_2 es mejor en sustratos de ITO (óxido de estaño dopado con indio) el cual es el mejor óxido transparente conductor, que en sustratos de Silicio debido a las propiedades específicas que maneja, sin embargo estos estudios no son aplicables a el estudio de estructuras nanométricas de ZNO.

2.- P.S. Shindea,b, S.B. Sadalec, P.S. Patilb, P.N. Bhosalea, A. Bru"gerd, M. Neumann-Spallartc, C.H. Bhosalea, _
aElectrochemical Materials Laboratory, Department of Physics, Shivaji University, Kolhapur 416004, Maharashtra, India

PROPIEDADES DEL ROCÍO DEPOSITADO EN PELÍCULAS DELGADAS DE DIÓXIDO DE TITANIO Y SU APLICACIÓN EN FOTOELECTROCATÁLISIS.

Este artículo nos menciona que el TiO_2 permite la oxidación de sustancias orgánicas bajo iluminación, siendo así un candidato ideal para la purificación de aguas residuales. Se demostró que la estructura policristalina anatasa de las películas de TiO_2 mediante Rocío Pirolítico era compacta, el crecimiento de la estructura era constante (40 nm) y con un estudio de difracción de rayos X, se

observó que las películas tenían mayor índice de transmitancia del 70% en la región visible.

Las películas entre 330-660 nm demostraban mayor actividad foto electroquímica.

Aplicando un estudio de polarización eléctrica se demostró la degradación de los ácidos oxálicos bajo la luz UVA y bajo luz solar.

3.- A.Conde-Gallardo,M.Guerrero,N.Castillo, A.B.soto, Fragoso and J.G.Cabañas-moreno.

Centro de investigación de estudios avanzados del IPN, departamento de Física.

PELÍCULAS DELGADAS FASE ANATASA DE TiO_2 , DEPOSITADOD POR ROCIO PIROLÍTICO Y AEROSOL DE ISOPROPÓXIDO DE TITANIO.

Este artículo nos habla sobre el experimento empleado en películas delgadas de isopropóxido de titanio sobre de silicio cristalino y sustratos de cuarzo que fueron sintetizados mediante el aerosol de pirólisis de pulverización ultrasónico (SP). Las películas realizadas con ésta técnica, recibieron el análisis de microscopio de fuerza electrónica (AFM) y microscopia electrónica de barrido (SEM), demostrando así que los resultados obtenidos sobre la evolución de la cristalización de las películas son muy similares a los usados en la técnica de deposición química de vapor (CVD).

4.-N.C.Raut, Tom Mathews,S. Tripura Sundari,T.N. Sairam, S.Dash y A.K Tiagi. Materials Science Division, Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam 603102, TN, India

CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS MORFOLÓGICAS DE PELÍCULAS DELGADAS DE TiO₂, SINTETIZADAS POR ROCÍO PIROLÍTICO.

Este artículo trata sobre el experimento empleado en películas delgadas de TiO₂ que fueron sintetizadas mediante la técnica de pirolisis por pulverización en el rango de temperatura de 300°C-550°C. Las películas fueron recubiertas sobre un sustrato de vidrio de cuarzo mediante nebulización ultrasónica de acetil acetato de titanio. La estructura y la morfología de las películas fueron caracterizadas mediante el estudio de difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM), y la espectroscopia del YV en el visible revela estructuras cristalinas distintas de las películas sintetizadas por encima y por debajo de 300 °C. Mientras que las películas crecidas en 300°C eran amorfas, las películas con temperaturas superiores a 350°C presentaban una estructura cristalina tetragonal anafase.

5.-A.Nakaruk, d.Ragazzan, C.C. Sarell, School of Materials Science and Engineering , University of South wales, Sydney, Australia.

PELÍCULAS DELGADAS ANATASA, POR MÉTODO DE ROCÍO PIROLÍTICO ULTRASÓNICO (RPU).

Este artículo nos habla sobre el experimento empleado en la realización de películas delgadas de TiO₂ fueron depositadas en sustratos de vidrio usando la técnica de RPU, a 400°C en rango de tiempo de 30-120 min.

Todas las películas presentaron una mayor fase anatasa policristalina. El primer orden de crecimiento fue determinado de 11 nm/min, el cual es similar a los otros métodos de fabricación de películas delgadas..

Los datos obtenidos por transmisión óptica mostraron que las películas tenían una mayor transparencia y se presentaron en dos tipos:

Películas delgadas (420 y 690 nm de espesor) eran las más suaves y transparentes mientras que las películas gruesas (1000 y 1290 nm de espesor) fueron las más ásperas y más traslucidas.

6.- L.B. Monroy-J (1) Instituto de Física, UNAM México

ESTUDIO MORFOLÓGICO DE PELÍCULAS DE Y-BA-CU-O DEPOSITADAS SOBRE VARIOS SUSTRATOS A PARTIR DE DIFERENTES PRECURSORES

En el presente trabajo realiza un estudio de Microscopía de Fuerza Atómica para caracterizar la rugosidad de películas del sistema Y-Ba-Cu-O depositadas sobre diferentes sustratos y con capas búfer, utilizando para ello la técnica de Rocío Pirolítico ultrasónico y diferentes precursores. Encontrando los parámetros de depósito que dan películas uniformes y manteniéndolos constantes durante todo el experimento, se determina la influencia de los precursores sobre la calidad de las películas y la razón de crecimiento sobre diferentes sustratos, tanto amorfos como cristalinos.

3.2 Elaboración de soluciones químicas precursoras

Soluciones precursoras:

Un precursor es aquel compuesto monofásico que se utiliza como material de partida para la síntesis de productos y que contiene las especies químicas en las proporciones necesarias [23]. Una solución precursora es aquella solución patrón que tiene como función hacer comparaciones sobre el comportamiento de las películas, para poder identificar el crecimiento (Segunda etapa en una reacción, en general en una transformación de fase, en la que se incrementa el tamaño de los núcleos. La reacción o transformación es completa si el crecimiento de estas nuevas partículas llega hasta alcanzar el equilibrio) de óxidos en la película; puesto que la solución de óxidos produce los mejores resultados con uniformidad de granos (Cristales individuales en un material poli cristalino) y un crecimiento ordenado y uniforme en ellas [22].

Películas de TiO₂

El TiO₂ en forma de películas delgadas tiene diversas aplicaciones. Es útil en: fotocatalisis [10], sensores de gas [12], capacitores [13], dispositivos electrocrómicos [14], celdas solares [15], protección de materiales. Por su excelente biocompatibilidad y hemocompatibilidad, es útil en el campo médico-biológico.

La aplicación de esta sustancia (TiO₂) para lograr la completa mineralización de compuestos orgánicos ha sido demostrada para diversas sustancias. Los aspectos más importantes que hacen más tecnología más susceptible de ser aplicada son las siguientes:

- El proceso tiene lugar a temperatura ambiente.
- La oxidación de sustancias hasta CO₂ es completa.
- El oxígeno necesario se obtiene de la atmósfera.
- El catalizador es barato, inocuo y puede reutilizarse muchas veces.
- El catalizador puede ser fijado en varias matrices inertes.
- La energía necesaria puede obtenerse de una fuente renovable, el sol.

El TiO₂ cristaliza en tres formas:brookita, anatasa y rutilo; este último es el más denso (4.22-4.26 g/cm³) y es una fase estable a alta temperatura. Las fases tetragonales (anatasa y rutilo) se han encontrado en las películas delgadas depositadas por espurreo, rocío pirolítico y solgel.

La fase ortorrómbica (brookita) se forma bajo condiciones hidrotérmicas específicas y/o en presencia de pequeñas cantidades de sodio por el método de sol-gel [11].

Aunque la anatasa es termodinámicamente menos estable que el rutilo, su formación es cinéticamente favorecida a temperaturas menores de 600 °C. Esta fase ofrece una alta área de superficie y una gran densidad superficial de sitios activos para la adsorción. Además, se ha encontrado que esta es la fase más activa para fotocatalisis [10].

La Tabla siguiente demuestra las principales características del método de Rocío Pirolítico para depositar películas de TiO₂.

Proceso	Substrato	Película	Temperatura (°C)	Precursor	Espesor	Referencia Bibliográfica
Rocío Pirolítico	Cuarzo Si	TiO ₂ Anatasa	400°C	Di-isopropóxido de titanio		[4]

Isopropóxido de titanio

Este precursor ha sido utilizado ampliamente para la síntesis de películas y nanoestructuras de TiO₂ mediante diversas técnicas [18].

Cálculos:

Isopropóxido de Titanio para solución 140 ml de Etanol ABS

$$W_{Ti(iso)} = V \cdot PM \cdot M =$$

$$W = (0.140 \text{ Lt})(284.22 \text{ gr/grmol})(0.05 \text{ m/L})$$

$$W_{Ti(iso)} = 1.9895 \text{ gr}$$

$$V_{Ti(iso)} = m/\rho =$$

$$1.9895 \text{ gr} / 0.96 \text{ gr/ml} = 2.07 \text{ ml}$$

Obtener 100 ml de los 140 ml de Etanol ABS.

$$W = (0.1 \text{ Lt})(284.22 \text{ gr/grmol})(0.05 \text{ m/L})$$

$$W_{Ti(iso)} = 1.4211 \text{ gr}$$

∞ Relación Ti(Iso) a Ti

PM Ti(ISO) : 284,22 g / g mol

PM Ti: 47.90 gr/g mol

W Ti (ISO) 1.4211 gr

$$Ti = \frac{47.90 \frac{gr}{mol} * 1.4211 gr}{284.22 \frac{gr}{g} mol} = 0.2395 gr$$

3.2 Preparación de sustratos de vidrio para la síntesis de recubrimientos:

Uso de sustratos de 10 cm x 10 cm, vidrio templado y vidrio tipo Cornig.

Los sustratos pasan por un proceso de limpieza antes de comenzar a utilizarlos en el recubrimiento de multicapas de TiO₂-SiO₂,

Debido al tamaño de los vidrios se hizo una limpieza manual para cada uno de ellos. El proceso es el siguiente:

4. Lavar los sustratos con jabón especial (EXTRAN) y agua bi-destilada. Es importante el uso de este jabón por sus principales características descontaminantes, biológicamente degradable junto con el agua bi-destilada para evitar efluentes de contaminación.
5. Aplicación de acetona industrial grado reactivo para remover impurezas tales como lípidos. Deja residuos de carbono los cuales son posteriormente quitados con Isopronanol y Metanol, al ser alcoholes capaces de actuar sobre este tipo de materiales, no corrosivos para ellos pero si en humanos. Cada parte se enjuaga por igual con agua bi-destilada.

6. Los sustratos son enjuagados con agua des-ionizada por sus características de alta pureza al carecer de sales que se encuentran en la naturaleza original de ésta.
7. El secado de los sustratos se realiza uno por uno de manera uniforme, sujetándolo con pinzas de metal, el gas utilizado para la labor es Nitrógeno, se utiliza en vez del aire comprimido para evitar contaminación

3.3 Conocimiento y operación de la técnica de Rocío Pirolítico Ultrasónico (RPU).

Dentro de la gran variedad de técnicas de depósito de materiales en película delgada, la técnica de depósito por Rocío Pirolítico es considerada como una técnica simple, económica y versátil que ha conducido a obtener una gran variedad de materiales en película delgada de buena calidad [9]. Su aplicación se basa en la obtención de películas delgadas de óxidos metálicos, óxidos conductores y semiconductores transparentes para aplicaciones en diferentes áreas de investigación tecnológica; tal como óxidos conductores transparentes, dieléctricos, películas delgadas superconductoras, materiales luminiscentes, entre otras [8].

El método de Rocío Pirolítico ultrasónico se divide en tres principales etapas: generación del aerosol, transporte del aerosol resultante, y la descomposición del precursor sobre el sustrato (pirólisis); en cada etapa existen múltiples variables que impactan de diferente manera en el recubrimiento sintetizado como la temperatura y la solución precursora.

El equipo de Rocío Pirolítico ultrasónico consiste de diversos aditamentos y accesorios incorporados dentro de una cámara de acrílico. Como sistema de calentamiento se emplea una tina de estaño fundido, la cual es controlada electrónicamente. El uso de humidificadores ultrasónicos, operando a una frecuencia de aproximada [8].

La técnica de depósito consiste en nebulizar una solución precursora por medio de la excitación producida por un generador de ultrasonido; esta solución nebulizada, por medio de un gas denominado de transporte es dirigida por una manguera hasta una campana de depósito, donde ayudada por un flujo de gas llamado director, es llevada hacia un sustrato caliente. El horno utilizado para mantener el sustrato caliente consiste en un horno de resistencias con control de temperatura

el cual calienta un recipiente lleno de estaño por encima de su temperatura de fusión; flotando en el metal fundido se coloca el sustrato, de esta manera se mantiene una temperatura uniforme en la superficie que se recubre.[22]

3.5 Síntesis de recubrimientos de TiO₂ por la técnica deRPU.

Películas delgadas:

Las películas delgadas son capas de materiales delgados con espesores que van desde algunos cuantos nanómetros hasta algunos cientos de micrómetros, las cuales son creadas por condensación una a una de materia, como átomos o moléculas. La fabricación de películas delgadas es ampliamente conocida como una tecnología tradicional ya establecida, debido a que ha estado presente en nuestras vidas desde hace mucho tiempo en el desarrollo de aplicaciones tales como dispositivos electrónicos, recubrimientos ópticos, celdas solares, foto detectores[24].

Síntesis de películas delgadas

Existen películas delgadas que se forman de elementos naturales, mas sin embargo en los últimos años se ha trabajado en el desarrollo de películas delgadas de materiales compuestos de uno o dos elementos. Compuestos de películas delgadas son depositados en sustratos por diferentes técnicas de fabricación, RPU, baño químico (CBD), chemical vapor deposition (CVD), evaporación térmica, electronbeamevaporation, spin onglass y sputtering son algunas de las técnicas usadas para esta tarea [24].

Las propiedades básicas de las películas, tales como su composición, su fase cristalina, morfología, orientación, espesor y micro estructura, son controladas por las condiciones de depósito y del método empleado, por ejemplo: la temperatura de crecimiento, la tasa de crecimiento, el sustrato, tiempo de depósito, la química, etc. Todo esto da como resultado, propiedades únicas de un material producto de un proceso de crecimiento, algunos ejemplos de propiedades esperadas como: tamaño de grano, efectos cuánticos, espesor, orientación cristalina, cambios en la resistividad, efectos de tensión, etc. [24]

Características de películas delgadas semiconductoras.

La medida de las propiedades de las películas delgadas es indispensable para el estudio de las películas delgadas de materiales y dispositivos. La composición química, estructura cristalina, estructura óptica, eléctrica y propiedades mecánicas deben ser consideradas en la evaluación y estudio de las películas delgadas, esta caracterización permite ver la correlación entre las condiciones de crecimiento y las propiedades resultantes del método de fabricación.

Los parámetros a evaluar son los siguientes:

1. blancura de la película menor al 0.5%.
2. Recubrimientos ausentes de inclusiones, defectos visibles, huecos, suciedad, manchas, rayas, etc.
3. Alta homogeneidad, la variación de los espesores en un mismo recubrimiento debe ser menor al 4%.
 1. Variación de espesores entre las muestras no deben ser mayor a más-menos el 5%.
 2. Iridiscencia no es permitido, es decir, la variación del color no debe cambiar con respecto al ángulo con el que se mira el recubrimiento.
 3. Resistencia mecánica suficientemente dura para que no se dañe con rayones sin aplicarle fuerza excesiva.

3.6 Evaluar las propiedades foto catalítica de los recubrimientos obtenidos

Fotocatálisis

La fotocatalisis es un proceso catalítico promovido por energía de determinada longitud de onda, capaz de excitar a un semiconductor (catalizador) al grado de hacer que se comporte como un material conductor, en la superficie del cual se desarrollarán reacciones de oxido-reducción, las cuales generan radicales libres muy reactivos, mismos que reaccionarán con las especies a su alrededor, rompiendo algunos enlaces moleculares y reduciendo u oxidándolas hasta convertirlas en especies menos complejas. Esta reducción en la complejidad molecular generalmente se traduce en una reducción del grado de contaminación o peligrosidad de la especie que se esté tratando.

La excitación del semiconductor puede tener lugar de dos formas:

- Por excitación directa del semiconductor, de manera que éste es el que absorbe los fotones usados en el proceso.
- Por excitación inicial de moléculas adsorbidas en la superficie del catalizador, las que a su vez son capaces de inyectar cargas (electrones) en el semiconductor.

Los procesos químicos que ocurren en una partícula de semiconductor cuando ésta es excitada con luz suficientemente energética. En estas condiciones, se crean pares electrón-hueco cuya vida media está en el rango de los nanosegundos; en ese lapso deben migrar a la superficie y reaccionar con especies adsorbidas. Los pares electrón-hueco que no alcanzan a separarse y a reaccionar con especies en la superficie se recombinan y la energía se disipa.

Los semiconductores de interés en fotocatalisis son sólidos (generalmente óxidos) donde los átomos constituyen una red tridimensional infinita.

La eficiencia de la reacción fotocatalítica depende de diversos factores. Uno de los aspectos más críticos es la alta probabilidad de recombinación electrón-hueco, que compite con la separación entre las cargas fotogeneradas. [20]

Actividad foto catalítica

El proceso de fotocatalisis se basa en la transferencia de carga a través de la interface formada entre un semiconductor iluminado y una solución acuosa. En esta interface existe una densidad local de carga diferente a la del seno de ambas fases, produciendo un campo eléctrico que actúa como fuerza impulsora en el proceso de transferencia de carga [7].

Factores que afectan el proceso foto catalítico

- pH: Afecta las propiedades superficiales del catalizador y la forma química del compuesto.
- Temperatura: El proceso no es muy sensible a la temperatura , sin embargo puede afectar la composición del medio de reacción mediante transformaciones térmicas de las especies químicas presentes
- Presión: Al aumentarse se forman menos reacciones secundarias y se obtiene un grado de mineralización mayor.
- Agentes oxidantes: Aceleran el proceso de degradación.
- Concentración del contaminante: Se obtienen mayores grados de mineralización a CO₂ para los mismos tiempos de residencia[19]

Los componentes necesarios para que la reacción de fotocatalisis tenga lugar son un compuesto a degradar, un compuesto oxidante como es el oxígeno contenido en el aire, un medio donde se produce la reacción, en este caso el propio aire, un fotocatalizador como es el dióxido de titanio u otro compuesto semiconductor, y una fuente de luz ultravioleta ya sea natural (proveniente del sol) o artificial (lámparas) [25].

Perfilometría

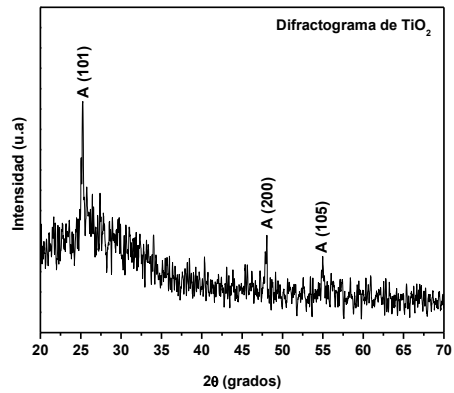
Caracterización mediante Perfilometría

Es posible medir espesores de capas delgadas utilizando un perfilómetro. Este tipo de medidor de espesores, tiene una punta móvil que se pone en contacto con la muestra. La punta recorre la superficie de la muestra aplicando sobre ella una fuerza constante (la longitud de barrido y la magnitud de la fuerza pueden variarse en función de las características de la muestra). La punta está conectada a un sistema de medición que graba los desplazamientos verticales que sufre en su recorrido a lo largo de la superficie de la muestra. De esta forma se determinan cambios en el espesor. Sirve para la medición de espesores de películas delgadas planas, altura de cráteres y detalles topográficos de interés en la superficie. Cuantificación de parámetros estructurales de superficies.

Para evaluar la actividad foto catalítica se realizó el siguiente proceso en el CINVESTAV DEL IPN, unidad ZACATENCO, departamento de Física:

La temperatura de depósito fue de 450°C. El espesor medido por el equipo de perfilometría, para todos los experimentos se fijó en 37-40 nm. El patrón de difracción de rayos x (fig 1.) reveló que las películas de TiO₂ presentan fase anatasa.

Figura 1. Patrón de difracción de rayos X



Cada fase tiene características de difracción de cristales. En la figura uno se puede apreciar las direcciones de difracción de los cristales en la fase anatasa, por lo que nos demuestra que estas películas representan anatasa pura.

Coordenadas de ***difracción de rayos X***:

A (1, 0,1)

A (2, 0,0)

A (1, 0,5)

Se utilizaron dos vasos de precipitado, cada uno con 60 ml de una solución acuosa de violeta de metileno a una concentración de 1.6 ppm.

Cálculos realizados para la solución de violeta de metileno.

Relación:

10 mg/Lt de violeta de metileno en 1 Lt de H₂O

Dónde:

1 mg/ Lt = 1 ppm

¿Cuántas partes por millón se necesitan para un volumen inicial de 160 ml de H₂O?

$$\frac{(0.160 \text{ lt}) * (10 \frac{\text{mg}}{\text{lt}})}{1 \text{ lt}} = 1.6 \frac{\text{mg}}{\text{Lt}} = 1.6 \text{ ppm de violeta de metileno}$$

¿Cuántos gr de violeta de metileno se deben agregar en 160 ml de H₂O?

$$\frac{(1.6 \text{ mg}) * (1\text{gr})}{1000 \text{ mg}} = 0.0016 \text{ gr de violeta de metileno}$$

En uno de los vasos se sumergieron dos películas de área de 1.5x5 cm de TiO₂. Se empleó una lámpara fluorescente de 20 W, Como fuente de radiación de UVA (365-465 nm, es el rango que emite la lámpara), la cual se montó en un reflector para evitar que la luz UVA se escapara a todas direcciones y de esa forma rebotase hacia el centro de las muestras con el fin optimizar la irradiación sobre las muestras.

Lámpara fluorescente acoplada a un reflector



Las soluciones fueron colocadas en una caja cerrada bajo radiación UVA a temperatura ambiente.

Sistema de Foto-catálisis.



Durante el monitoreo del experimento se extrajeron 3 ml de cada vaso en diferentes lapsos de tiempo. La degradación del violeta de metileno fue analizada mediante absorción en un espectrofotómetro Uv-Visible (luz UV y luz visible) en el rango de 450-750 nm.

CAPÍTULO

4

4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES DE RESULTADOS

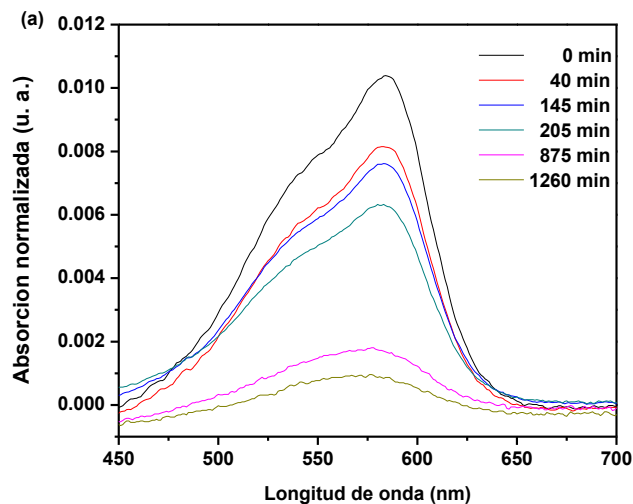


Figura 2, degradación de la solución de violeta de metileno a diferentes tiempos de exposición a radiación UVA.

La figura 2 de la izquierda muestra los resultados de la degradación de la solución de violeta de metileno a diferentes tiempos de exposición a radiación UVA.

Iniciando desde 0 minutos de exposición a la luz UVA, se comienza realmente a notar una degradación de la solución de violeta de metileno a partir de los 40 minutos hasta 1260 minutos.

La cantidad de absorbancia de violeta de metileno indica cuanta cantidad de luz UV-visible es realmente absorbida por las moléculas que se encuentran en la solución y cómo podemos observar en la figura de arriba a medida que avanza la exposición de la solución en la luz UV-visible a través del tiempo, la misma luz va degradando dichas moléculas y cada vez es menos la cantidad de absorbancia que existe dentro de la solución.

De esa manera podemos observar que sí existe actividad foto catalítica en las muestras de películas de TiO_2 en fase Anatasa.

Para obtener una cuantificación de la fracción de descomposición del violeta de metileno, se calculó el porcentaje de degradación (%) de acuerdo a la siguiente expresión.

$$\%Deg = \frac{C_0 - C_i}{C_0}$$

Donde:

C_0 es absorción integrada al tiempo inicial

C_i es la absorción integrada a un tiempo dado.

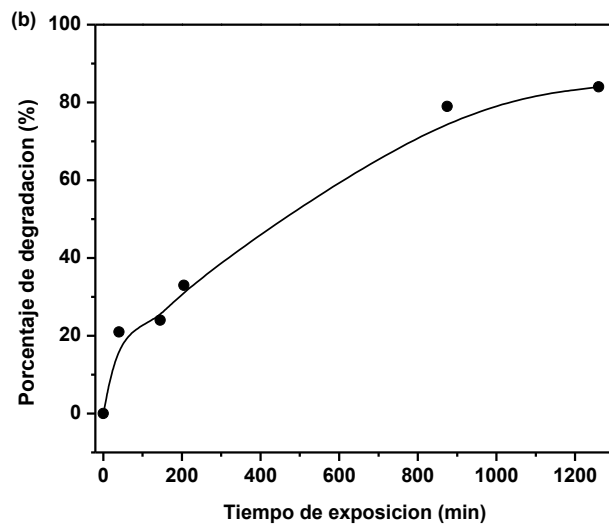


Figura 3 Resultados del % de degradación para diferentes tiempos de exposición.

En la figura 3 de la izquierda se observa los resultados del porcentaje de degradación para diferentes tiempos de exposición.

Como se observaba en la figura 2 anteriormente, existe un porcentaje Cero en el tiempo Cero de exposición.

A partir del tiempo 40 min, existe el 20% de degradación del violeta de Metileno.

A los 1260 minutos existe el 84% de degradación del violeta de Metileno.

Entonces la degradación del violeta de metileno bajo una irradiación continua radica alrededor de 20% a 84% en los tiempos desde 40 minutos a 1260 minutos.

Películas de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Muestra SiTi_12

Sustrato de vidrio, 10 x 10 cm

Silicio:

- ↻ 1 recorrido
- ↻ Precursor TEOS , 2 humidificadores nitrógeno 2.5 LPM C/u
- ↻ $T^\circ\text{C}= 375^\circ\text{C}$

Titanio:

- ↻ $T^\circ\text{C}= 450^\circ\text{C}$
- ↻ 2 recorridos
- ↻ 2 humidificadores 3.5 LPM c/u
- ↻ Flujo central: 3.5 LPM
- ↻ Solución Ti (Ac Ac) 0.05 M en metanol

Muestra SiTi_16

Sustrato de vidrio, 10 x 10 cm

Silicio:

- ↻ 1 recorrido
- ↻ Precursor TEOS , 2 humidificadores nitrógeno 2.5 LPM C/u
- ↻ $T^\circ\text{C}= 375^\circ\text{C}$
- ↻ Flujo central: 10 LPM ozono

Titanio:

- ☞ T°C= 450°C
- ☞ 6 recorridos
- ☞ 2 humidificadores 3.5 LPM c/u
- ☞ Flujo central: 3.5 LPM N2
- ☞ Solución Ti (Ac Ac) 0.05 M en metanol

Muestra SiTi_112:

- ☞ 1 recorrido tarda 2:11 min aproximadamente

Silicio:

- ☞ 12 recorridos
- ☞ T°C: 450°C
- ☞ 2 humidificadores, 2.5 LPM N2 c/u
- ☞ Flujo central: 10 LPM ozono
- ☞ Precursor : TEOS

Titanio:

- ☞ 12 recorridos
- ☞ T°C: 450°C
- ☞ 2 humidificadores, 3.5 LPM N2 c/u
- ☞ Flujo central: 3.5 LPM N2
- ☞ Solución Ti (Ac Ac) 0.05 M en metanol
- ☞ Frecuencia en X: 6 Hz
- ☞ Frecuencia en Y: 200 Hz
- ☞ Espesor : 700 a 750 Å
- ☞ Iridiscencia: Presentaba ligeras variaciones de colores, al ser así se concluye que existen diferentes espesores en la película.

Muestra SiTi_15:

- ☞ 1 recorrido tarda 5 min aproximadamente.
- ☞ Silicio:
 - ☞ 1 recorrido
 - ☞ T°C: 375°C
 - ☞ 2 humidificadores, 2.5 LPM N2 c/u
 - ☞ Flujo central: 10 LPM ozono
 - ☞ Precursor : TEOS

- ☞ Titanio:
 - ☞ 5 recorridos
 - ☞ T°C: 450°C
 - ☞ 2 humidificadores, 3.5 LPM N2 c/u
 - ☞ Flujo central: 3.5 LPM N2
 - ☞ Solución Ti (Ac Ac) 0.05 M en metanol
 - ☞ Frecuencia en X: 3 Hz
 - ☞ Frecuencia en Y: 200 Hz
 - ☞ Espesor: 1100 Å
 - ☞ Iridiscencia: presentaba color rosa y un poco amarillo.

Películas de TiO₂

☞ Descripción

En esta sección se realizaron películas de TiO₂ con ETANOL ABSOLUTO.

Se realizaron multicapas del mismo en tiempos diferentes.

Para 3 capas :

☞ Sustrato de vidrio 2 x2 cm

☞ 7.5 LPM aire comprimido

☞ Etanol Abs. 0.05 M

☞ T°C= 350 °C

☞ Tiempo = 45 segundos

Para 4 capas :

☞ Sustrato de vidrio 2 x2 cm

☞ 7.5 LPM aire comprimido

☞ Etanol Abs. 0.05 M

☞ T°C= 500 °C

☞ Tiempo = 15 segundos

Las películas realizadas, fueron llevadas al laboratorio de medición donde se encuentra el equipo “perfilnómetro” el cuál mide el espesor de las películas en base a una diferencia de alturas en el sustrato de vidrio y la solución química depositada.

Ésta diferencia se obtuvo durante la realización de las películas, antes de ser puesta en marcha el depósito; se le coloca una pequeña parte del material de Silicio “mosca” en la/las esquina/s del sustrato, de tal forma que no sea cubierta esa parte por el material en depósito.

CAPÍTULO

5

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las muestras de películas de TiO_2 en fase Anatasa, obtuvieron una degradación hasta 84% en una solución de violeta de metileno (1.6 ppm). De haberse expuesto más tiempo se podría haber logrado la totalidad de la degradación del material orgánico. Esto nos demuestra que existe actividad foto catalítica en las películas y la mejor fase para el experimento se encuentra en las películas en fase anatasa.

La realización de películas de TiO_2 directamente del tiempo de exposición al depósito del semiconductor y de la temperatura, la cual ayuda a la formación de cristales. Sí se desea obtener cristales en fase Anatasa dependerá de éste factor. Todavía se realizan pruebas para identificar cuál sería la temperatura ideal para tener estos resultados en las películas delgadas de TiO_2 .

Si se llegara a encontrar la temperatura idónea para optimizar las películas y lograr que exista mejor difracción de cristales podríamos obtener una anatasa más pura y eficiente para lograr la degradación de compuestos orgánicos.

Sin embargo existen ciertos factores que podrían afectar el proceso, tal cual el área de la película o el espesor de la misma. A mayor área de película ó con un mayor espesor puesta en la solución es posible que dé resultados más rápidos, no hay que olvidar que las condiciones de estas películas deben conservar sus propiedades de transparencia.

Por lo concluido es que estas películas bajo estas condiciones sí son óptimas para que se lleve a cabo la actividad foto catalítica en compuestos orgánicos. Sólo queda decir que hay que escudriñar más en las condiciones de espesores y temperaturas de dichas películas con el fin de optimizarlas.

La recomendación para la mejora del presente trabajo es que al procesado de las películas se realice a temperaturas en un rango entre 400 °C a 450°C, para encontrar la temperatura idónea para la formación de cristales Anatasa en las películas de TiO_2 .

CAPÍTULO

6

6.- FUENTES DE INFORMACIÓN

[1] M.R.hoffmann,S.T. Martin,W.Choi,D.W.Bahnmann,environmentalApplications of Semiconductor Photocatalysis,Chem.Rev.95 (1995),69-96.

[2] N.W- Ashcroft,N.D.Mermin.Solid State Physics.Holt.Rimehart and Wiston.New York, 1976.

[3] R.Berendston, www.activglass.com

[4] A.Conde-Gallardo,M.Guerrero,N.Castillo.A..B.soto, Fragoso and J.G.Cabañas-moreno,TiO₂Anatase thin films deposited by spray pyrolysis of an aerosol of Titanium diisopropoxide,Thin Solid Films.473 82005).68-73.

[5] <https://es.scribd.com/doc/99004157/1/CAPITULO-1-LA-TECNICA-DE-ROCIO-PIROLITICO>

[6] Shuijin Yang, Yulin Xu, Yongkui Huang, Guohui Zhou, Zhiyuan Yang, Yun Yang, Guohong Wang, International Journal of Photoenergy 23 (2013) article Id 191340.

[7] R.J Candal, S.A Bilmes,M.A. Blesa, Usos de oxidos semiconductores y materiales relacionados para aplicaciones ambientales y ópticas. Eliminacion de contaminantes por fotocatalisis heterógena, Ed.Miquel A. Blesa, argentina (2001).

J.D. Chapple-sokol.C-J.Giunta,R.G.Gordon.Kinetic of Silicn oxide thin film deposition from silane and disilane with nitrous oxide,Mater,res.soc.symp.Proc.,105 (1988).127-32.

[8]

http://www.cicata.ipn.mx/OfertaEducativa/MTA/ReclnInfraestructura/Paginas/Equipos_Películas_Delgadas/Sis_RPU.aspx

[9]

http://www.cicata.ipn.mx/OfertaEducativa/MTA/ReclnInfraestructura/Paginas/Lab_Sin_Pel_Del_Tec_RPU.aspx

[10] Martínez A.I., Acosta D. *Depto. Materia Condensada, Instituto de Física UNAM Ciudad Universitaria, México D.F. López A.*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de IngenieríaLima Perú.Efecto del contenido de Sn sobre las propiedades físicas de películas delgadas de TiO₂ .J.-M. Herrmann, Cat. Today 53, 115 (1999).

[11] H. Bach, D. Krause, Thin Films on Glass, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania (1997)

[12] U. Kirner, K.D. Schierbaum, Sensor Act. B 1, 103 (1990).

[13] G. P. Burns, I. S. Baldwin, M. P. Hastings, and J. G. Wilkes, J. Appl. Phys. 66, 2320 (1989).

[14] R. Cinnsealach, G. Boschloo, S.N. Rao, Sol. Energy Mat. Sol. Cells 57, 107 (1999).

[15] M. Gómez, J. Rodríguez, Sol. Energy Mat. Sol. Cells 59, 277 (1999). [16] F. Lapostolle, A. Billard, V. Von Stebut, Surf. Coat. Tech. 135, 1 (2000).

[16] Mele, G., Ciccarella, G., Vasapollo, G., GarcíaLópez, E., Palmesano, L. y Schiavello, M. (2002). Photocatalytic degradation of 4-nitrophenol in aqueous suspension by using polycrystalline TiO₂ samples impregnated with Cu(II)-phthalocyanine. Applied Catalysis B: Environmental 38, 309-319.

[17] Yu, J. C, Yu, J. y Zhao, J. (2002). Enhanced photocatalytic activity of mesoporous and ordinary TiO₂ thin films by sulfuric acid treatment. Applied Catalysis B: Environmental 36, 3143. y col., 2002, Langlet. col., 2002.

[18] Claudia Contreras 1, Samuel Hevia 2 Rodrigo Segura 1, 1 Depto. de Química y Bioquímica, Deposition of thin films of Titanium Dioxide using Titanium Isopropoxide as precursor. Universidad de Valparaíso, Av. Gran Bretaña 1111, Valparaíso, Chile 2 Depto. De Física, Pontificia Universidad Católica de Chile

[19] Alfonso García Hernández. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana Fotodegradación catalítica de azul de metileno en presencia de dióxido de titanio usando un medio intermitente de reacción.

[20] Jose Alain Rosales Garcia, tesis "Materiales Para Fotocatalisis Y Electrofotocatalisis", Universidad Veracruzana Facultad De Ciencias Químicas, Zona Poza Rica - Tuxpan

[21] Thomas R. Gordon, Matteo Cargnello, Taejong Paik, Filippo Mangolini, Ralph T. Weber, Paolo Fornasiero, Christopher B. Murray, Journal of The American Chemistry Society 134 (2012) 6751.

P. Zeman, S. Takabayash, Journal of Vacuum Science and Technology A 20 (2002) 388.

[22] .B. Monroy-J (1) Dr. Jhon Jairo OlayaFlórez, Dr. Guillermo Santana Rodríguez, ESTUDIO MORFOLOGICO DE PELÍCULAS DE Y-BA-CU-O DEPOSITADAS SOBRE VARIOS SUSTRATOS A PARTIR DE DIFERENTES PRECURSORES, Universidad Nacional de Colombia; IIM - Universidad Nacional Autónoma de México. 22] Dra. Margarita Rivera – Instituto de Física, UNAM México (1) Maestría en Materiales y Procesos - Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Universitaria, Bogotá, D.C.

[23]

<http://www.uv.es/uimcv/Castellano/ModuloMatCeramicos/Unidad%202.pdf>

[24] <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/21199/Capitulo2.pdf>

[25] ROSALES GARCIA JOSE ALAIN “materiales para fotocatalisis y electrofotocatalisis” universidad veracruzana facultad de ciencias químicas zona pozarica – tuxpan

Anexo1 imágenes de materiales utilizados en el proyecto.



Fig.1 Humificador ultrasónico



Fig. 2 Baño de estaño con sustrato de silicio incorporado y sustrato de vidrio encima.



Fig. 3 Campana de extracción, en su interior se encuentra los humidificadores ultrasónicos.



Fig.4 Estante para reactivos químicos.



Fig. 5 lámpara de alcance UV



Fig.6 depósito de residuos químicos.



Fig.7 solución de violeta de metileno con agua.



Fig. 8 Tarja para lavar materiales de laboratorio.

Anexo 2.

Cronograma de actividades



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS
SEGUIMIENTO DE PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

ALUMNO: Estefanía Lara Camas No DE CONTROL: 1027061
 NOMBRE DEL PROYECTO: Síntesis y estudio de las propiedades fotocatalíticas de estructuras multicapa de SiO₂/TiO₂ obtenidas por Rocio Pirofítico Ultrasónico. EMPRESA: CINVESTAV IPN, unidad Zacatenco.
 ASESOR EXTERNO: Dr. Efraín Zuleta Alejandre ASESOR INTERNO: Ing. Juan José Solís Zavala
 PERIODO DE REALIZACIÓN: Agosto – Diciembre de 2014

ACTIVIDAD		SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión del estado del arte	P	x	X	x	x												
	R		x	x													
Elaboración de soluciones químicas precursoras	P					x				x			x				
	R					x			x			x					
Preparación de sustratos de vidrio para la síntesis de recubrimientos.	P					x				x				x			
	R					x				x	x			x			
Conocimiento y operación de la técnica de Rocio Pirofítico Ultrasónico (RPU).	P						x	x	x			x	x	X			
	R					x	x	x									
Síntesis de recubrimientos de TiO ₂ y SiO ₂ por la técnica de RPU.	P							x	x			x	x				
	R							x	x	x	x	x					
Síntesis de estructuras multicapa basados en recubrimientos de SiO ₂ y TiO ₂ por la técnica de RPU.	P														x	x	x
	R											x	x	x			
Evaluar las propiedades foto catalíticas de los recubrimientos obtenidos	P														X	X	X
	R														X	X	X
OBSERVACIONES:						1er Informe 22 y 23 de septiembre				2o. Informe 20 y 21 de octubre				3er. Informe 20 y 21 de noviembre			
El reporte final: 17 y 19 de diciembre del 2014																	
ENTREGA DE REPORTES	Docente																
	Alumno																
	Jefe Depto.																

ITTG-AC-PO-007-05

Rev. 1