

Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila

ISSN: En trámite

Publicada desde 2009

JBCT-JOURNAL OF BIOPROCESS AND CHEMICAL TECHNOLOGY, año 2018 Volumen 10, No. 19, enero - junio 2018, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25380, tels.: (844) 4-14-85-82 y 4-10-02-78, <http://www.biochemtech.uadec.mx>, jbct@uadec.edu.mx. Editor Responsable Mónica L. Chávez González. Reserva de Derechos al uso exclusivo No. 04-2019-011112445500-203 **ISSN:** (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos Federico Robledo Flores, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, enero de 2018.



CONSEJO EDITORIAL

Editores en jefe:

Dra. Mónica L. Chávez González
Dra. Adriana C. Flores Galleogos
Dr. Juan A. Ascacio Valdés
Dr. Leonardo Sepúlveda Torre

Consejo Editorial:

Dr. Cristóbal N. Aguilar González, Dr. José Luis Martínez Hernández, Dr. David Castro Lugo.

Comité editorial:

Dra. Claudia Magdalena López Badillo, Dra. Anilu Rubio Ríos, Dra. Aidé Sáenz Galindo

Comité técnico editorial nacional e internacional

Dr. Damaso Navarro Rodríguez (Materiales Avanzados Centro de Investigación en Química Aplicada); Dr. Sylvain Guyot Agroquímica (INRA-Unité de Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes. Francia); Dra. Arely Prado Barragán (Bioreactores y Fermentaciones Universidad Autónoma Metropolitana); Dr. Deepak Kumar Verma (Department of Agricultural and Food Engineering. Indian Institute of Technology); Dra. Virginia Nevárez Moorillón (Biotecnología Universidad Autónoma de Chihuahua); Dr. Zainul Akmar Zakaria (Chemistry & Engineering. Universiti Teknologi Malaysia); Dra. Anna Iliina Dimitrevna (Nanomateriales y Biotecnología Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Liliana Serna (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Nacional de Colombia); Dr. Romeo Rojas Molina (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Autónoma de Nuevo León); Dra. Gisela Tubio (Biotecnología Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario); Dr. José Juan Buenrostro Figueroa (Ciencia y Tecnología de Alimentos Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.); Dr. Miguel Cerqueira (Nanomateriales International Iberian Nanotechnology Laboratory. Portugal); Dr. Miguel Ángel Aguilar González (Materiales Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN); Dr. Sócrates Palacios (Revalorización de residuos Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Ecuador); Dr. Miguel Velázquez Manzanares (Química Analítica Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Alessandra Napolitano (Biomateriales University of Naples Federico II. Italia); Dr. Nagamani Balagurusamy (Catálisis enzimática y fermentaciones Universidad Autónoma de Coahuila); Dr. José A. Teixeira (Ingeniería Bioquímica University of Minho. Portugal); Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán (Bioprocesos Universidad Autónoma de Tamaulipas); Dr. Sevastianos Roussos (Biotecnología y Biorremediación Université Paul Cezanne, Francia); Dr. Jorge Enrique Wong Paz (Bioprocesos Instituto Tecnológico de Ciudad Valles); Dr. Luis Bermudez Humarán (microbiología e Inmunología MICALIS Institute. INRA, Francia); Dr. Shiburaj Sugathan (Microbiology Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute. India.); Dr. Sabu Abdulhameed (Biotecnología y Microbiología. Kannur University)

Journal of Bioprocess and Chemical Technology
Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila
Volumen 10, No. 19 enero-junio de 2018

Contenido

Editorial No. 3

Dra. Mónica Chávez

Teoría Funcional de la Densidad Aplicada en Nanoalambres de BN
Density Functional Theory Applied in Nanowires of BN

Camarillo-Salazar Erika, Romero-De la Cruz Teresa, Martínez-Luevanos Antonia.

Aplicaciones De Nanopartículas De Plata Para Combatir El Cáncer De Mama

Applications Of Silver Nanoparticles To Combat Breast Cancer Karina Guadalupe Espinosa Cavazos, Aidé Sáenz Galindo, Adali Oliva Castañeda Facio

Recubrimiento por Plasma Frío: Aplicaciones e Investigación Experimental

Cold Plasma Covering: Applications and Experimental Investigation
Alonso-Montemayor, F. J.

Editorial

En el tercer número del Journal of BioProcess and Chemical Technology los invitamos a conocer un nuevo método de simulación computacional para calcular las propiedades estructurales y electrónicas de un material. En un segundo documento encontrarán una revisión detallada sobre la aplicación del plasma frío como recubrimiento químico mostrando como esta metodología representa una forma viable, económica y amigable con el medio ambiente para depositar diferentes materiales sobre una amplia variedad de superficies.

Y el último documento de este número aborda el uso de nanopartículas de plata como una alternativa para combatir el cáncer de mama de forma específica sin dañar células sanas a diferencia de los tratamientos clásicos que suelen destruir todo tipo de células.

Que disfruten este número de JBCT.

Dra. Mónica L. Chávez González

Teoría Funcional de la Densidad Aplicada en Nanoalambres de BN

Density Functional Theory Applied in Nanowires of BN

Camarillo-Salazar Erika^{1*}, Romero-De la Cruz Teresa² y Martínez-Luevanos Antonia¹

¹Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Departamento de Materiales Cerámicos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, 25,000. Saltillo, Coahuila, México.

²Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, Universidad Autónoma de Coahuila, Prolongación David Berlanga S/N, Edif. A., Unidad Camporredondo, C.P.25000, Saltillo Coahuila.

*Autor de correspondencia: erikacamarillo@uadec.edu.mx Tel: (844)4155752

Resumen

En este artículo de divulgación se estudia el método de simulación computacional DFT (density functional theory por sus siglas en inglés), el cual puede calcular las propiedades estructurales y electrónicas de un material, en este caso se aplica a nanoalambres de Nitruro de Boro (BN) para analizar de qué manera sus propiedades electrónicas dependen de su estructura.

Palabras clave: DFT, nanoalambres, simulación.

Abstract

In this article, the DFT (density functional theory) computational simulation method is studied, which can calculate the structural and electronic properties of a material, in this case is applied in nanowires of Boron Nitride (BN) to analyze how their electronic properties depend on their structure.

Keywords: DFT, nanowires, simulation.

INTRODUCCIÓN

La teoría funcional de la densidad es un método de la química computacional para describir las propiedades y la estructura electrónica de sistemas atómicos y moléculas. DFT se originó durante los últimos años de la década de 1920 pero no fue tomada en cuenta hasta la aparición de los documentos clave de Hohenberg y Kohn (1964) y de Kohn y Sham (1965)

[Leszczynski, 2012], que establecen los fundamentos de la teoría de DFT. El primer teorema de Hohenberg-Kohn establece que la densidad electrónica es determinada por medio del operador Hamiltoniano (expresión que involucra las energías electrostáticas del sistema) lo que implica la dependencia únicamente de una variable en lugar de tres, es decir de un

funcional de la densidad electrónica dependiente de r (posición de los átomos), de esta manera la densidad electrónica determina todas las propiedades del estado fundamental del sistema. El segundo teorema de Hohenberg-Kohn también conocido como teorema variacional indica que la densidad electrónica que minimiza la energía total es la densidad exacta del estado fundamental, es decir la de menor energía. Por otro lado, la teoría de Kohn-Sham utiliza la energía cinética de un sistema ficticio no interactivo con la misma densidad de electrones que la interacción real para calcular una energía de correlación e intercambio y determinar la densidad electrónica del estado fundamental. El problema principal del método es determinar el termino desconocido de correlación e intercambio debido a esto se recurre a diferentes métodos de aproximación numéricos.

Uno de los personajes que inspiró el DFT fue el eminente físico de los 90s Paul Adrien Maurice Dirac el cual aparece en la figura 1, quien en una reunión de la sociedad filosófica de Cambridge propuso la necesidad de un nuevo enfoque para estudiar las propiedades estructurales y electrónicas de las moléculas mediante la física cuántica pues en ese entonces era imposible resolver el problema de los tres cuerpos con los métodos clásicos de la física y de las matemáticas que en la actualidad solo se puede resolver mediante aproximaciones numéricas, a este enfoque lo llamo de campo autoconsistente que aunado a los trabajos previos de Douglas Hartree y Vladimir Fock significaron una solución a las dificultades que presentaba resolver la ecuación de Schrodinger aplicada a átomos polieletrónicos [Kwon, Sposito, 2017].

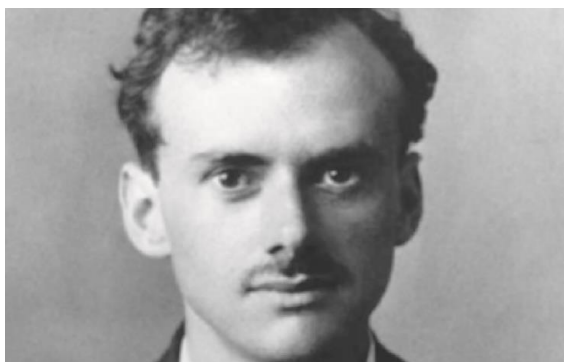


Figura 1. Paul Adrien Maurice Dirac(1902-1984).

El método del campo autoconsistente se basa en la noción de que cada electrón se mueve inmerso en un campo eléctrico estático producido por el núcleo y los demás electrones, teniendo debidamente en cuenta el spin de los electrones y el principio de exclusión de Pauli [Cruz-Garriz D., Chamizo J. A., Garriz A., 1986].

Está claro que la utilidad de tal enfoque se basa exactamente en cómo se calcula el campo coulomb medio experimentado por un electrón. Esto se hace iterativamente a través de estimaciones sucesivamente mejores de las funciones de onda de un electrón, comenzando con una conjetura inicial que se utiliza para calcular un campo de coulomb promedio inicial, seguido por una aplicación del principio de variación en la mecánica cuántica para determinar las funciones de onda de un electrón. Estas funciones de onda se utilizan para calcular una nueva estimación del campo de coulomb medio, que a su vez se utiliza para generar funciones de onda de un electrón mejoradas, y así sucesivamente, hasta que se consiga la autoconsistencia entre las funciones de onda y el campo de coulomb con el grado de precisión prescrito. Cuando esto se ha logrado, el principio variacional nos asegura que la energía total del estado fundamental se ha estimado lo más posible [Kwon, Sposito, 2017].

Dirac (1930) afirma que la densidad electrónica, $n(r)$, por sí sola es suficiente para determinar las propiedades del estado

fundamental de un átomo de múltiples electrones, en particular su energía total del estado fundamental, que puede considerarse, por lo tanto, como funcional de la densidad electrónica, $E = E[n(r)]$. Esto es lo que quiere decir cuando afirma que "no es necesario especificar las funciones de onda tridimensionales individuales que constituyen la densidad eléctrica total". De esta manera, el problema intratable de calcular una función de onda de varios electrones se reemplaza por el problema manejable de calcular la densidad de electrones, aunque aproximadamente, mediante un método apropiado consistente en sí mismo basado en la ecuación de Schrödinger. El objetivo de la teoría funcional de la densidad es desarrollar este apropiado método autoconsistente y aplicarlo con éxito para calcular las propiedades observadas de la materia desde los primeros principios. [Kwon, Sposito, 2017].

Como un ejemplo concreto de la aplicación de la teoría de DFT se expone el sistema de los nanoalambres de BN (BNNWs) conformado en la misma proporción por átomos de boro y de nitrógeno, los nanoalambres se consideran ideales, de longitud infinita y con diferentes diámetros de longitudes nanométricas, para llevar a cabo la simulación de este sistema primero se calculan las posiciones de los átomos en el espacio, posteriormente se encuentra la estructura de mínima energía, es decir la más estable y finalmente mediante iteraciones el programa computacional revisa que el sistema sea

autoconsistente, es decir que converja. Actualmente existen relativamente pocos estudios teóricos para los nanoalambres de BN, sin embargo, se pueden encontrar estudios similares para diferentes nitruros. Con el surgimiento de las nanoestructuras de C los estudios de los nanotubos (NTs) de C aumentaron, en 1994 se predijo la estabilidad y la estructura electrónica de los nanotubos de nitruro de boro (BNNTs) en primer lugar por los cálculos teóricos y en 1995, su síntesis se realizó con el método de carga de arco utilizando el electrodo BN envasado en una carcasa metálica [He, Zheng, Kirtman, Chen, Wang, Timón, Ji., 2010]. Desde entonces muchos métodos de síntesis han sido reportados, sin embargo, los BNNWs raramente han sido reportados previamente [He, Zheng, Kirtman, Chen, Wang, Timón, Ji., 2010]. Los estudios de BNNTs y BNNWs han demostrado que las nanoestructuras tienen potencial uso en diferentes dispositivos, por lo que es útil estudiarlas mediante DFT e indicar su estabilidad y estructura electrónica dependiente de su tamaño. En el caso de los nanoalambres de nitruro de boro, como el que se muestra en la figura 2, se observó que existe una dependencia del diámetro con las propiedades electrónicas, según cálculos de DFT realizados en la facultad de ciencias físico matemáticas como parte de un proyecto de tesis [Camarillo S. E., Romero de la Cruz M. T. y García Díaz R., 2017] los nanoalambres de BN muestran propiedades de semiconductor con diámetros pequeños pero al incrementar el diámetro estos se convierten en aislantes.

CONCLUSIÓN

El método para resolver sistemas polieletrónicos basado en las leyes de la mecánica cuántica DFT tiene un amplio campo de aplicaciones en la ciencia y la tecnología, en este caso al aplicarlo en el estudio de nanoalambres de NB (figura 2) se observa cómo sus propiedades electrónicas dependen de sus propiedades estructurales, específicamente del diámetro.

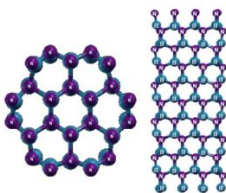


Figura 2.

Estructura relajada de un nanoalambre de BN con radio de 10.81 Å mediante DFT crecido en la dirección z con el paquete computacional XCrySDen [A. Kokalj, *XCrySDen*, 1999] realizada en la Facultad de Ciencias Físico matemáticas.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Químicas por darme la oportunidad de realizar este trabajo como parte de una contribución científica, al Conacyt por la beca de maestría (convocatoria 291236) y finalmente a mi directora y co-asesor

de tesis de licenciatura por darme las bases científicas para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- A. Kokalj, *XCrySDen* (1999), (X-Window) Crystalline Structures and Densities, *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, Vol. 17, 176-179.
- Camarillo S. Romero de la Cruz M. T. y García Díaz R. (2017). estudio de propiedades estructurales y electrónicas de nanoalambres de nitruro de boro mediante cálculos ab initio (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de ciencias Fisicomatemáticas. Unidad Camporredondo, Edif. A C.P. 25000, Saltillo, Coahuila, México.
- Cruz-Garriz D., Chamizo J. A., Garriz A. (1986). Estructura atómica, un enfoque químico. México: FCI. P. 300-450.
- Cuevas, G. y Cortés F. (2003). Introducción a la química computacional. México: FCE. P. 45-65.
- He, Zheng, Kirtman, Chen, Wang, Timón, Ji., (2010). First principles study on the electronic structure and effect of vanadium doping of BN nanowires. *Solid State Communications* 150 701-706.
- Kwon, Sposito, (2017). Dirac's dream: Understanding metal sorption by geomeidia using density functional theory. *Chemical Geology*. 464, 4-13.
- Leszczynski J. (2012). Directions for Use of Density Functional Theory: A Short Instruction Manual for Chemists. *A Handbook of computational chemistry*. Springer Science+Business Media B.V. P. 225-228.
- Payne M. C., Teter M. P. y Allan D. C., Arias T. A. y Joannopoulos J. D. (1992). Iterative minimization techniques for ab initio total-energy calculations: molecular dynamics and conjugate gradients. *Reviews of modern physics*, 64, No

Aplicaciones De Nanopartículas De Plata Para Combatir El Cáncer De Mama

Applications Of Silver Nanoparticles To Combat Breast Cancer

*Karina Guadalupe Espinosa Cavazos, Aidé Sáenz Galindo, Adali Oliva Castañeda Facio

Maestría En Ciencia y Tecnología de Materiales. Facultad de Ciencias Químicas.

Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza e Ing. José Cárdenas. Saltillo, Coahuila. CP.25280, México. Tel:
+52 8444155752. *Autor de correspondencia: karinaespinosa@uadec.edu.mx

Resumen

El cáncer de mama representa un problema grave hoy en día debido al aumento de su tasa de mortalidad. Por tal motivo, se han buscado métodos más eficaces para combatir esta enfermedad que no afecten a las células sanas como los tratamientos clásicos. En el presente trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica del efecto de las nanopartículas de plata como un posible tratamiento para combatir el cáncer de mama debido a sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, antifúngicas, antivirales y citotóxicas, que han abierto grandes oportunidades de crecimiento dentro de la terapia oncológica como un posible método eficaz y amigable para inhibir las células cancerosas sin afectar a las células sanas.

Palabras Clave: Cáncer, mama, nanopartículas, plata

Abstract

Breast cancer represents a serious problem nowadays due to the increase of its mortality rate, we have looked for more effective methods to fight this disease that do not affect the healthy cells like the classic treatments

In this work, a bibliographic search was conducted on the effect of silver nanoparticles as a treatment for breast cancer due to its antimicrobial, anti-inflammatory, antifungal, antiviral and cytotoxic properties, which have opened up great opportunities for growth within cancer therapy a possible effective and friendly method to inhibit cancer cells without affecting healthy cells.

Key words: Cancer, breast, nanoparticles, silver

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cáncer es la principal causa de muerte a nivel mundial. Se presentan alrededor de 1.67 millones de casos nuevos otorgándole un 25% de cáncer en mujeres. En México es la principal causa de muerte en mujeres mayores de 25 años. La tasa de mortalidad promedio de cáncer de mama en nuestro país es de 14.35% por cada entidad federativa. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en los últimos años se duplicó el número de casos de cáncer de mama. La información sobre esta enfermedad es insuficiente por lo que la detección temprana es primordial para tratar este padecimiento. Sin embargo, el tratamiento para el cáncer se limita a la quimioterapia y/o radioterapia clásica que tiene efectos secundarios perjudiciales en la salud. (Jang y col.,

2016). En México, se generan 14 mil casos nuevos al año, 85% de los casos no se detectan a tiempo, en total se estiman 5,700 muertes al año por lo que se ha buscado encontrar tratamientos alternativos. Por otro lado, la nanotecnología es un área de investigación en donde se pueden utilizar diferentes factores ya sean químicos, físicos o biológicos para desarrollar diferentes tipos de nanopartículas (Mubayi y col., 2012). Específicamente las nanopartículas de plata (NPsAg) se han estado desarrollando como el producto de mayor crecimiento dentro de la industria de la nanotecnología gracias a sus propiedades, fungicidas, antimicrobianas, antivirales o de cicatrización, que proporcionan características que aumentan el rendimiento de los materiales dándole un alto potencial dentro de la biomedicina. (Monge, 2009). Hoy en día existen estudios recientes que hablan de la interacción de

las NPsAg en tumores cancerígenos, a diferencia de los tratamientos tradicionales que, además de combatir las células cancerígenas, afectan a todas las células del cuerpo y producen efectos secundarios como la pérdida de cabello, fatiga, náuseas, etc. Las NPsAg ofrecen una solución viable, ya que combaten las células con problema sin afectar las células sanas, ya que pueden inhibir con éxito las células tumorales, además de ser un método que proporciona la liberación controlada de medicamentos para su tratamiento terapéutico (Spitale y Soldano, 2015; Gurathan, 2013).

Debido al aumento en la mortalidad por cáncer de mama en los últimos años y al gran avance dentro de la nanotecnología para combatir esta enfermedad, el objetivo de este trabajo es proporcionar una revisión bibliográfica en donde se dé a conocer el efecto que tienen las NPsAg y su avance en la biomedicina para combatir el cáncer de mama.

ANTECEDENTES

Cáncer de mama

El cáncer es un crecimiento de tejido producido por el incremento y proliferación de células anormales con capacidad destructiva hacia otros tejidos, puede originarse a partir de cualquier tipo de célula (Aibar y col.). Esta enfermedad se ha convertido en la primera causa de defunción a nivel mundial (Alvarez y López., 2012). En México el cáncer de mama es la segunda causa de muerte en mujeres entre 25 a 54 años. Existen diferentes tipos de cáncer, uno de ellos es el de mama, Fig 1, en donde las células sanas que se encuentran en la glándula mamaria se degeneran transformándose en tumorales, multiplicándose y proliferando hasta la formación de un tumor.



Figura 1. Cáncer de mama

Los métodos actuales para combatir en cáncer son costosos a quimioterapia, la cual tiene un rol muy limitado dentro del tratamiento del cáncer debido a que regularmente actúa solo como la base del procedimiento para combatir esta enfermedad con el objetivo de prolongar la vida del paciente ~~o~~ paliar síntomas (Cajaraville y col., 2001). Otro método es la radioterapia o radiación, que consiste en utilizar radiaciones ionizantes con el objetivo de impedir el crecimiento o división

de las células, hasta posiblemente llegar a su destrucción sin embargo es un método que genera diversos efectos secundarios negativos para la salud como la dermatitis aguda, dermatitis crónica, vómitos, enteritis aguda, afectando el sistema nervioso central y órganos como el corazón, hígado riñón, etc. (Verdú y col., 2002). Además, para la sanación de esta enfermedad, depende del avance que tiene el cáncer al momento de detectarlo, por lo que se han buscado alternativas para el tratamiento de esta enfermedad.

Nanotecnología

La nanotecnología fue presentada por primera vez por el físico Richard Feynmann en 1959 y se ha ido desarrollando a través de los años incorporando nuevos avances tecnológicos. (Mendoza y Rodríguez, 2007). Recientemente, la nanotecnología ha impulsado a la ciencia a desarrollar nuevas tecnologías debido a su gran aplicación en diferentes campos como química, física, ingeniería y biología, gracias a la facilidad de que pueden ser modificadas sus propiedades incluyendo el tamaño, la forma y la carga según sea su aplicación (Camacho y Deschamps., 2013). Actualmente, se tiene evidencia de las aplicaciones terapéuticas que poseen incluida la inmunoterapia contra el cáncer; los primeros estudios se basan en la administración de nanopartículas en los tumores a través del efecto de permeabilidad y retención que podrían potenciarse al ser conjugados con anticuerpos. Las nanopartículas metálicas también tienen propiedades ópticas que pueden ser aplicadas dentro de la ablación tumoral combinada con métodos terapéuticos (Reiser y col., 2017).

Nanopartículas de Plata

Las nanopartículas metálicas han dado resultados positivos como agentes bactericidas debido a la capacidad microbida de la plata (Ag). En la antigüedad, la plata era utilizada para potabilizar el agua y durante el siglo XIX se empleaba AgNO_3 para promover la cicatrización en heridas y tratamiento de infecciones. Posteriormente, en los años sesenta el AgNO_3 era utilizado para el tratamiento de quemaduras entre otras propiedades. (Flores, 2014) Sin duda, las NPsAg además de poseer propiedades antimicrobianas tienen también propiedades antiinflamatorias, antifúngicas y antivíricas que han abierto oportunidades de crecimiento como la nanomedicina, que se basa en el objetivo de desarrollar herramientas que puedan prevenir, diagnosticar y tratar enfermedades. (Liang y col., 2013; Lechuga, 2017). Existen diferentes trabajos donde se han estudiado las NPsAg y sus aplicaciones dentro de la biomedicina, gracias a sus efectos citotóxicos prometen ser una alternativa en terapia oncológica según las siguientes investigaciones. En el 2010, Pimentel y colaboradores estudiaron el efecto de nanotrasportadores poliméricos de NPsAg en el tratamiento de cáncer donde evaluaron la actividad de las células cancerígenas que poseían nanopartículas de plata y los nanotrasportadores a diferentes dosis, y observaron que el pH no influía en las características

de los transportadores mientras que las concentraciones favorecen la actividad de los mismos. (Pimentel y col., 2010). Jang y colaboradores en el 2016 sintetizaron NPsAg a partir de los extractos de la flor *Lonicera hypoglauca*, observaron una actividad anticancerígena significativa en la célula de cáncer de mama ya que inhibía la proliferación de células favoreciendo la apoptosis sin mostrar efectos tóxicos de las NPsAg sobre las demás células sanas o el sistema inmunológico, por lo que podría ser un método como posible tratamiento para combatir esta enfermedad. (Jang y col., 2016).

Noghabi y colaboradores en 2017, desarrollaron a partir de una síntesis verde las NPsAg y sus propiedades citotóxicas, este estudio se realizó mediante el tratamiento de iones de plata y quitosano obteniendo como resultado que los efectos de toxicidad dependen de la concentración de las células que se utilizaron. (Noghabi y col., 2017). Otro trabajo de este mismo año, Rasheed y colaboradores desarrollaron NPsAg a partir del extracto de las hojas de *Artemisia vulgaris* para uso en aplicaciones biomédicas por medio de una ruta de síntesis donde aplicaron la química verde. (Rasheed y col., 2017). Posteriormente, Solairaj y colaboradores estudiaron la actividad anticancerígena de la quitina en nanopartículas de plata y cobre en células de cáncer de mama; obteniendo resultados positivos como un método terapéutico contra el cáncer de mama, ya que se observaba la disminución de enzimas antioxidantes y algunos daños que presentaban las membranas, confirmando la actividad citotóxica celular debido al direccionamiento controlado de la liberación de fármacos (Solairaj y col., 2017).

CONCLUSIÓN

Actualmente, el cáncer de mama es una enfermedad que afecta a la sociedad con un alto nivel de mortalidad, los tratamientos para este tipo de enfermedad no son tan accesibles económicamente y no solo afectan las células cancerígenas del cuerpo, también perjudican las células sanas. La nanotecnología ha desarrollado nuevas tecnologías para aplicaciones dentro de la biomedicina, en este artículo se presentan diferentes estudios que muestran las propiedades citotóxicas de las NPsAg y su alto potencial para el tratamiento contra el cáncer de mama combatiendo efectivamente las células cancerígenas ya que promueven la liberación controlada de fármacos y la apoptosis efectiva de las células cancerígenas sin afectar las células sanas del cuerpo, siendo una alternativa prometedora para el tratamiento de esta enfermedad.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Universidad Autónoma de Coahuila, al posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas así mismo a CONACYT por el apoyo otorgado.

REFERENCIAS

- Alvarez M y López T. 2012. Nanotecnología y cáncer: aplicación al tratamiento de tumores cerebrales. Arch Neurocién (Mex).17: 102-109
- Aibar S, Celano C, Chambi M, Estrada S, Gandur N, Gange P, González C, Gonzáles O, Grance G, Junin M, Kohen N, Molina J, Núñez M, Sáenz M, Troncoso M y Vallejos A. 2017. Manual de enfermería oncológica. Argentina. Instituto Nacional de Cáncer: p.7.
- Cajaraville G, Carreras M, Masó J y Tamés J. 2001. Oncología: p.1171-1225.
- Camacho J. y Deschamps L. Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para la aplicación antimicrobial. Tesis. 2013. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería. p.20
- Flores C., 2014. Nanopartículas de plata con potenciales aplicaciones en materiales implantables: síntesis y caracterización fisicoquímica y actividad bactericida. Tesis. 4-14p.
- Green synthesis of silver nanoparticles using Ganoderma neojaponicum Imazeki: a potential cytotoxic agent against breast cancer cells. Int. J. Nanomedicine, 8 (2013), pp. 4399–4413
- INEGI. Estadísticas a propósito del día mundial de lucha contra el cáncer de mama. http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2016/mama2016_0.pdf. Consultado 16 septiembre 2017.
- Jang S, Yang I, Tettey C, Kim K, y Shin H. 2016. In-vitro anticancer activity of green synthesized silvernanoparticles on MCF-7 human breast cancer cell. Materials Science and Engineering. 68: 430-435.
- Lechuga L. Nanomedicina: aplicación de la nanotecnología en la salud. Curso de biotecnología aplicada a la salud humana. 9 edición, p. 98-100.
- Liang Ge, Qingtao Li, Meng Wang, Jun Ouyang, Xiaojian Li y Malcom MQ. 2013. Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance and toxicity. International journal of nanomedicine. 9: 2399-2407.
- Noghabi M, Parizadeh M, Mobarhan M, Taherzadeh D, Hosseini H, y Darroudi M. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles and investigation of their calorimetric sensig and cytotoxicity effects. J. Mol. Struct. THEOCHEM.1146: 499-503.
- Monge M. 2009. Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. An.Quím. 105: 33-41.
- Mubayi A, Chatterji S, M. Rai P y Watal G. 2012. Evidence based Green synthesis of nanoparticles. Advanced materials letters.3: 519-525.
- Mendoza G y Rodriguez J. 2007. La nanociencia y la nanotecnología. Perfiles latinoamericanos. 29: 161-186
- M, Pahlavan, Reza M, Ghayour-Mobarhan M, Taherzadeh D, Hosseini H, y Darroudi M. 2017. Green synthesis of

- silver nanoparticles and investigation of calorimetric sensing and cytotoxicity effects. 1146: 499-503.
- Pimentel R, Pinto M, García A, Hínestroza J, García C, y Martínez E. 2010. Vectorización de nanotrasportadores poliméricos de nanopartículas de plata para el tratamiento de cáncer. IV Simposio de tecnología avanzada. México D.F.
- Rasheed T, Bilal M, Iqbal H, y Li C. 2017. Green biosynthesis of silver nanoparticles using leaves extract of *Artemisia vulgaris* and their potential biomedical applications.158: 408-415.
- Reiser E, Bugga P, Asthana V, Drezek R. 2017. Metallic nanoparticles for cáncer immunotherapy. Materials today.
- Spitale A y Soldano G. 2015. Desde medias sin olor hasta tratamientos para cáncer. Bitácora digital. FCQ. Universidad Nacional de Córdoba. 1-5p.
- Verdú J, Algara M, Arnalot P, Dominguez M, Blanch A. 2002. Atención a los efectos secundarios de la radioterapia. MEDIFAM.

Recubrimiento por Plasma Frío : Aplicaciones e Investigación Experimental

Cold Plasma Covering: Applications and Experimental Investigation

Alonso-Montemayor, F. J.^{1*}

¹*Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Materiales, Departamento de Materiales Cerámicos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Venustiano Carranza, 25,000. Saltillo, Coahuila, México.*

**Autor de correspondencia: franciscoalonso@uadec.edu.mx Tel: (844)3507038*

Resumen

El recubrimiento por plasma frío es una tecnología ecológica, económica y menos dañina para el material tratado, en comparación con la tecnología de recubrimiento químico. El recubrimiento por plasma frío es útil en varias áreas manufactureras industriales como los textiles, biochips, rodamientos de fricción, tanques de combustible, CDs (discos compactos) y DVDs (discos versátiles digitales), entre otras. La deposición por plasma frío permite depositar diferentes tipos de materiales, como películas poliméricas o partículas y nanopartículas (NPs) tipo películas, sobre una variedad de superficies de sustratos, porosos (como membranas) y no porosos, orgánicos e inorgánicos, el recubrimiento por plasma es una tecnología versátil e interesante. Por lo tanto, es importante conocer cómo trabaja la deposición por plasma frío, para desarrollar nuevas técnicas de plasma y mejorar las ya existentes. La presente revisión ofrece una comprensión concisa e introductoria acerca de la tecnología industrial del plasma frío y algunas investigaciones relacionadas.

Palabras clave: Deposito por plasma frío, plasma frío, polimerización por plasma frío, recubrimiento superficial, recubrimiento por plasma frío.

Abstract

Cold plasma covering is an ecological, economically, and less harmful to treated material, technology in comparison with chemical covering technology. Cold plasma covering useful for various industrial manufacture of textiles, biochips, friction bearings, fuel tanks, CDs (compact discs), DVDs (digital versatile discs), among others. Cold plasma covering can deposit different kinds of material, as polymeric film or particles and nanoparticles (NPs) film, on a variety of different substrate surfaces, porous (as membranes) and non-porous, organics and inorganics, cold plasma covering is a versatile and interesting technology. So, is important to know how cold plasma covering works, to develop new plasma technics and improve existing ones. The present review offers a concise and introductory understanding about cold plasma covering industrial technology and some related research's.

Keywords: Cold plasma, surface covering, cold plasma covering, cold plasma deposit, cold plasma polymerization

INTRODUCCIÓN

Interfacial adhesion between two or more material components is an important property to achieve its performance expected. Being necessary, in many cases, modify component surface, in such way that they transfer their properties to each other.

About this, cold plasma methods for surface treatment are gaining great acceptance, due plasma, being partial ionized gas by electromagnetic forces (Peratt, 2015), releases reactive

species that interact with material surface, changing its chemistry and morphology. Cold plasma, as surface modification technology, promote interfacial adhesion in low range of temperature (40-120°C) working in high void, which avoids important damage in treated material, by shorts expositions (Wolf, 2016; Borjas-Ramos et al., 2014), in addition to being economically and environmentally benign technology,

since it meets with some "green chemistry" principles (Anastas, 1998) such as preventing wastes, implies atomized economy, performed less hazardous synthesis, is designed for efficient energy expenditure, use renewable raw materials and is designed for degrade materials.

So, an ecological and economical way, in comparison with conventional chemical and thermal methods, to improve materials interfacial adhesion, and in consequence their physical properties, is to apply coatings by cold plasma on composed material components, so that these being chemically related. So, understand how this state-of-the-art technology can be developed not only in research level, but also industrial is important. Being in consequence, this review objective, offer a concise understanding about industrial technology and research of covering cold plasma.

Cold plasma concept and classification

Talking about plasma in general, can be defined as ionized gas, classified in two kinds according to its ionization grade: a) *hot plasma* is one whose free electrons and heavy particles are near of 100% ionization; b) *cold plasma* is one whose heavy particles (combination of ions and neutral atoms) are at low temperature

in relation with plasma free electrons. This plasma is associated with ionization range of 10^{-4} -10% (Denes et al., 2004). On the other hand, cold plasma can be classified in two kinds according with its density, which is a physical property related with pressure: a) *atmospheric plasma* is that obtained at atmospheric pressure, whose density goes from 10^{11} - 10^{16} cm^{-3} ; b) *low pressure plasma* whose density goes from 10^9 - 10^{13} cm^{-3} (Bárdos et al., 2010).

Cold plasma can be generated by electromagnetic field or high energy radiation induction, where particles that will make up plasma are excited by electromagnetic forces (field or energy) (Halliday et al., 1992), provoking electron-heavy particle and heavy particle-heavy particle energetic collisions, resulting in gas partial ionization (a process named *breakdown*), besides that photon emission occurs, due electron-heavy particle collisions transfer enough energy to atoms to make their electrons reach a "higher" orbital, but being an unstable state, the electrons return to their original orbital, emitting UV photons that could collide with other atoms causing the emission of visible light photons (Misra et al., 2016; Pankaj et al., 2014). This process is illustrated by Figure 1.

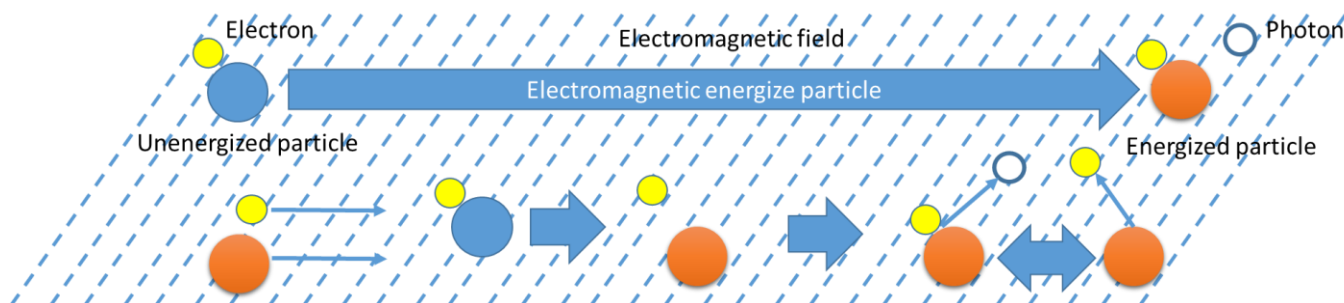


Figure 1. Cold plasma production by electromagnetic field induction.

Atmospheric cold plasma often uses high electrical frequencies (in the order of GHz), but low pressure cold plasma usually is induced at three electrical frequencies: a) *low frequency* is considered from 0.5 MHz to less than 13.56 MHz; b) *radiofrequency* from 13.56 MHz to less than 27 MHz; c) *microwave* is available at higher frequencies of 27 MHz. However, some authors consider other classification: a) *audio frequency* is considered from 100 Hz to 10 kHz; b) *radiofrequency* from 100 kHz to 100 MHz; c) *microwave* is available at higher frequencies of 1 GHz (Li et al., 1997).

Cold plasma industrial applications

Cold plasma surface modification is not only a phenomenon of scientific interest, because it is a pragmatic technology due it has a variety of industrial applications as automotive and electronics new material development, packing technology, among others.

Cold plasma, as industrial technology, is used to modify materials selectively under normal conditions (room temperature and pressure) (Plasma treat GmbH, 2018; Woedtke et al., 2013).

All cold plasma surface treatment is based on the surface interactions of partial ionized gas with treated material surface, where these interactions can be understood in four basic processes (Coates et al., 1996): covering, cleaning, activation and erosion (as Figure 2 illustrate). However, such comprehension is not deep enough to clarify cold plasma physicochemical mechanism, due it is complex phenomenon, so more basic research is required to obtain better cold plasma description (Woedtke et al., 2013; Thiry et al., 2016; Alam et al., 2017).

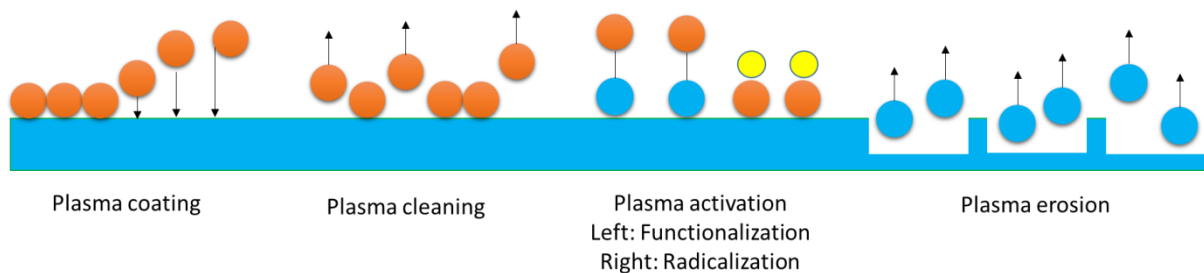


Figure 2. Cold plasma basic interactions with substrate Surface. Inspired by Woedtke et al., 2013.

Cold plasma covering industrial applications

As for the coating cold plasma, is considered a versatile method to apply ultra-thin films on a wide materials range. Cold plasma coating can be performed by physical vapor deposition (PVD) or plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD). Some coating cold plasma industrial applications are (Thierry; Diener, 2007):

- Textile manufacture. Coating the cotton by plasma can make it hydrophobic and dry repellent.
- *Biochips manufacture.* Deposition of functional films in glass to fix organic molecules.
- Friction bearing manufacture. Coating of moving parts with carbonated diamond-like films to achieve lubricant-free systems.
- Fuel tanks manufacture. Coating of corrosion resistant films based in polytetrafluoroethylene (PTFE).
- CD and DVD manufacture. CD and DVD can be cover with thin anti-scratch polymeric films without affecting their performance.

Coating cold plasma experimental research

Cold plasma coating can occur in two modalities according with deposited material: a) of *polymerization* where plasma is composed by monomeric gas, whose reactivity tends to reside on its radicalization; b) of *deposited particles* where plasma is capable of condense particles on a substrate by its formation *in situ* or by substrate surface granulate growing.

Cold plasma polymerization

Compared to conventional polymer films, plasma polymerized films have high interlacing degree. Generally, plasma polymerization consists on organic precursor vaporization in a deposition chamber, where activation occurs when precursor molecules and free electrons begin to collide each other, monomers radicalization happening by dissociation, that lead to radical-radical and radical-monomer reactions, where film will come from. Later, radical recombination formed molecules can be reactivated by electronic impact, so a thin and solid film will

grow by reactive species condensation (Thiry et al., 2016;BeMiller et al., 2015).

By plasma polymerization is possible to improve materials interfacial adhesion, and therefore other mechanical properties like tension resistance, as Aguilar-Rios et al. (2014)investigation ascertain. Study results and parameter are shown in Table 1 and can be explained it if is considered that henequen fibers are polar, while high density polyethylene (HDPE) is no-polar, so is would expect low interfacial adhesion between both. However, when polymerizing a no-polar polymer layer on henequen fibers is possible interfacial adhesion with HDPE. Also. Is necessary do not work with enough high electric frequencies, due plasma erosion could have adverse effects on the structural integrity of henequen fiber, reducing its tension resistance and therefore of composite too. This goes hand in hand with monomer flux magnitude, because enough high flows imply shorter residence times, so formation of a homogeneous polymer layer can be deployed.

Table1. Polymerized ethylene (C₂H₄) at atmospheric pressure on henequen fibers used as HDPE reinforcement

Exposure time (min)	Electrical frequency (Hz)	Monomer flux (cm ³ /min)	Tension strength, Σ _t (MPa)	Interfacial shear strength, IFSS (MPa)
1	120	204	350	2.40
8	120	1018	320	3.50
1	170	1018	235	2.35
8	170	204	380	2.30

Polymeric film plasma deposition can be indirectly verified by its effect of polarity change on contact angle, as Barra et al. (2015)investigation ascertain, where methane (CH₄) at low pressure was polymerized on sisal fibers for 10 min. Pristine fibers contact angle was 83±13°, while for treated fiber was 105±4°. Pristine fibers showed higher polar character than those treated because their hydrophilic surface was coating with non-polar thin film of polymerized CH₄. Also, is important to mention that plasma polymerization increased fiber tension

strength used as Portland cement reinforcement, from 70 MPa for pristine fibers composite to a range of 150 MPa-400 MPa for plasma treated fibers composite, because plasma coating could protect fibers from the abrasive effect induced by composite material processing. This effect has been observed in several compounds with different polymeric matrices and reinforcements, as Table 2 investigations revealed.

Table 2. Plasma polymerization effects on different composed material substrates.

Team research	Plasma monomer	Treated substrate	Tension modulus, E _t (GPa)
Borjas-Ramos et al., 2014	C ₂ H ₄	Carbon nanofibers	HDPE: 1.38
Borjas-Ramos, 2012		(NFC) HDPE reinforcement	HDPE/NFC: Untreated: 1.61 Treated: 1.83
Célini et al., 2006	Acetylene (C ₂ H ₂)	Montmorillonite (M) y laponite (L) polyethylene (PE) reinforcement	PE: 0.144 Treated M: 0.195 Treated L: 0.160
Soriano-Corral et al., 2016	C ₂ H ₄	Agave fiber powder low density polyethylene (LDPE) reinforcement	LDPE: 0.129 LDPE/powder: Untreated: 0.222 Treated: 0.232

Even plasma polymerized films polarity changes not only affect mechanical properties, it is also possible to modify properties of water absorption and reverse osmosis, as Tran et al. (2007) investigation showed, where ally lamine film were deposited on microporous polyamide membrane. Untreated membrane allowed water flux of 100 L/m² h without apparent salt rejection despite presenting considerable contact angle (85.1°). After treatment with plasma, water flux was reduced to 75 L/m² h with 73% of salt rejection presenting hydrophilicity increase (46.5°). Contact angle diminution could be due to polymeric film hydrophilic groups presence. On the other hand, membrane permeability alteration could be due to morphological changes like pore size reduction and membrane surface thickness increase, both effects due to polymeric film deposit.

Cold plasma particle deposition

Cold plasma not only can be also used to deposit polymeric films, it is also possible to deposit individual particles on substrates by plasma particle *in situ* synthesis or previous particle precursors decomposition, being these activated by plasma. Also, particle coating cold plasmas usually direct

particles to substrate surface by carrier gases that can also be activated by plasma effect.

Deposit metallic NPs by cold plasma is possible as Chou et al. (1992) investigation showed, where iron (Fe) NPs and Fe-based NPs were deposited on glass substrate from ferrocene decomposition for 5 h using hydrogen (H₂) and oxygen (O₂) as carrier gases, both separately at 2.45 GHz of electrical frequency, 200 W of electrical power and 6.67 Pa of work pressure with gas carrier flux maintained at 400 K to avoid deposition on transport line walls. Only metallic Fe NPs with maximum diameter of 25 nm could be deposited by H₂ carrier gas, while O₂ carrier gas induced formation and deposition of both metallic Fe NPs and iron oxide (Fe_xO_y) NPs with maximum diameter of 40 nm. Deposited NPs diameter by cold plasma can be controlled by NPs deposit time manipulation (as Table 3 show) and its atomic concentration by carrier gas flux manipulation (as Table 4 show).

Table 3. Diameter control of silicon (Si)-based NPs deposited on a stainless-steel substrate by coating time manipulation (Kim et al., 2009 1st and 2nd).

Precursor	Carrier gas	NPs	Parameters	NPs diameter (nm) by coating time
SiH ₄	H ₂	a-Si:H	13.56 MHz	With 0.6 s: 150
			200 W	With 0.7 s: 230
			40 kPa	With 0.9 s: 195
SiH ₄	Ar	Si	13.56 MHz	With 1 min: 14
			200 W	With 10 min: 28
			<15 Pa	With 100 min: 120

Table 4. Diameter control of SiO_x NPs by carrier gas (O₂) flux manipulation, being NPs precursor flux of 2 cm³/min (Kim et al., 2010).

Parameters	Flux ratio	Oxygen atomic %	Silicon atomic %
13.56 MHz	0.50	18	82
	1.25	50	50
200 W	3.50	63	37
	10.0	65	35

It is possible to deposit thin films composed of individual NPs distributed homogeneously on a substrate as Jeong et al. (2009) investigation showed, where organometallic cobalt (Co) NPs

film (with 10-30 nm diameter) was deposited on aluminum (Al) substrate. In the beginning organometallic Co was solubilized (1.6 ppm/cm³) then it was vaporized in a controlled manner by CVD equipment. Helium (He) was used like carrier gas for PECVD and deposition was realized at 40 Pa of pressure with organometallic precursor flux of 200 cm³/min. The objective of this research was to obtain a composed material with antimicrobial properties which was achieved successfully since Co-based films inhibited in 100% *Escherichia coli* (*E. coli*) and *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) microbial activity, that were incubated for 24 h on Al substrate previously plasma treated. Even to combine plasma polymerization and plasma particle deposit is possible as Wallenhorst et al. (2018 2nd) investigation showed, where based-polymethylmethacrylate (PMMA) and based-aluminum hydroxide (Al(OH)₃) films were deposited on beech wood for 10 s at 50 kHz of electrical frequency, 2000 W of electrical power at atmospheric pressure. The effect of different carrier gases (air and phenol formaldehyde) would have on composite material contact angle was studied. Beech wood are completely hydrophobic due its measured contact angle was 100°, but when exposed to plasma carrier O₂ and phenol formaldehyde its contact angle was of 8° and 40° respectively. These results can be explained one consider that there should be induced surface roughness, as well as chemical changes caused by Al(OH)₃ exposure, hydroxyl groups (-OH) presence and PMMA oxidation.

CONCLUSION

Cold plasma coating can be achieved by polymerization or particle deposition (with micrometric and nanometric diameters). Generally coating plasma allows condense thin layers that can act as homogenous or porous films, and this last mentioned can be used as permeable and semipermeable membranes.

Cold plasma is ecologically and economically important since it works at low pressure (equal to or less than atmospheric) reaction gases, electrical energy used, and waste result are considerably smaller compared to other treatments. Other advantage that cold plasma offers is that do not alter treated materials internal properties, because its effects are limited to their surface.

In addition, plasma coating is an innovative industrial technology that generally take place under atmospheric conditions, usually using plasma JET equipment. For all the above, it is expected that plasma technology will find more useful industrial applications for development of cheap and ecological materials.

Acknowledges

Thanks to Coahuila's Autonomous University (UAdeC) and its Faculty of Chemistry Sciences for provide installations and information access (UAdeC Digital Library, 2018) that allowed realize this short review.

REFERENCES

- Aguilar-Rios A., Herrera-Franco P.J., Martínez-Gómez A. de J., Valdez-González A. 2014. Improving the bonding between henequen fibers and high density polyethylene using atmospheric pressure ethylene-plasma treatments. *eXPRESS Polym. Lett.* 8:491-504
- Alam A., Wan C., McNally T. 2017. Surface amination of carbon nanoparticles for modification of epoxy resins: plasma-treatment vs. wet-chemistry approach. *Eur. Polym. J.* 87: 422-448
- Anastas P., Warner J. 1998. Green chemistry: Theory and practice. New York, Oxford University Press.
- Bárdos L., Baránková H. 2010. Cold atmospheric plasma: Sources, processes, and applications. *ThinSolids Films* 518: 6705-6713
- Barra B.N., Santos S.F., Bergo P.V.A., Alves Jr. C., Ghavami K., Savastano Jr. H. 2015. Residual sisal fibers treated by methane cold plasma discharge for potential application in cement based material. *Ind. Crops Prod.* 77: 691-702
- BeMiller J.N., Huber K.C. 2015. Physical Modification of Food Starch Functionalities. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 6: 19-69
- Borjas-Ramos J., Sáenz A., Neira M., Hernández E., 2014. Tecnología de plasmas fríos y su uso en el tratamiento superficial de materiales y biomateriales. *CienciaCierta* 37: 10-12
- Borjas-Ramos J. 2012. Estudio de la modificación superficial de nanofibras de carbón mediante plasma de etileno para la obtención de nanocompuestos de polietileno/nanofibras de carbón (master's thesis). Saltillo, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)
- Célini N., Bergaya F., Poncin-Epaillard F. 2006. Grafting of hydrocarbon moieties on smectites by cold acetylene plasma and characterization of plasma-treated clay mineral polyethylene nanocomposites. *Polymer*, 48: 58-67
- Chou C., Phillips J. 1992. Plasma production of metallic nanoparticles. *J. Mater. Res.* 7: 2107-2113
- Coates D.M., Kaplan S.L. 1996. Modification of Polymeric Surfaces With Plasmas. *MRS Bull.* 43-45
- Denes F.S., Manolache S. 2004. Macromolecular plasma-chemistry: an emerging field of polymer science. *Prog. Polym. Sci.* 29: 815-885
- Diener. 2007. Plasma technology. Recovered from http://www.thierry-corp.com/fileadmin/user_upload/downloads/broshures/Plasma_Technology.pdf
- Halliday D., Resnick R., y Krane K.S. 1992. PHYSICS, Vol 2. Extended version. Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Jeong Y.-M., Lee J.-K., Ha S.-C., Kim S. 2009. Fabrication of cobalt-organic composite thin film via plasma-enhanced chemical vapor deposition for antibacterial applications. *Thin Solid Films* 517: 2855-2858
- Kao C.H., Chen H., Hou F.Y.S., Chang S.W., Chang C.W., Lai C.S., Chen C.P., He Y.Y., Lin S.-R., Hsieh K.M., Lin M.H. 2015. Fabrication of multianalyte CeO₂nanograin electrolyte-insulator-semiconductor biosensors by using CF₄ plasma treatment. *Sens. Bio-Sens. Res.* 5: 71-77
- Kim K., Park J., Doo S., Nam J., Kim T. 2009. Manufacturing of Size Controlled a-Si:H Nanoparticles in Plasma Using

- Pulsed Hydrogen Gas. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 9: 7314-7317
- Kim K., Park J.-H., Doo S.-G., Kim T. 2010. Effect of oxidation on Li-ion secondary battery with non-stoichiometric silicon oxide (SiO_x) nanoparticles generated in cold plasma. *Thin Solid Films* 518: 6547-6549
- Kim K., Park J.-H., DooS-G., Nam J.-D., Kim T. 2009. Generation of size and structure controlled Si nanoparticles using pulse plasma for energy devices. *Thin Solid Films* 507: 4184-4187
- Li R., Ye L., Mai Y.-W. 1997. Application of plasma technologies in fibre-reinforced polymer composites: a review of recent developments. *Composites Part A* 28: 73-86
- Misra N.N., Schlüter O.K., Cullen P.J. 2016. Plasma in Food and Agriculture. In *Cold Plasma in Food. Fundamentals and Application*. Misra N.N., Schlüter O.K., Cullen P.J., ed. United Kingdom and United States, Elsevier. p. 1-13
- Nguyen Q.T., Langevin D., Bahadori B., Callebert F., Schaezel P. 2007. Sorption and diffusion of volatile organic components in a membrane made by deposition of tetramethyldisiloxane in cold remote-plasma. *J. Membr. Sci.* 299: 73-82
- Pankaj S.K., Bueno-Ferrer C., Misra N.N., Milosavljević, O'Donnell C.P., Bourke P., Keener M.M., Cullen P.J. 2014. Applications of cold plasma technology in food packing. *Trends Food Sci. Technol.* 35: 5-17
- Peratt A.L. 2015. *Physics of the Plasma Universe*, 2nd edition. London, Springer
- PlasmateatGmbH. 2018. Plasmateat. Barcelona, Spain. Recovered from <https://www.plasmateat.es/>
- Thierry. Plasma Science and Technology. Recovered from <http://www.thierry-corp.com/pecvd-plasma-coating>
- Thiry D., Konstantinidis S., Comil J., Snyders R. 2016. Plasma diagnostics for the low-pressure plasma polymerization process: A critical review. *Thin Solids Films* 606: 19-44
- Tran D.T., Mori S., Suzuki M. 2007. Characteristics of polyamide-based composite membranes fabricated by low-temperature plasma polymerization. *Thin Solid Films* 516: 4384-4390
- UAdeC Digital Library. 2018. Recovered from <http://www.infosal.uadec.mx/cie/new/menuind.php>
- Wallenhorst L., Gurau L., Gellerich A., Militz H., Ohms G., Viöl W. 2018. UV-blocking properties of Zn/ZnO coatings on wood deposited by cold plasma spraying at atmospheric pressure. *Appl. Surf. Sci.* 434: 183-192
- Wallenhorst L., Rerich R., Vovk M., Dahle S., Militz H., Ohms G., Viöl W. 2018. Morphologic and Chemical Properties of PMMA/ATH Layers with Enhanced Abrasion Resistance Realised by Cold Plasma Spraying at Atmospheric Pressure. *Adv. Condens. Matter Phys.* 2018: 1-11
- Woedtke Th. von., Reuter S., Masur K., Weltmann K.-D. 2013. Plasmas for medicine. *Phys. Rep.* 530: 291-320
- Wolf A.R. 2016. *Plastic Surface Modification: Surface Treatment and Adhesion*, 2nd edition. Cincinnati, Hanser Public

