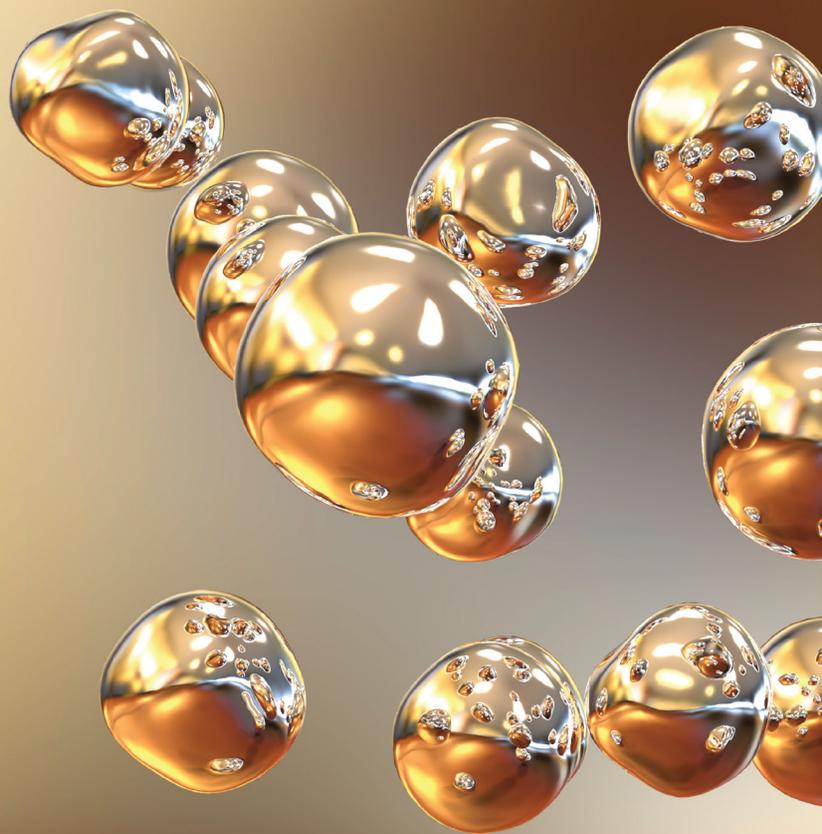


THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY



Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2021

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Marcos Augusto de Lima Nobre
(Organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2021



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição- Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comercial. A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizadoras	Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre
Imagem da Capa	Kateryna Kon
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballedo, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*
Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*
Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda, Portugal*
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*
Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bio-Bío, Chile*



Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
 Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe
 Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto
 Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão
 Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
 Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras
 Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
 Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
 Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
 Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
 Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
 Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
 Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
 Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilár, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G786 The great world of nanotechnology [livro eletrônico] : vol. II /
 Organizador Marcos Augusto de Lima Nobre. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 Edição bilíngue
 ISBN 978-65-87396-36-1
 DOI 10.37572/EdArt_300621361

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. I. Nobre, Marcos Augusto Lima.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PREFACE

The insertion of new and enhanced materials based on materials belonging to the Nano scale in the day-by-day has growth up in a silent way. In part, a number of works in the nanotechnology stemming of theoretical research using Density Functional Theory (DFT) and sophisticated simulation methods; another part is associated to the protected technologies associated to the military and patented nanomaterial and its process. In this sense, open access to recent aspects on the nanostructures application and properties can be reached in this book. Here, an interesting set of chapters gives opportunity of access texts that reach process and processing of nanostructures, applications of nanotechnology, advanced techniques to theoretical development. A broad set of nanostructures are here covered such as, nanocrystal, superficial nanograins, inner microstructures with nanograins, nanoaggregates, nanoshells, nanotubes, nanoflowers, nanoroad, nanosheets, Also, reveals new investigations areas as grainboundary of nanograins in ceramics and metals. A great number of software has been used as a tool of development of Science and Technologies for nanotechnology COMSOL Multiphysics 5.2. Phenomena and properties has been investigated by recent or classical techniques of materials characterization as Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM) with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Raman Scattering Spectroscopy (RSS), X ray diffraction (XRD), ⁵⁷Fe Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), Atomic Force Microscopy (AFM), and Field Emission Gun Scanning Electron Microscopy (FEG-SEM). In this sense, collections of spectra from Mössbauer spectroscopy, UV-vis spectroscopy and Infrared spectroscopy can be found. As a matter of fact, some chapter's item can be seemed as specific protocols for synthesis, preparations and measurements in the nanotechnology.

I hope you enjoy your reading.

Prof. Dr. Marcos Augusto Lima Nobre

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER 1.....1

ROLLING OF 316L STAINLESS STEEL WITH ROUGH ROLLS: A POSSIBLE TECHNIQUE TO OBTAIN SUPERFICIAL NANOGRAINS

Carlos Camurri

Alejo Gallegos

DOI 10.37572/EdArt_3006213611

CHAPTER 2.....11

EFFECTS OF DIFFERENT ASPECT RATIOS AND JUNCTION LENGTHS ON THE COUPLED PLASMON GOLD NANOROD DIMERS

Hafiz Zeeshan Mahmood

Umer Farooq

Usman Rasool

Noor ul Huda

Sana Gulzar

Mahmood Ali

Maryam Iftikhar

Yasir Javed

Sajid Farooq

DOI 10.37572/EdArt_3006213612

CHAPTER 3.....21

AB-INITIO STUDY OF ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF ZnO NANOCRYSTALS CAPPED WITH ORGANIC MOLECULES

Aline L. Schoenhalz

Paulo Piquini

DOI 10.37572/EdArt_3006213613

CHAPTER 439

CONFINED WATER CHEMISTRY: THE CASE OF NANOCHANNELS GOLD OXIDATION

André Mourão Batista

Herculano da Silva Martinho

DOI 10.37572/EdArt_3006213614

CHAPTER 5..... 67

PLASMONIC RESPONSE OF GOLD- SILICA AND SILVER- SILICA METAL CORE NANOSHHELLS BY OPTIMIZING THE FIGURE OF MERIT

Hafiz Zeeshan Mahmood

Zainab Shahid

Alina Talat

Imama Irfan

Bushra Arif

Sana Habib

Saba Munawar

Yasir Javed

Shaukat Ali Shahid

Sajid Farooq

DOI 10.37572/EdArt_3006213615

CHAPTER 6 76

AMORPHOUS MICRO AND NANO SILICA EXTRACTED FROM RICE HUSKS AND OBTAINED BY ACIDIC PREHYDROLYSIS AND CALCINATION: PREPARATION ROUTE AND CHARACTERIZATION

Eduardo Roque Budenberg

Eilton Aparecido Prado dos Reis

Deuber Lincon da Silva Agostini

Renivaldo José dos Santos

Felipe Silva Bellucci

Aldo Eloizo Job

Daltro Garcia Pinatti

Rosa Ana Conte

DOI 10.37572/EdArt_3006213616

CHAPTER 7..... 92

FORMATION OF METAL NANOPARTICLES BY SPUTTER DEPOSITION ON UNCD FILMS BY NPIII INSIDE CONDUCTIVE TUBES

Nazir Monteiro dos Santos

Divani Carvalho Barbosa

Evaldo José Corat

Mario Ueda

DOI 10.37572/EdArt_3006213617

CHAPTER 8 109

X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY (XPS) STUDY OF CONDUCTIVE TUBE AFTER NITROGEN PIII

Nazir Monteiro dos Santos
Elver Juan de Dios Mitma Pillaca
Mario Ueda
Steven Frederick Durrant
Pericles Lopes Sant'Ana

DOI 10.37572/EdArt_3006213618

CHAPTER 9 125

APPLICATION OF CLAY-CARBOXIMETHYLCHITOSANE NANOCOMPOSITE-SILVER NANOPARTICLES IN FILTERS TO TREAT CONSUMPTION WATER IN RURAL AREAS OF CAMANA - AREQUIPA-PERU

Maria Elena Talavera Nuñez
Irene Zea Apaza
Corina Vera Gonzales
Julia Zea Alvarez
Luis Rodrigo Benavente Talavera

DOI 10.37572/EdArt_3006213619

CHAPTER 10..... 138

NANOGRAIN BOUNDARY PHENOMENON IN CERAMIC NANOMETRIC MICROSTRUCTURE

Marcos Augusto Lima Nobre
Silvania Lanfredi

DOI 10.37572/EdArt_30062136110

CHAPTER 11..... 150

ON SPIN HAMILTONIAN FITS TO MÖSSBAUER SPECTRA OF NIFE₂O₄ NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY CO-PRECIPIATION

Jose Higinio Dias Filho
Jorge Luis Lopez
Adriana Silva de Albuquerque
Renato Dourado Maia
Wesley de Oliveira Barbosa
Ernando Campos Ferreira
Fellipe Silva Pereira
Kátia Guimarães Benfica

DOI 10.37572/EdArt_30062136111

CHAPTER 12..... 162

EFFECT OF GRAPHITE NANOSTRUTURES ON THE VISCOSITY PROPERTIES OF BLENDS DIESEL-S10 AND BIODIESEL

Túlio Begena Araújo

Marcos Augusto Lima Nobre

DOI 10.37572/EdArt_30062136112

CHAPTER 13..... 172

REMOCIÓN DE ARSÉNICO DE EFLUENTES ACUOSOS EMPLEANDO COMO ADSORBENTE MAGNETITA NANOESTRUCTURADA

Orfelinda Avalo Cortez

Luis Jean Carlo Cisneros García

David Pedro Martínez Aguilar

DOI 10.37572/EdArt_30062136113

CHAPTER 14..... 182

AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA DE NANOCOMPÓSITOS DE MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Daniel Andrada Maria

Andreza de Sousa Andrada Jordânio

Samuel Siqueira

Adelina Pinheiro Santos

Clascídia Aparecida Furtado

DOI 10.37572/EdArt_30062136114

CHAPTER 15..... 197

ROTA ECOLOGIA PARA SINTESE DE ELETRODO NANOESTRUTURADO DE ZnO PARA SUPERCAPACITOR

Eguiberto Galego

Marilene Morelli Serna

Tatiane Yumi Tatei

Bruna Rodrigues de Lima

Rubens Nunes de Faria Junior

DOI 10.37572/EdArt_30062136115

CHAPTER 16.....	212
MORFOLOGIA DE FILMES FINOS NANOESTRUTURADOS DE ZnO PRODUZIDOS PELO MÉTODO SILAR	
Eguiberto Galego	
Marilene Morelli Serna	
Lalgudi Venkataraman Ramanathan	
Rubens Nunes de Faria Junior	
DOI 10.37572/EdArt_30062136116	
CHAPTER 17.....	228
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE A PARTIR DE PAPEL RECICLADO VIRGEM E PÓS-CONSUMO	
Jean Brito Santos	
Emanoel Igor da Silva Oliveira	
Nádia Mamede José	
DOI 10.37572/EdArt_30062136117	
ABOUT THE ORGANIZER.....	234
INDEX.....	236

CHAPTER 16

MORFOLOGIA DE FILMES FINOS NANOESTRUTURADOS DE ZnO PRODUZIDOS PELO MÉTODO SILAR

Data de submissão: 05/04/2021

Data de aceite: 26/04/2021

Rubens Nunes de Faria Junior

Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
Centro de Ciências e
Tecnologia dos Materiais
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/8776524631256060>

Eguiberto Galego

Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
Centro de Ciências e
Tecnologia dos Materiais
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/4818030985379074>

Marilene Morelli Serna

Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
Centro de Ciências e
Tecnologia dos Materiais
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/7397656667247795>

Lalgudi Venkataraman Ramanathan

Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
Centro de Ciências e
Tecnologia dos Materiais
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/2938011667744143>

RESUMO: A utilização do ZnO no campo da nanotecnologia é ampla devido a características físicas únicas tais como, banda proibida (~3,37 eV), energia de ligação de éxciton de 60 MeV, atóxico e de baixo custo. A estrutura cristalina hexagonal permite obter uma ampla diversidade de morfologias e isto permite sua utilização em: lasers de UV, cristais piezoelétricos, sensores químicos, sensores de gás, diodos emissores de luz, foto detectores e células solares. Uma das possíveis morfologia do filme fino de ZnO é um arranjo unidimensional submicrométrico de bastões, nanobastões e nanofios, o qual tem atraído muito interesse devido a alta área superficial e a alta proporção de aspecto, que são nanopartículas com um comprimento muitas vezes maior do que sua largura. Neste trabalho foi estudada a influência dos parâmetros do método de adsorção de camada iônica e reação sucessivas (SILAR) na obtenção de filmes de ZnO nanoestruturados sobre substrato

de vidro recoberto com óxido de estanho dopado com flúor ($\text{SnO}_2\text{:F}$). Na temperatura de 90°C ocorreu a formação de ZnO e o aumento de nanoestruturas formadas. A quantidade de ciclos é responsável pela densidade superficial, o crescimento acelera-se após se atingir a densidade superficial crítica. O tempo de permanência no banho de nucleação não tem influência significativa, já no banho de crescimento com o aumento do tempo ocorreu coalescimento das nanoestruturas. O uso do cloreto de zinco como precursor no banho de nucleação apresentou crescimento mais lento para concentrações molares baixas, o aumento da concentração molar resultou em filmes porosos. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que alterações simples nas variáveis do processo SILAR para obtenção de ZnO permitiram desde a obtenção de nanoestruturas individuais a filmes compactos ou porosos.

PALAVRAS-CHAVE: Óxido de zinco. SILAR. Nanoestruturas. Filmes finos. DSSC.

MORPHOLOGY OF NANOSTRUCTURED THIN FILMS OF ZnO FABRICATE FROM SILAR METHOD

ABSTRACT: The utilization of ZnO in the nanotechnology is widely spread due its superior properties, such as wide direct band gap (~ 3.37 eV), high exciton binding energy of 60meV, non-toxicity and low cost. The hexagonal crystalline structure allows obtaining a large diversity morphology and this allows its utilization in: UV lasers, piezoelectric crystal, chemical sensor, gas sensor, light emitting diode, photo detectors, and solar cells. One such morphology of ZnO thin film is the one-dimensional (1D) sub-micron rods or nanorods and nanowires which has attracted interest due to a large surface area and high aspect ratio. In the solar area the ZnO has been utilized in the electrode for dye-sensitized solar cell. In this study, ZnO nanostructured thin films were prepared by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method, on $\text{SnO}_2\text{:F}$ coated glass substrate. In this procedure, the substrate is immersed in successive aqueous baths containing zinc nitrate or zinc chloride/HMT and zinc acetate. The pH solution was adjusted by addition of ammonium hydroxide. ZnO is formed at temperature of 90°C and large nucleus on the substrate. The time in the nucleation bath has no significant influence, whereas in the growth bath with the increase in time, the nanostructures coalesced. The use of zinc chloride as a precursor in the nucleation bath showed a slower growth at low molar concentrations, the increase in the molar concentration resulted in porous films. The results obtained in this study showed that simple changes in the SILAR process variables to obtain ZnO allowed from obtaining individual nanostructures to compact or porous films.

KEYWORDS: Zinc oxide. SILAR. Nanostructure. Thin film.

1 INTRODUÇÃO

O ZnO é um semicondutor do tipo n com excelentes características físicas e químicas, tais como: banda proibida (*band gap*) de 3,37 eV, energia de ligação de éxciton de 60 meV, resistividade controlável na faixa de 10^{-3} a $10^5 \Omega$, alta mobilidade $200 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, estabilidade eletroquímica, atóxico, grande abundância na natureza. Estas características têm permitido seu emprego em: células solares sensibilizadas por corante (DSSC,

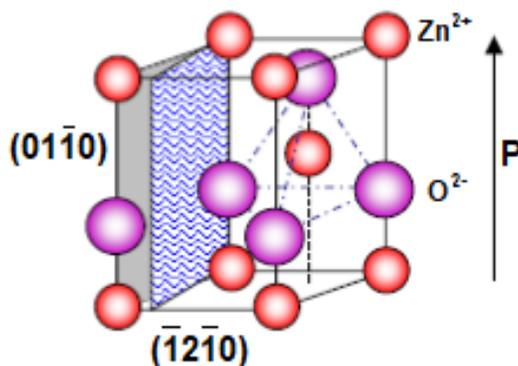
Dye Sensitized Solar Cell), filmes condutores transparentes, sensores de gás, material luminescente, transdutores, biosensores, detectores de ultravioleta, diodos emissores de ultravioleta, lasers semicondutores (Cheng, Chen, Lee, 2006; Wang, 2004).

No estado estequiométrico o ZnO apresenta alta resistividade, porém a vacância de átomos de oxigênio na rede cristalina produz um semicondutor natural do tipo n. Semicondutores do tipo p, obtidos a partir da incorporação de outra espécie atômica, têm sido estudados, porém sua obtenção e aplicação ainda são raras (Khranovskyy e Yakimova, 2012).

A estrutura hexagonal, do ZnO é semelhante à da wurtzita (grupo espacial C6mc) com parâmetros de rede da ordem de $a = 0.3296$ nm e $c = 0.52065$ nm. Esta estrutura pode ser descrita como o empilhamento alternado, em relação ao eixo c, de tetraedros de Zn^{2+} e O^{2-} (Fig.1), este arranjo resulta em uma estrutura não centro simétrica com faces polares e não polares. A presença de faces polares em cristais cria um momento de dipolo na estrutura resultando em um divergente da energia superficial, que para o emprego na DSSC favorece a adesão do corante por meio de ligações de Van der Walls. Entretanto, em cristais com faces polares a estabilidade, em geral, é obtida pela reconstrução ou faceting da superfície do cristal. Porém, o ZnO é um óxido que não apresenta esta característica, o que permite melhor controle sobre a morfologia dos cristais no crescimento (Wang, 2004).

O ZnO possui os planos basais polares, sendo o plano (0001) formado por íons de Zn^{2+} , enquanto o plano (000 $\bar{1}$) formado é por íons de oxigênio, resultando em um momento de dipolo e polarização espontânea ao longo do eixo “c” devido a alta energia destes planos. Os planos de menor energia são: $\{2\bar{1}\bar{1}0\}$ e $\{01\bar{1}0\}$ (Wang, 2004).

Figura 1: Esquema representativo da estrutura cristalina do ZnO (WANG, 2004).



O controle dos parâmetros experimentais durante o crescimento permite obter morfologias como: flores simples (*single flowers*) (Mane et al, 2008; Jiménez-Garcia et al, 2011; Gao et al, 2008), nanobastões (*nanorods*) (Tak e Yong, 2005; Wu et al, 2008), nanofios (*nanowires*) (Law et al, 2005), pirâmides (*pyramidal*), nozes ovaladas (*ground-nut-shaped*)

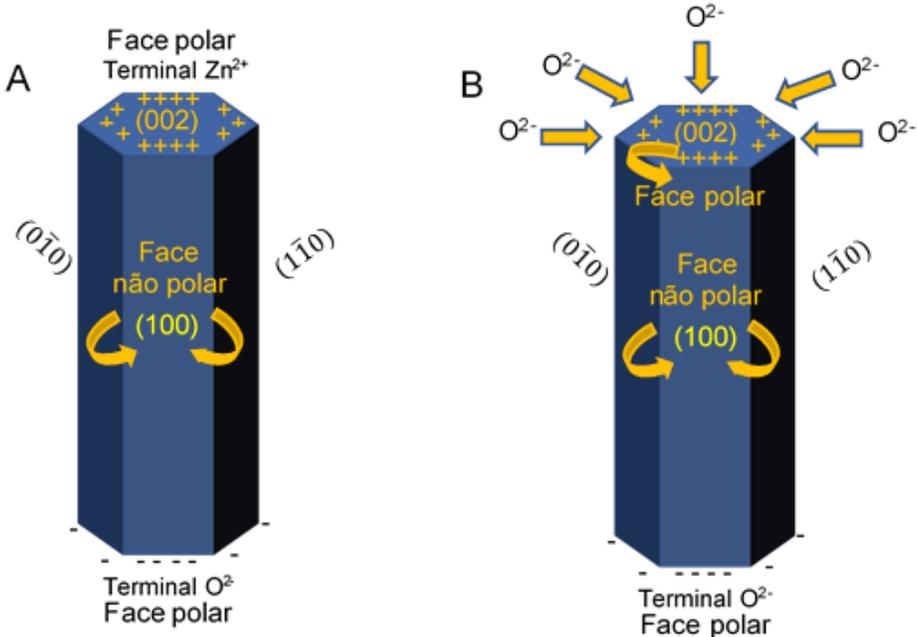
(Kanmani, 2012), raios de sol (*starburst*) (Lockett et al, 2012), nanoplacas (*nanosheets*) (Wang, Xie e Zeng, 2005), flores de arroz (*rice-like*) e nanoespinhas (*nanospines*), prestando-se cada uma destas morfologias a um tipo determinado de aplicação.

As faces polares são energeticamente instáveis e não podem existir sem um mecanismo de redistribuição das cargas superficiais que permita o abaixamento da energia livre. As faces polares podem ser estabilizadas por: (1) reconstrução da superfície ou *faceting*; (2) transferência de cargas entre superfícies (relaxação); ou (3) formação de superfícies não estequiométricas: por formação de vazios ou adsorção de moléculas (Greene et al, 2005).

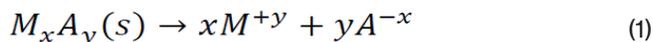
A instabilidade das faces polares (Fig.2A) promove a adsorção dos íons a estas faces (Fig.2B) resultando no aumento da taxa de crescimento ao longo da direção (002). Consequentemente, o controle da velocidade de crescimento ao longo desta direção é a chave para o controle da morfologia deste óxido; o ZnO possui três direções de crescimento preferenciais que podem ser controladas: $\pm [0001]$, $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$ ($\pm [2\bar{1}\bar{1}0]$, $\pm [\bar{1}2\bar{1}0]$, $\pm [\bar{1}\bar{1}20]$) e $\langle 01\bar{1}0 \rangle$ ($\pm [01\bar{1}0]$, $\pm [10\bar{1}0]$, $\pm [1\bar{1}00]$) (Gurav et al, 2011).

O uso de agentes complexantes, associado a existência de faces polares e não polares, permitem favorecer o crescimento orientado em diversas direções cristalográficas. Os íons complexos ligam-se, preferencialmente, as faces polares em detrimento das não polares que tendem a se ligar aos agentes quelantes não polares.

Figura 2: Esquema das superfícies polares e apolares da estrutura cristalina do ZnO [adaptado de Gurav et al, 2011].



Nos métodos de crescimento químicos em soluções aquosas a formação de fase sólida ocorre quando o produto iônico é maior que o produto de solubilidade. Assim sendo, no caso de um sal metálico temos inicialmente a dissolução do mesmo:



em uma solução em equilíbrio:

$$K' = \frac{[M]^x[A]^y}{[M_xA_y]} \quad (2)$$

como a concentração de uma substância em fase sólida pura é constante:

$$K'[M_xA_y] = [M]^x[A]^y \quad (3)$$

escrevendo:

$$K_{ps} = K'[M_xA_y] \quad (4)$$

o produto de solubilidade fica assim definido como:

$$K_{ps} = [M]^x[A]^y \quad (5)$$

nesta expressão o termo:

$$K_{ps} = [M]^x[A]^y \quad (6)$$

é chamado de produto iônico (Mane e Lokhande, 2000).

A condição do produto iônico para a formação de fase sólida em soluções aquosas não saturadas ocorre a partir de dois mecanismos distintos: por nucleação homogênea ou heterogênea. Na nucleação homogênea os núcleos formam-se no seio da solução, a partir da coagulação de íons complexos devido a agitação molecular. Enquanto, que a nucleação heterogênea necessita de um suporte que atuará na condensação do íon da solução pela formação de ligações químicas entre os íons superficiais do substrato e os íons em solução. Assim, é fácil perceber que a probabilidade de ocorrência da nucleação heterogênea é maior que da homogênea. Os três principais fatores que influenciam o produto de solubilidade são: temperatura, solvente e tamanho do núcleo da fase sólida.

O método de deposição de camadas sucessivas por adsorção e reação (SILAR) é uma técnica de crescimento em banho químico que pode ser considerada como um método de crescimento íon por íon ou camada por camada, assemelhando-se aos métodos de alto vácuo. Este método foi proposto originalmente por Nicolau em 1985 para o crescimento de filmes de sulfeto de zinco. Na sua proposta original, o processo básico

do método consistia na imersão do substrato em um banho químico para a adsorção dos íons de zinco sobre o substrato, seguida pela imersão do substrato em um segundo banho onde ocorria a reação química de formação do sulfeto.

Ristov et al [1987] foram os primeiros a utilizar o método para a deposição de filmes de ZnO. Reportando a importância da amônia para o aumento da taxa de crescimento e entre os sais de zinco estudados a lenta taxa de crescimento apresentada pelo cloreto de zinco.

A essência do SILAR é a obtenção de monocamadas catiônicas, deste modo o tempo de permanência do substrato imerso no banho catiônico é um dos fatores determinante para seu sucesso, conseqüentemente a automatização do método, foi descrita por Jiménez-González et al (1995), proporcionou o desenvolvimento do método com a inclusão de novas etapas no processo, tais como: lavagem entre banhos (Lokhande et al, 2014), utilização de ultrassom no banho aniônico (Gao et al, 2004, 2004(a), 2006 e 2007), ultrassom para lavagem (Kumar et al, 2008, 2010).

Portanto, o número de variáveis a serem otimizadas no SILAR é bastante elevado, tais como: temperaturas dos banhos catiônicos, aniônico e de lavagem, tempo de permanência em cada banho, seqüência e número de repetições do processo, composição dos banhos, processos de secagem. Este estudo objetivou avaliar algumas destas variáveis, como: a influência da temperatura do banho aniônico; do tempo de permanência nos banhos catiônicos; da concentração molar e; da razão $Zn^{2+}:NH_4^-$. Estas variáveis influenciam morfologia de nanoestruturas de ZnO para obtenção de um filme para utilização como camada semente para posterior crescimento de nanoestruturas de ZnO.

2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Este estudo foi conduzido utilizando-se como substrato lâmina de vidro recoberta com SnO₂ dopado com flúor (FTO), normalmente utilizado nas DSSCs. Todo o processo de limpeza do substrato foi realizado em banhos ultrassônicos, por 180 s cada, na seguinte seqüência: Extran®; água deionizada; acetona; álcool isopropílico e; água deionizada. Como última etapa da limpeza foi realizada a secagem sob fluxo de N₂, para ativação da superfície recoberta com SnO₂. Tanto a face não recoberta por SnO₂, quanto as bordas da lâmina, as mesmas foram recobertas com fita de PTFE, para evitar crescimento de sementes de ZnO nestas superfícies.

O processo SILAR utilizado para a obtenção de nanoestruturas de zinco foi descrito por Galego et al (2013). Neste estudo foram avaliadas a influência de tempo, temperatura e concentração dos banhos catiônicos e aniônico descritos na Tab. 1.

Tabela 1: Condições básicas do processo SILAR utilizadas neste estudo.

Sequência	Banho (espécie química)	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Rotação (rpm)
1	Catiônico 1 (Nitrato)	50	10	Estático
2	Aniônico	90	10	Estático
3	Lavagem	Ambiente	5	30
4	Catiônico 2 (Acetato)	40	40	Estático
5	Aniônico	90	10	Estático
6	Lavagem	Ambiente	5	30
7	Secagem - fluxo de N ₂		30	30

A determinação das fases cristalinas obtidas foi realizada por difração de raios X, utilizando radiação Cu - K α , no difratômetro Brucker AXS.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para estudo das nanoestruturas crescida. Foram feitas observações superfícies e em superfície de fratura com inclinação de 75° em relação ao feixe de elétrons, utilizando-se o microscópio Philips – XL30.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No processo SILAR, para obtenção de ZnO, a temperatura mais elevada é a do banho aniônico onde ocorre a reação química de formação do ZnO, trabalhar em temperatura baixa torna o método mais atrativo do ponto de vista ecológico e econômico; entretanto podem ocorrer a formação do hidróxido de zinco, fazendo-se necessário a realização de tratamento térmico. Além disso, a temperatura do banho aniônico, também influencia na densidade superficial de núcleos de ZnO formados na superfície do substrato. Nas Figs. 3 (a), (b) e (c) são apresentadas micrografias obtidas por MEV das nanoestruturas de ZnO utilizando o banho aniônico a temperatura de 60 °C, 70 °C e 90 °C; observa-se que a formação dos núcleos sobre o substrato aumenta com o aumento da temperatura, influenciando diretamente o recobrimento do substrato. Na Fig.3(b) foi possível perceber o crescimento de alguns núcleos, enquanto na temperatura de 90°C (Fig.3(c)) ocorreu um aumento significativo dos núcleos na superfície e também houve crescimento na direção basal.

A análise do espectro por difração de raios X indicou a formação da fase cristalina do ZnO nas temperaturas estudadas, na Fig.4 é apresentado o espectro da difração de raios X obtido para a amostra com banho aniônico a temperatura de 90 °C, onde foi possível identificar as fases do SnO₂ do filme condutor e a fase cristalina do ZnO com orientação preferencial na direção do plano basal; nos métodos por banho químico observa-se que o coalescimento da nanoestrutura resulta na orientação preferencial dos planos (100), (101) e (002) sendo este o de preferência conforme o crescimento prossegue e a nanoestrutura

adquiriu o hábito cristalino de um nanobastão; esta sequência de crescimento ocorre de acordo com a energia livre superficial dos planos do ZnO $G_{100} = -2,0013 \text{ kJ mol}^{-1}$, $G_{101} = -2,1067 \text{ kJ mol}^{-1}$ e $G_{001} = -2,8102 \text{ kJ mol}^{-1}$ (Shinde et al., 2005; Khranovsky, et al., 2012).

Figura 3: Micrografias obtidas por MEV das nanoestruturas de ZnO obtidas utilizando banho aniônico a temperatura: (a) 60 °C; (b) 70°C e (c) 90°C.

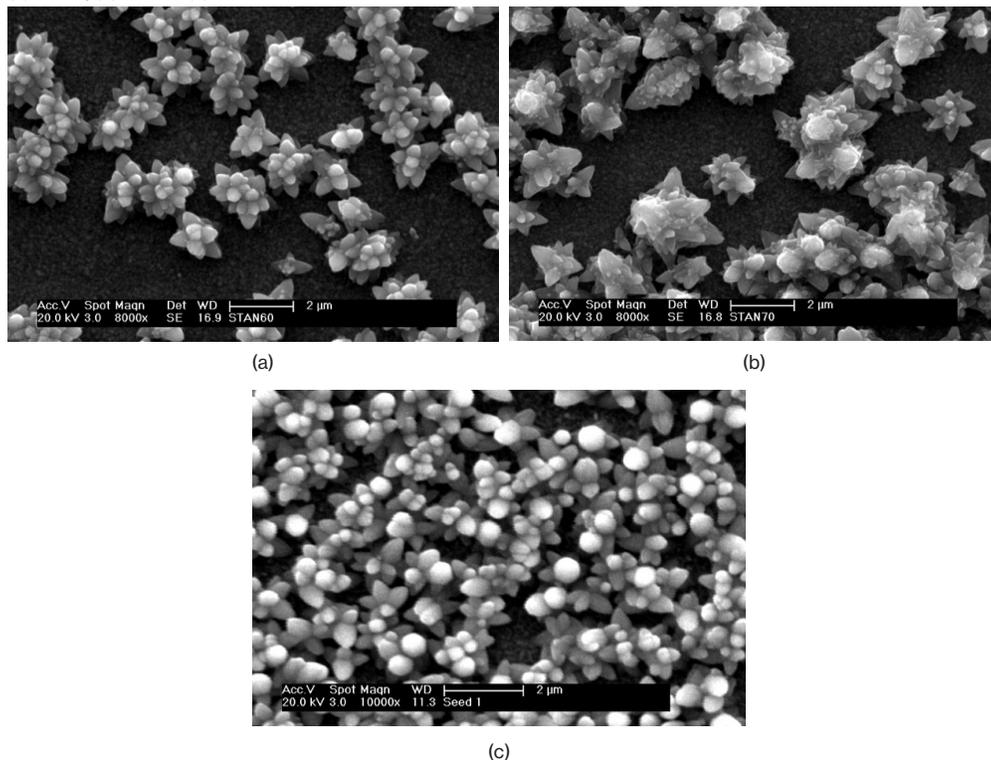
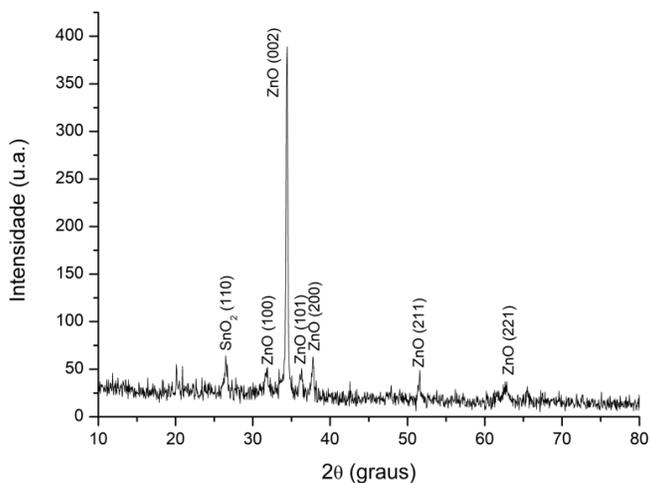
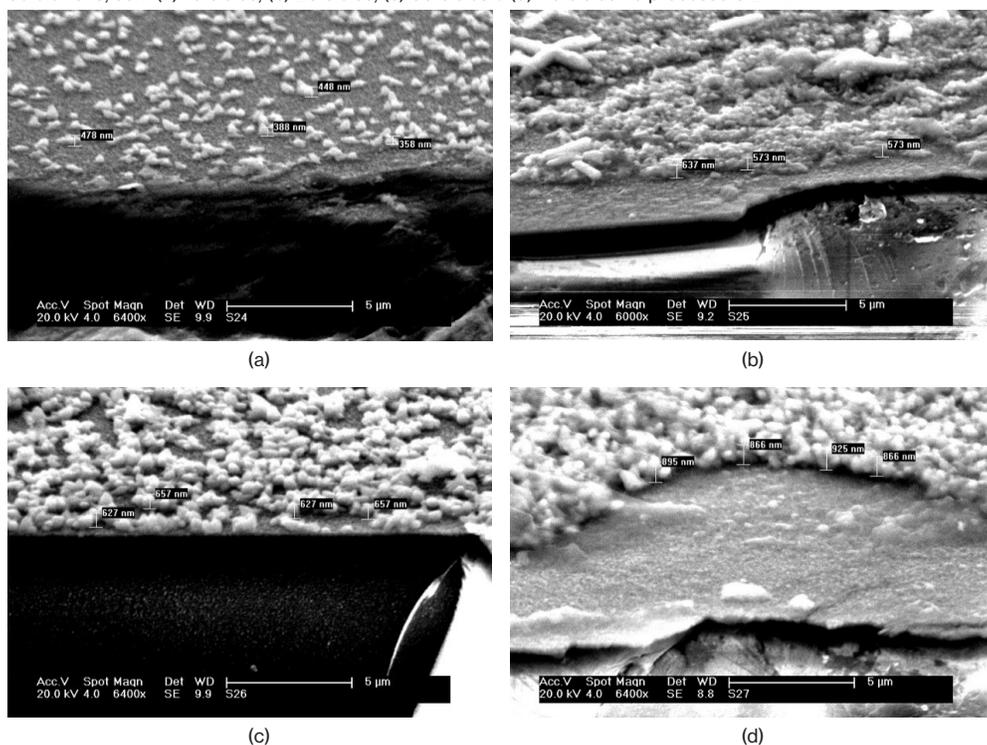


Figura 4: Espectro de difração de raios X da amostra obtida pelo método SILAR com banho aniônico a 90°C



Estabelecida a temperatura do banho aniônico, a próxima etapa foi o estudo do número de ciclos do processo SILAR necessários para a obtenção de um recobrimento uniforme do substrato. As micrografias, obtidas por MEV, apresentadas nas Fig. 5 (a), (b) (c) e (d), foram realizadas em região de fratura e com as amostras inclinadas a 75 ° em relação ao feixe de elétrons, nestas pode-se ver que o processo utilizado promove a nucleação na superfície do substrato, assim como o crescimento dos núcleos formados. Estudos anteriores realizados por Galego et al. (2013) indicam que a nucleação superficial ocorre no banho catiônico de solução de nitrato de zinco/HMT, enquanto o crescimento dos núcleos ocorre preferencialmente no banho catiônico de solução de acetato/amônio. O gráfico apresentado na Fig. 6 apresenta da taxa de crescimento em função do número de ciclos utilizado no processo SILAR.

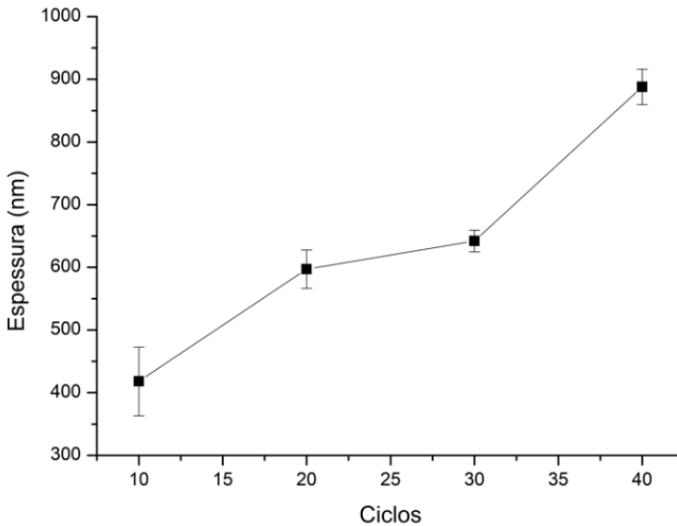
Figura 5: Micrografias obtidas por MEV do filme de ZnO, na região de fratura e inclinadas a 75° em relação ao feixe de elétrons, com (a) 10 ciclos; (b) 20 ciclos; (c) 30 ciclos e (d) 40 ciclos no processo SILAR.



Estes resultados mostraram que em cada ciclo, nas condições estudadas, ocorreu nucleação e crescimento de núcleos até o trigésimo ciclo, pode-se inferir pelo gráfico apresentado na Fig.6 que nos ciclos posteriores ocorreu preferencialmente o

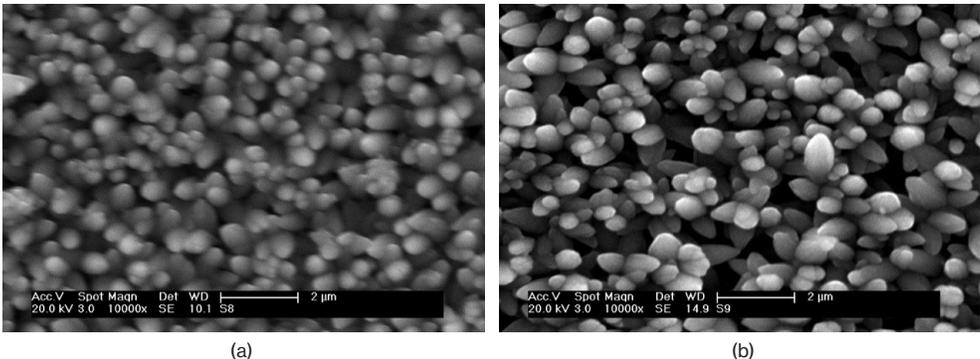
crescimento dos núcleos já aderidos ao substrato, este resultado também foi descrito por Amalraj e Senguttuvan (2014).

Figura 6: Gráfico da taxa de crescimento da camada de ZnO em relação ao número de ciclos de repetição empregado no SILAR.

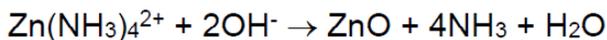


A adsorção dos íons Zn^{2+} é regida pelo produto de solubilidade local, entretanto em soluções insaturadas pode ocorrer a dissolução do núcleo formado, nas Figs. 7 (a) e (b) são apresentadas as micrografias da superfície de ZnO obtidas com tempo de permanência de 10 s e 20 s da amostra no banho catiônico de nitrato de zinco/HMT foi possível avaliar que não houve alterações significativas na densidade superficial de núcleos aderidos a superfície, indicando a não ocorrência de dissolução dos núcleos.

Figura 7: Micrografia obtidas por MEV da superfície de ZnO crescidas com permanência no banho de ZnO de (a) 10 s e (b) 20 s.

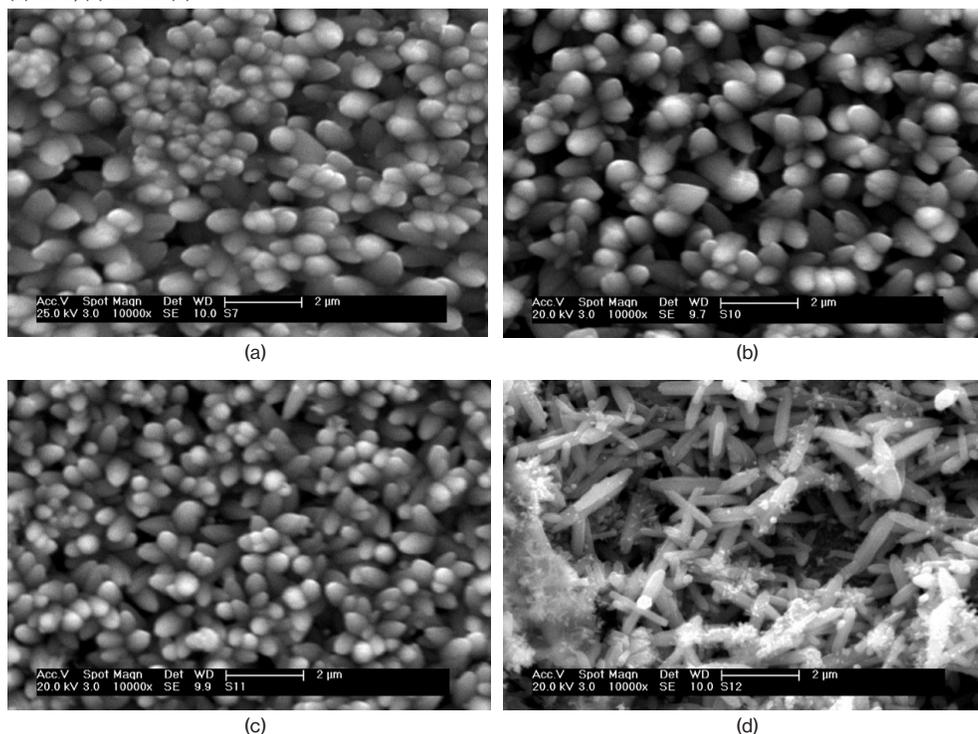


O tempo de permanência do substrato no banho catiônico é um dos fatores mais cruciais do método SILAR. Portanto, o ideal é determinar o tempo necessário para que apenas um íon seja adsorvido em cada sítio disponível e que não ocorra adsorção ou ligações entre os íons de zinco adsorvidos na superfície, a reação de formação, para íons complexados é:



A presença do amônio na solução do banho pode ser obtida pela adição de hidróxido de amônia ou sais geradores de amônio em seu processo de decomposição. Alguns autores sugerem que as ligações entre os íons complexados são fracas e que a inclusão de uma etapa de lavagem entre o banho catiônico e aniônico, permite eliminar este tipo de ligação e, também, de íons fracamente adsorvidos na superfície. Entretanto, outros autores sugerem que nesta etapa ocorre a formação de $\text{Zn}(\text{OH})_2$, e que posteriormente no banho a alta temperatura é convertido em ZnO (Zhang et al., 2010; Taner et al., 2011).

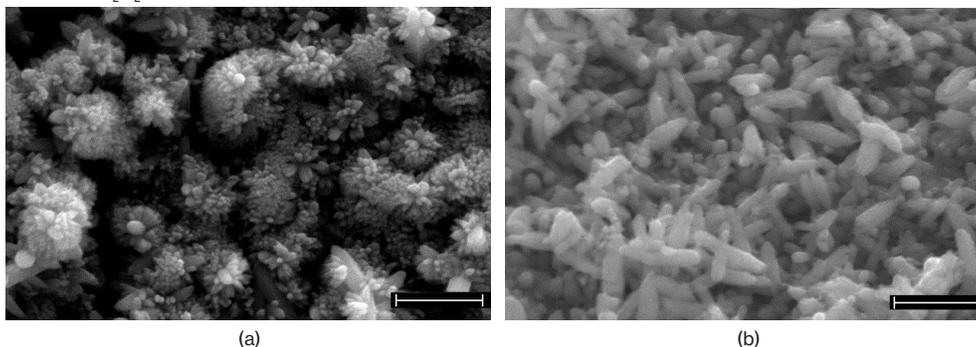
Figura 8: Micrografias da superfície das nanoestruturas, obtidas por MEV, com tempo de permanência de: (a) 10 s, (b) 30 s, (c) 40 s e (d) 60 s.



O mesmo estudo, de tempo de permanência de amostra no banho catiônico, foi realizado para o crescimento no acetato de zinco. As micrografias Fig.8(a) e Fig.8(b) mostraram que os núcleos depositados no banho de nitrato de zinco sofreram um crescimento acentuado nos planos apolares resultado em uma estrutura mais compacta. No entanto, com o aumento do tempo de permanência observou-se que ocorreu o crescimento preferencial nas direções dos planos polares, Fig.8(c) e Fig.8(d). Durante o processo SILAR não foi possível impedir completamente a nucleação homogênea, principalmente no banho aniônico. Assim, foi possível observar que o aumento do tempo de permanência para 60 s implicou na formação de nanoestruturas no seio da solução que foram aderidas fracamente a superfície do filme de ZnO tornando o crescimento dos nanobastões em direções aleatórias.

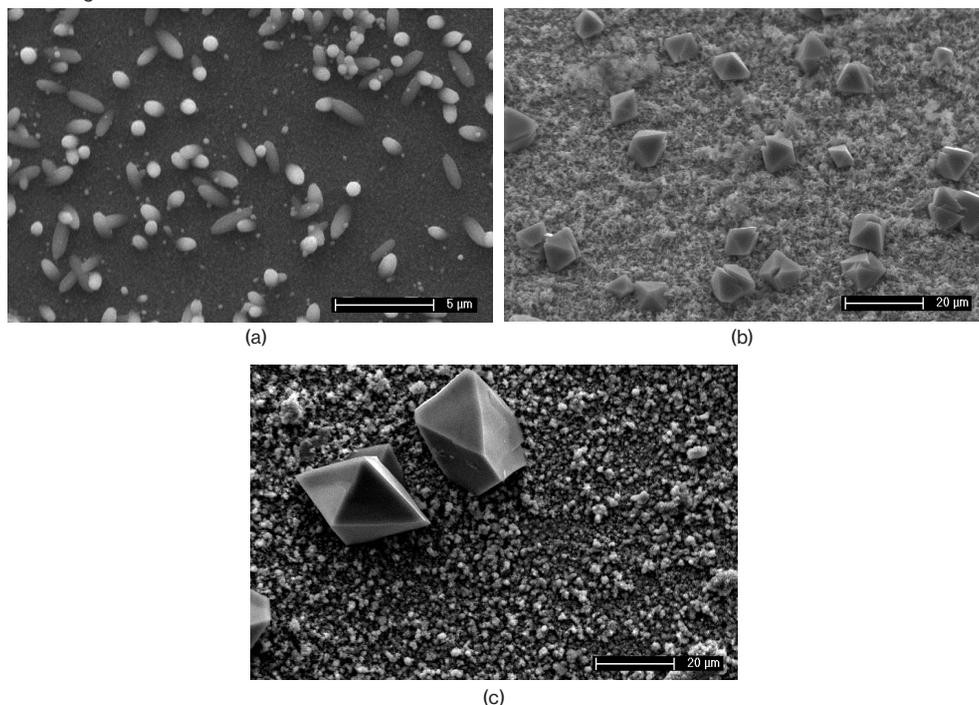
O principal objetivo do estudo das variáveis do método SILAR, aqui realizado, foi determinar a sequência com a menor temperatura e tempo de execução, tornando deste modo o processo atrativo do ponto de vista econômico e ecológico. Temperaturas muito baixas que a ambiente necessitam de um sistema de resfriamento, portanto o ideal foi trabalhar com temperaturas de aquecimento próximas a temperatura ambiente para os banhos catiônicos. Gurav et al. (2011) estudaram o efeito da adição de peróxido de hidrogênio ao banho aniônico, mostrando que houve aumento de espessura do filme e maior orientação preferencial na direção do plano basal. A Fig.9 apresenta a camada de ZnO formada com a adição de 1% de peróxido de hidrogênio ao banho aniônico, com o objetivo de aumentar a taxa de reações de formação do ZnO, este aditivo promoveu maior crescimento do ZnO, mas as custas de menor orientação cristalina das nanoestruturas nas condições usadas neste estudo.

Figura 9: Micrografias obtidas por MEV que mostram a ação do H_2O_2 sobre a morfologia: (a) adição de 1% em volume de H_2O_2 ; (b) sem adição.



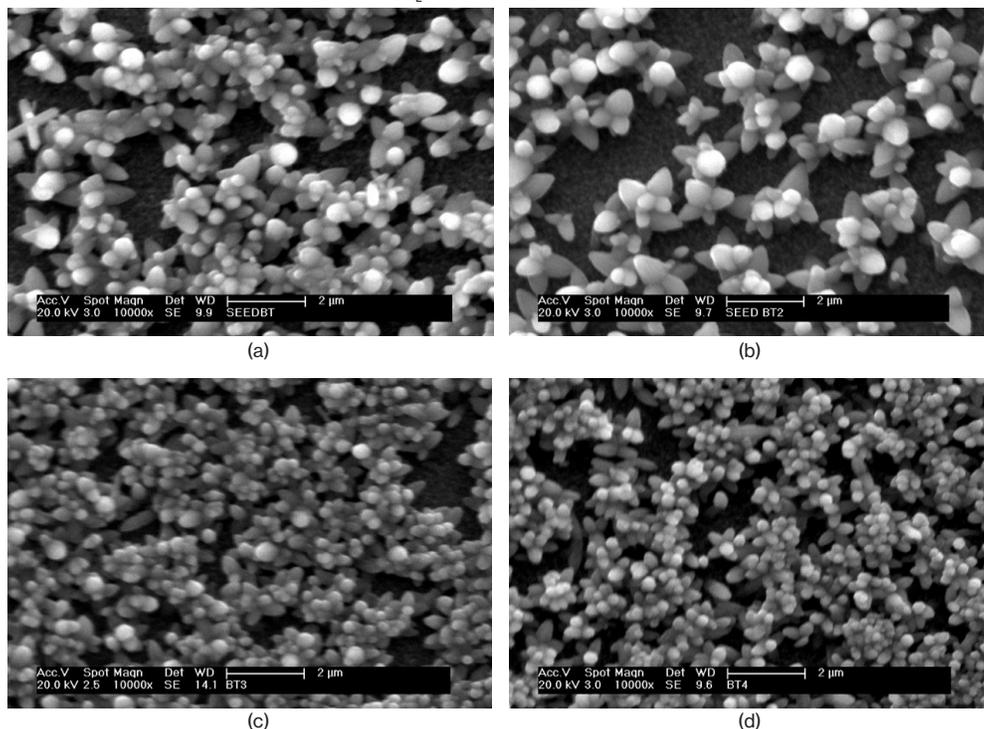
A Fig.10 apresenta as micrografias, obtidas por MEV, da superfície da camada de ZnO com e sem a etapa do banho de lavagem, observou-se a adesão de nanopartículas nucleadas homogêneas e crescidas no banho aniônico. As etapas de lavagem durante o processo SILAR são responsáveis pela retirada dos íons fracamente ligados, promovendo o crescimento de nanoestruturas mais aderentes ao substrato e com menores defeitos estruturais.

Figura 10: Nano e microestruturas de ZnO observada por MEV na superfície da camada de ZnO: (a) estrutura dos núcleos após a etapa de lavagem, (b) e (c) adesão de microestruturas formadas no banho catiônico em processo sem lavagem.



A influência da concentração molar em ambas as soluções dos banhos catiônicos e da proporção $Zn^{2+}:NH_4^-$ no banho de crescimento foram estudadas com a finalidade de buscar nanoestruturas com diferentes morfologias. Os filmes nanoestruturados obtidos pelo método SILAR podem ser empregados em diversos tipos de sensores, assim a morfologia será determinada pelo tipo de aplicação. Outro uso deste filme é atuando como semente para posterior crescimento de estruturas micrométricas, neste caso a morfologia do filme nanoestruturado terá grande influência na morfologia das estruturas de ZnO crescidas posteriormente.

Figura 11: Micrografia obtidas por MEV da superfície de filmes nanoestruturados obtidos com diferentes concentrações no banho de nucleação de $ZnCl_2$: (a) 0,01 M, (b) 0,02 M, (c) 0,04 M e (d) 0,06 M.



Nas Figs. 11 (a), (b) (c) e (d) são apresentadas as micrografias, obtidas por MEV, para os filmes nanoestruturados de ZnO obtidos utilizando com sal precursor de cloreto de zinco nas concentrações molares de: 0,01 M, 0,02 M, 0,04 M e 0,06 M como banho de nucleação. Analisando o conjunto das micrografias pode-se ver, que diferentemente da solução utilizando nitrato de zinco, o uso de cloreto de zinco não produziu uma densidade superficial de núcleos capaz de recobrir completamente o substrato. A micrografia da Fig.11(a) mostra a predominância de núcleo aderidos ao substrato com poucos crescimentos significativos.

A velocidade de formação do ZnO utilizando como precursor o cloreto de zinco é menor que a do nitrato de zinco, observando a Fig.11(b) onde a concentração molar dos dois sais de zinco estudados foi a mesma observa-se o menor recobrimento do substrato com o uso do cloreto de zinco. Nas Fig. 11(c) e Fig. 11(d) observa-se que não há influência significativa da concentração molar na formação do filme nanoestruturado, sugerindo que o aumento da concentração molar promove o crescimento dos núcleos já formados em detrimento da nucleação de novos núcleos resultando em um filme poroso.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que alterações simples nas variáveis do processo SILAR para obtenção de ZnO permitiram desde a obtenção de nanoestruturas individuais a filmes compactos ou porosos. A maioria dos parâmetros estudados exerceu em maior ou menor grau influência sobre a morfologia das nanoestruturas crescidas sobre o FTO. Esta ampla gama de morfologias e filmes se presta aos mais diversos usos deste versátil semicondutor.

REFERÊNCIAS

AMALRAJ, A.S.; SENGUTTUVAN, G. Effect of multiple dipping of SILAR deposited ZnO thin films by physic-chemical process. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v.25, p.2035-2040, 2014.

CHENG, H-C.; CHEN, C-F, LEE, C-C. Thin film transistors with active layer of zinc oxide (ZnO) fabricated by low temperature chemical bath method. **Thin Solid Films**, v.498, p.142-145, 2006.

GALEGO, E.; SERNA, M.M.; RAMANATHAN, A new route to grow ZnO seed layer using the SILAR method. **Technical Proceedings of the 2013 NSTI Nanotechnology Conference and Expo**, NSTI-Nanotech, v.3, p.509-512, 2013.

GAO, X.D.; LI, X.M.; YU, W.D. Preparation, structure and ultraviolet photoluminescence of ZnO films by novel chemical method. **Journal of Solid State Chemistry**, v.177, p.3830-3834, 2004.

GAO, X.D.; LI, X.M.; YU, W.D. Synthesis and optical properties of ZnO nanocluster porous films deposited by modified SILAR method. **Applied Surface Science**, v.229, p.275-281, 2004a.

GAO, X.D.; LI, X.M.; YU, W.D.; LI, L.; PENG, F.; ZHANG, C-Y. Microstructure analysis and formation mechanism of ZnO nanoporous film via the ultrasonic irradiation mediated SILAR method. **Journal of Crystal Growth**, v.291, p.175-182, 2006.

GAO, X.D.; LI, X.M.; YU, W.D.; LI, L.; QIU, J-J.; PENG, F. Low temperature deposition of transparent ZnO films by the ultrasonic-mediated stepwise method. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v.91, p.467-473, 2007.

GAO, Y. -F.; MIAO, H.-Y.; LUO, H.-J.; NAGAI, M. Precipitation of ZnO powders from aqueous solutions with water-soluble polymers. **Crystal Growth & Design**, v.8, n.7, p.2187-2193, 2008.

GREENE, L.E.; LAW, M.; TAN, D.H.; MONTANO, M. GOLDBERGER, J.; SOMORJAI, G.; YANG, P. General route to vertical ZnO nanowire arrays using textured ZnO seeds. **Nanoletters**, v.5, n.7, p.1231-1236, 2005.

GURAV, K.V.; PATIL, U.M.; PAWAR, S.M.; KIM, J.H.; LOKHANDE, C.D. Controlled crystallite orientation in ZnO nanorods prepared by chemical bath deposition: effect of H₂O₂. **Journal of Alloys and Compounds**, v.509, p.7723-7728, 2011.

JIMÉNEZ-GARCIA, F.N.; ESPINOSA-ARBELÁEZ, D.G.; VARGAS-HERNÁNDEZ, C.; DEL REAL, A.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M.E. Characterization of nanostructures of ZnO and ZnMnO films deposited by successive ionic layer adsorption and reaction method. **Thin Solid Films**, v.519, p.7638-7643, 2011.

KANMANI, S.S.; RAMACHANDRAN, K. Role of aqueous ammonia on the growth of ZnO nanostructures and its influence on solid-state dye sensitized solar cells. **Journal Materials Science**, v.48, v.5, p.2076-2091, 2013.

- KHRANOVSKYY, V.; YAKIMOVA, R. Morphology engineering of ZnO nanostructures. **Physica B**, v.407, p.1533-1537, 2012.
- KHRANOVSKYY, V.; YAKIMOVA, R.; KARLSSON, F.; SYED, A.S.; HOLTZ, P-O.; URGESSA, Z.N.; OLUWAFEMI, O.S.; BOTHA, J.R. Comparative PL study of individual ZnO nanorods, grown by APMOCVD and CBD techniques. **Physica B**, v.407, p.1538-1542.
- KUMAR, P.S.; RAJ, A.D.; MANGALARAJ, D.; NATARAJ, D. Growth and characterization of ZnO nanostructured thin films by a two step chemical method. **Applied Surface Science**, v.255, p.2382-2387.
- KUMAR, R.S.; SATHYAMOORTHY, R.; MATHESWARAN, P.; SUDHAGAR, P.; KANG, Y.S. Growth of novel ZnO nanostructures by soft chemical routes. **Journal of Alloys and Compounds**, v.506, p.351-355, 2010.
- LAW, M.; GREENE, L.E.; JOHNSON, J.C.; SAYKALLY, R.; YANG, P. Nanowire dye-sensitized solar cells. **Nature Material**, v.4, p.455-459, 2005.
- LOCKETT, A.M.; THOMAS, P.J.; O'BRIEN, P. Influence of seeding layers on the morphology, density, and critical dimensions of ZnO nanostructures grown by chemical bath deposition. **The Journal of Physical Chemistry C**, v.116, p. 8080-8094, 2012.
- MANE, R.S.; LOKHANDE, C.D. Chemical deposition method for metal chalcogenide thin films. **Materials Chemistry and Physics**, v.65, p.1-31, 2000.
- MANE, R.S.; LEE, W-J.; LOKHANDE, C.D.; CHO, B.W.; HAN, S-H. Controlled repeated chemical growth of ZnO films for dye-sensitized solar cells. **Current Applied Physics**, v.8, p.549-553, 2008.
- NICOLAU, Y.F. Solution deposition of thin solid compound films by a successive ionic-layer adsorption and reaction process. **Applications of Surface Science**, v.22-23, p.1061-1074, 1985.
- RISTOV, M.; SINADINOVSKI, G.J.; GROZDANOV, I. MITRESKI, M. Chemical deposition of ZnO films, **Thin Solid Films**, v.149, p.65-71, 1987.
- SHINDE, V.R.; LOKHANDE, C.D.; MANE, R.S.; HAN, S-H. Hydrophobic and textured ZnO films deposited by chemical bath deposition: annealing effects. **Applied Surface Science**, v.245, p.407-413, 2005.
- TANER, A.; KUL, M.; TURAN, E.; AYBEK, A.S.; ZOR, M.; TASKÖPRÜ, T. Optical and structural properties of zinc oxide films with different thicknesses prepared by successive ionic layer and reaction method. **Thin Solid Films**, v.520, p.1358-1362, 2011.
- TAK, Y.; YONG, K. Controlled growth of well-aligned ZnO nanorod array using a novel solution method. **Journal of Physics and Chemistry B**, v.109, p.19263-19269, 2005.
- WANG, Z.L. Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. **Journal of Physics: Condensed Matter**, v.16, p.R820-R858, 2004.
- WANG, H.; XIE, C.; ZENG, D. Controlled growth of ZnO by adding H₂O. **Journal of Crystal Growth**, v.277, p.372-375, 2005.
- WU, W.; HU, G.; CUI, S.; ZHOU, Y.; WU, H. Epitaxy of vertical ZnO nanorods arrays on highly (001)-oriented ZnO seed monolayer by a hydrothermal route. **Crystal Growth & Design**, v.8,n.11, p.4014-4020, 2008.
- ZHANG, D.; ZHANG, J.; WU, Q.; MIU, X. Ultraviolet emission of ZnO nano-polycrystalline films by modified successive ionic layer adsorption and reaction technique. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v.54, p.165-173, 2010.

ABOUT THE ORGANIZER

MARCOS AUGUSTO DE LIMA NOBRE: Assistant Professor and Researcher (2006 - present), with citation name M. A. L. Nobre, at the São Paulo State University (UNESP), School of Science and Technology, Department of Physics, campus at Presidente Prudente-SP. Head and Founder (2002) of the Laboratory of Functional Composites and Ceramics (LaCCeF acronym in Portuguese, the native idiom), Lab certified by PROPE-UNESP/National Council for Scientific and Technological Development/CNPq*. Grants from National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), 2020-2023, 2019-2021 and 2010-2012. Granted with Young-Researcher scholarship by the São Paulo Research Foundation, FAPESP (São Paulo, São Paulo) (2002 - Summer of 2005). Postdoctoral fellow at the Polytechnic School of the University of Sao Paulo (POLI USP-SP) Metallurgy and Materials Science Department with FAPESP Scholarship (1999-summer of 2000). PhD in Science, CAPES Scholarship (Physical Chemistry 1999) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Master in Chemistry CNPq scholarship (Physical Chemistry 1995) by the Chemistry Department, UFSCar-SP. Licentiate degree (4-year of study) in Physics (1993) CNPq and CNPq-Rhae scholarships by the Physics Department, UFSCar-SP. Associate Editor of the Micro & Nano Letters - IET 2019-2020. Associate Editor of the Micro & Nano Letters-Wiley, 2020 - present. Ethical Editor of the Applied Mathematics Science (Reuse) m-Hikari and Modern Research in Catalysis, Irvine-CA, USA (2017- date). Editorial board member of the Artemis Editora, Brazil. Nowadays, have 02 patents. Has published 80 papers at 39 different indexed Journals of renowned Editors. In May/25/2021, has been cited 1379 times, at 76 papers (47 with citations), in according to the ResearchID actual Publons base having an H-index equal to 23. Academic Google score: H = 28, i10 = 45 and 2338 citations. Reviewer of more than three dozen of journals. Have more than 580 communications and presentation in National and International Congress and Symposiums, from these 150 has been published as Conference Paper. Author or co-author of 20 Chapters of book approaching Scientific Divulcation, Teaching of Physic and Chemistry for teachers actuating in the graduating degree. For this, the Nanoscience and Nanotechnology have been the first strategy. Received tens of National and International Awards, Honorable mentions and distinction mentions, as well as titles. Research skills: Materials Science, Advanced Ceramic Processing, Linear and Non-linear Advanced Dielectrics Materials, Solid state chemistry, Impedance spectroscopy of solids and fluids, Structural Characterization via Mid infrared Spectroscopy with Fast-Fourier-Transformed of solid and fluids, Structural and non-structural Phase Transitions in Semiconductor Ferroelectrics. Also, Molecular Interactions in Functional Fluids as biofuels and its blends, probed via mid infrared Spectroscopy. Research interests: New Functional Materials as

amorphous composite based on carbon/nanoparticles and Semiconductor Ferroelectrics.
Member of the Program of Post-Graduation in Chemistry at UNESP - Campus of São José
do Rio Preto, IBILCE UNESP – SP, Brazil.

INDEX

A

Adsorbente 172, 173, 179, 180

Alumínio 182, 183, 184, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 198, 200, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Annealing 1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 227

Arsénico 172, 173, 174, 178, 179, 180, 181

AuNR dimer 12, 14, 16, 17, 18, 19

B

Biodiesel 162, 164, 165, 168, 169, 171

Blends 162, 168, 169, 170, 171

Bulk sensitivity 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 73

C

Carboxymethylchitosan 125, 127, 128, 129, 132, 133, 136

Celulose 228, 229, 230, 231, 232, 233

Chemical composition of SS surface 109

Clay 125, 127, 128, 130, 131, 133, 136, 137

Comparison among Silica and reuse of waste 77

COMSOL 14, 15, 68

Conductive tubes 92, 93, 94, 95, 100, 102, 104, 106

Confined water 39, 40, 41, 42, 52, 55, 58, 59, 60, 61, 63, 65

D

DFT 21, 23, 35, 36, 49, 50, 63

Diesel 162, 163, 164, 165, 168, 169, 171

DSSC 213, 214, 217

E

Efluente 172, 173

Evolutionary strategies 151, 156

F

FEM 14, 68

Figure of merit 11, 12, 14, 15, 16, 17, 67, 68, 72, 73, 74

Filmes finos 205, 212, 213
Filter 125, 126, 127, 128, 131, 132, 134, 135, 136, 137
Fits on Mössbauer spectra 151
FoM 15, 16, 17, 18, 19, 68, 74

G

Graphite nanostructures 162

K

$\text{KSr}_2\text{Nb}_5\text{O}_{15}$ ceramic 138, 139, 141, 144, 146

M

Magnetita nanoestruturada 172, 173
Metalurgia do pó 182, 186, 191, 192
Métodos químicos 198, 201, 205
Micro and nano silica 76, 77, 78, 79, 84, 90

N

Nanocomposite 36, 37, 91, 125, 126, 127, 128, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 161, 182, 183, 194, 195, 196, 198, 211
Nanocompósitos 182, 183, 185, 186, 193
Nanocristais 228, 229, 230, 232, 233
Nanoestruturas 182, 198, 200, 201, 202, 206, 210, 213, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 226
Nanograins 1, 2, 3, 9, 138
Nanolithography 39, 40, 41, 42, 45, 50, 62, 64, 66
Nanopartículas 151, 180, 212, 224, 228, 229, 231
Nanostructures 2, 9, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 25, 38, 61, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 138, 162, 170, 211, 213, 226, 227
Nanostructures surface 21, 22, 23
Nanotechnology 12, 20, 62, 66, 102, 106, 126, 138, 162, 183, 195, 213, 226
Nanotecnologia 182, 212
 NiFe_2O_4 nanoparticles 150, 151, 153

O

Oxidation 39, 40, 41, 42, 53, 55, 59, 64, 65, 91, 109, 117, 118, 121
Óxido de grafeno reduzido 182, 183, 186

Óxido de zinco 197, 213

P

Papel reciclado 228, 229, 232, 233

Perfectly matched layer 11, 12, 15, 68, 69

PIII in magnetic field 109

Plasma immersion ion implantation 92, 93, 94, 107, 108, 109, 122, 123, 124

R

RI 15, 16, 67, 68, 72, 73

Rice husk Silica 77

Rolling 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9

Rough rolls 1, 2, 3, 8, 9

S

SILAR 198, 200, 201, 204, 205, 206, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 226

Silica Morphology 77, 83

Silver nanoparticles 74, 125, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137

Supercapacitores 197, 198, 199, 200, 202, 209, 210

Surface 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 50, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 129, 152, 160, 161, 173, 211, 213, 226, 227

Surface modification 37, 38, 92, 93, 106, 109, 110

U

Ultrananocrystalline Diamond Films 93, 108

V

Viscosity 89, 162, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171

X

X-ray photoelectron spectroscopy 42, 92, 96, 103, 108, 109, 111, 123

Z

ZnO 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227

ZnO nanocrystals 21, 23, 25, 35



**EDITORA
ARTEMIS**