

Создание одномерных наноструктур на основе оксида цинка

С.П. Мурзин

*Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королева*

Самара, Россия

Венский технический университет

Вена, Австрия

murzin@ssau.ru

С. Осипов

Венский технический университет

Вена, Австрия

os.stanislav@gmail.com

Аннотация—Одномерные наноструктурированные оксиды металлов обладают большим потенциалом. Благодаря своим каталитическим свойствам, высокой химической и термической стабильности, выраженной химической активности поверхностей и биосовместимости, такие наноструктуры вызывают повышенный интерес у исследователей. В настоящее время большое внимание уделяется разработке надежных методов получения таких наноматериалов, требующих специфических условий роста, в том числе на основе альтернативных процессов, использующих новые физические эффекты. Наноструктуры на основе оксида цинка используются в сенсорике и представляют интерес как функциональные электродоконттактные материалы. Для создания наноматериалов на основе оксида цинка перспективно импульсно-периодическое лазерное воздействие.

Ключевые слова— одномерные наноструктуры, оксид цинка, применение, лазерное воздействие.

1. ВВЕДЕНИЕ

Оксиды металлов и наноструктуры на их основе представляют собой класс материалов, демонстрирующих широкий спектр исключительных функциональных свойств. Одномерные (точнее, квазиодномерные) наноструктурированные оксиды металлов в виде массивов нановолокон, наностержней или вертикально ориентированных нанопроволок на планарных проводящих подложках обладают большим потенциалом. Благодаря своим каталитическим свойствам, высокой химической и термической стабильности, выраженной химической активности поверхностей и биосовместимости, такие наноструктуры вызывают повышенный интерес у исследователей. Их синтез открывает широкие перспективы для применения в сенсорных системах, катализе и биомедицинской инженерии. Кроме того, оптические, электрические или магнитные свойства наноструктурированных оксидов металлов можно значительно улучшить или контролировать путем создания гибридных нанокompозитных материалов.

Существует два основных подхода к получению массивов одномерных наноструктур на металлических подложках. Первый предполагает применение и совершенствование технологий, разработанных в полупроводниковой промышленности. Осаждение и локальное удаление материала на планарных подложках производится с целью уменьшения размеров структур до нанометрового масштаба. Используются методы нанолитографии, такие как наноимпринтинг, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая и сканирующая зондовая литография. Однако недостатками методов

нанолитографии являются высокая стоимость и низкая производительность. Второй подход использует укрупнение исходных ядер до одномерных наноструктур под действием физико-химических сил. Это можно наблюдать, например, при использовании методов газофазного химического синтеза, электрохимического осаждения, кристаллизации из паровой или жидкой фазы, а также темплатного синтеза. Основным препятствием для широкого практического применения данного подхода является сложность переноса и закрепления изготовленной структуры на металлических подложках. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется разработке надежных методов получения таких наноматериалов, требующих специфических условий роста, в том числе на основе альтернативных процессов, использующих новые физические эффекты.

Развитие опто- и микроэлектроники, микросистемного и сенсорного оборудования приводит к повышению требований к увеличению эффективности и снижению энергопотребления при одновременном уменьшении массы и размеров компонентов. В связи с растущим спросом в области сенсорики, катализа, фотоники, электроники и других высокотехнологичных областях [1-3].

2. МЕТАЛЛОКСИДНЫЕ НАНОПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ZNO

Оксиды металлов широко используются в гетерогенном катализе в качестве носителей или активных фаз. Благодаря высокому отношению площади поверхности к объему и присущим поверхностным дефектам наноструктурированные материалы демонстрируют самую высокую каталитическую эффективность [4]. Применение наноструктурированных морфологий оксидов металлов дает возможность разрабатывать эффективные катализаторы с высокой селективностью, быстродействием и стабильностью [5].

Полупроводниковые нанопроволоки из оксидов металлов имеют высокое отношение поверхности к объему, хорошую химическую и термическую стабильность и демонстрируют отличную чувствительность к изменениям условий окружающей среды [6-8]. Они не только обладают описанными преимуществами, но и имеют уникальные электрические, оптические и механические свойства. Дополнительными преимуществами являются возможность значительного уменьшения размеров датчиков, что приводит к снижению энергопотребления за счет меньшей тепловой массы, более быстрому нагреву и облегчению интеграции в микросхемы [9]. Поэтому нанопроволоки на основе

оксидов металлов стали многообещающей и привлекательной основой для создания сенсорных устройств [10-12]. В настоящее время изучаются возможности применения таких датчиков для мониторинга токсичных газов и летучих органических соединений [13].

Оксид цинка является полупроводниковым соединением, которое имеет практическое и перспективное применение [14-16] благодаря своим пьезо- и ферроэлектрическим свойствам. Особое внимание уделяется получению структур на основе нанозлементов [17], позволяющих создавать сенсорные устройства, явно превосходящие имеющиеся в настоящее время коммерческие сенсоры [18, 19]. Среди возможных технических реализаций этих структур - слоистые материалы на основе оксидов металлов, представляющие интерес как функциональные электродоконтатные материалы. В работах [20, 21] для синтеза наноматериалов на основе нанопроволок ZnO предложено использовать импульсно-периодическое лазерное воздействие. Определена возможность получения наноструктурированных оксидных массивов с контролируемой морфологией на токопроводящих подложках из металлических материалов.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оксиды металлов и наноструктуры на их основе демонстрируют широкий спектр исключительных функциональных свойств. Существует два основных подхода к получению массивов одномерных оксидных наноструктур на металлических подложках. Для получения тонких пленок в основном используются методы газофазного химического синтеза, электрохимического осаждения, кристаллизации из паровой или жидкой фазы, а также темплатный синтез. Основным недостатком, ограничивающим широкое практическое применение таких методов, основанных на укрупнении исходных элементов до одномерных наноструктур под действием физико-химических сил, является сложность переноса и закрепления изготовленной структуры на планарных подложках. Методы нанолитографии характеризуются низкой производительностью и высокой стоимостью оборудования, что также ограничивает сферу их применения.

Наноструктуры на основе оксида цинка используются в сенсорике и представляют интерес как функциональные электродоконтатные материалы. Для синтеза на токопроводящих подложках из металлических материалов наноматериалов на основе нанопроволок оксида цинка перспективно применение импульсно-периодического лазерного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kolahalam, L.A. Review on nanomaterials: Synthesis and applications / L.A. Kolahalam, I.V. Kasi Viswanath, B.S. Diwakar, B. Govindh, V. Reddy, Y.L.N. Murthy // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 18. – P. 2182-2190. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.371.
[2] Diao, F. Transition metal oxide nanostructures: premeditated fabrication and applications in electronic and photonic devices / F. Diao, Y. Wang // *Journal of Materials Science*. – 2018. – Vol. 53(6). – P. 4334-4359. DOI: 10.1007/s10853-017-1862-3.

[3] Malik, R. Functional gas sensing nanomaterials: A panoramic view / R. Malik, V.K. Tomer, Y.K. Mishra, L. Lin // *Applied Physics Reviews*. – 2020. – Vol. 7(2). – P. 021301. DOI: 10.1063/1.5123479.
[4] Song, H.C. Engineering nanoscale interfaces of metal/oxide nanowires to control catalytic activity / H.C. Song, G.R. Lee, K. Jeon, H. Lee, S.W. Lee, Y.S. Jung, J.Y. Park // *ACS Nano*. – 2020. – Vol. 14(7). – P. 8335-8342. DOI: 10.1021/acsnano.0c02347.
[5] Védrine, J.C. Metal oxides in heterogeneous oxidation catalysis: State of the art and challenges for a more sustainable world / J.C. Védrine // *ChemSusChem*. – 2019. – Vol. 12(3). – P. 577-588. DOI: 10.1002/cssc.201802248.
[6] Fàbrega, C. A review on efficient self-heating in nanowire sensors: Prospects for very-low power devices / C. Fàbrega, O. Casals, F. Hernández-Ramírez, J.D. Prades // *Sensors and Actuators, B: Chemical*. – 2018. – Vol. 256. – P. 797-811. DOI: 10.1016/j.snb.2017.10.003.
[7] Korotcenkov, G. Current trends in nanomaterials for metal oxide-based conductometric gas sensors: Advantages and limitations. Part I: 1D and 2D nanostructures / G. Korotcenkov // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol. 10(7). – P. 1392. DOI: 10.3390/nano10071392.
[8] Deng, Y. Semiconducting metal oxides for gas sensors / Y. Deng. – Singapore: Springer, 2019. – 246 p.
[9] Mirzaei, A. Resistive gas sensors based on metal-oxide nanowires / A. Mirzaei, J.-H. Lee, S.M. Majhi, M. Weber, M. Bechelany, H.W. Kim, S.S. Kim // *Journal of Applied Physics*. – 2019. – Vol. 126(24). – P. 241102. DOI: 10.1063/1.5118805.
[10] Hung, C.M. On-chip growth of semiconductor metal oxide nanowires for gas sensors: A review / C.M. Hung, D.T.T. Le, N. van Hieu // *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. – 2017. – Vol. 2(3). – P. 263-285. DOI: 10.1016/j.jsamd.2017.07.009.
[11] Comini, E. Metal oxides nanowires chemical/gas sensors: recent advances / E. Comini // *Materials Today Advances*. – 2020. – Vol. 7. – P. 100099. DOI: 10.1016/j.mtadv.2020.100099.
[12] Amiri, V. Nanostructured metal oxide-based acetone gas sensors: A review / V. Amiri, H. Roshan, A. Mirzaei, G. Neri, A.I. Ayyesh // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20(11). – P. 3096. DOI: 10.3390/s20113096.
[13] Wang, Y. Electrically transduced gas sensors based on semiconducting metal oxide nanowires / Y. Wang, L. Duan, Z. Deng, J. Liao // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20(23). – P. 6781. DOI: 10.3390/s20236781.
[14] Goel, S. A review on piezo-/ferro-electric properties of morphologically diverse ZnO nanostructures / S. Goel, B. Kumar // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2020. – Vol. 816. – P. 152491. DOI: 10.1016/j.jallcom.2019.152491.
[15] Borysiewicz, M.A. ZnO as a functional material, a review / M.A. Borysiewicz // *Crystals*. – 2019. – Vol. 9(10). – P. 505. DOI: 10.3390/cryst9100505.
[16] Theerthagiri, J. A review on ZnO nanostructured materials: Energy, environmental and biological applications / J. Theerthagiri, S. Salla, R.A. Senthil, P. Nithyadharseni, A. Madankumar, P. Arunachalam, T. Maiyalagan, H.-S. Kim // *Nanotechnology*. – 2019. – Vol. 30(39). – P. 392001. DOI: 10.1088/1361-6528/ab268a.
[17] Campos, A.C. Growth of long ZnO nanowires with high density on the ZnO surface for gas sensors / A.C. Campos, S.C. Paes, B.S. Correa, G.A. Cabrera-Pasca, M.S. Costa, C.S. Costa, L. Otubo, A.W. Carbonari // *ACS Applied Nano Materials*. – 2020. – Vol. 3(1). – P. 175-185. DOI: 10.1021/acsnanm.9b01888.
[18] Bhati V.S. Enhanced sensing performance of ZnO nanostructures-based gas sensors: A review / V.S. Bhati, M. Hojamberdiev, M. Kumar // *Energy Reports*. – 2020. – Vol. 6. – P. 46-62. DOI: 10.1016/j.egy.2019.08.070.
[19] Kang, Y. Review of ZnO-based nanomaterials in gas sensors / Y. Kang, F. Yu, L. Zhang, W. Wang, L. Chen, Y. Li // *Solid State Ionics*. – 2021. – Vol. 360. – P. 115544. DOI: 10.1016/j.ssi.2020.115544.
[20] Murzin, S.P. Arrays formation of zinc oxide nano-objects with varying morphology for sensor applications / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20(19). – P. 5575. DOI: 10.3390/s20195575.
[21] Murzin, S.P. Study of the formation of zinc oxide nanowires on brass surface after pulse-periodic laser treatment / S.P. Murzin, N.L. Kazanskiy // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – 2022. – ISPR2021. – P. 335-343. DOI: 10.1007/978-3-030-90421-0_28.