

АНТИОТРАЖАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Н.Г. Ковальчук¹, Е.А. Дронина¹, Л.П. Томашевич¹, А.В. Петров², Н.А. Каланда², С.К. Лазарук¹

¹ Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск, Республика Беларусь

²НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработан метод формирования антиотражающих покрытий на основе углеродных нанотрубок. Метод основан на химическом осаждении из газовой фазы, состоящей из аргона, паров этанола и раствора железосодержащего катализатора феррацена при температурах в реакторе до 200°C. Исследования спектров комбинационного рассеивания света и электронной микроскопии показали наличие одностенных углеродных нанотрубок в синтезированных пленках. Спектры зеркального отражения показали менее 1% от падающего светового сигнала.

Ключевые слова: антиотражающие покрытия; углеродные нанотрубки; спектры отражения; наноструктуры; осаждение из газовой фазы.

CARBON NANOTUBE-BASED ANTI-REFLECTIVE COATINGS FOR PHOTONSENSITIVE DEVICES

N.G. Kovalchuk¹, E.A. Dronina¹, L.P. Tomashevich¹, A.V. Petrov², N.A. Kalanda², S.K. Lazarouk¹

¹ Educational Institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, Minsk, Republic of Belarus

²Scientific-Practical Materials Research Centre of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A method for forming antireflective coatings based on carbon nanotubes has been developed. The method is based on chemical vapor deposition, consisting of argon, ethanol

vapor, and a solution of iron-containing ferracene catalyst at reactor temperatures of up to 200°C. Raman and electron microscopy studies revealed the presence of single-walled carbon nanotubes in the synthesized films. Specular reflectance spectra showed less than 1% of the incident light signal.

Keywords: anti-reflective coatings; carbon nanotubes; reflectance spectra; nanostructures; chemical vapor deposition.

Антиотражающие покрытия используются для управления световым сигналом в различных оптоэлектронных фоточувствительных устройствах [1-8]. Также поглощение оптического сигнала востребовано с целью маскирования объектов при их обнаружении за счет регистрации отраженного электромагнитного сигнала, что позволяет относить антиотражающие покрытия к техническим средствам защиты информации.

В данной работе проведено исследование антиотражающих свойств пленок на основе углеродных нанотрубок, сформированных химическим осаждением из газовой фазы на титановые подложки.

Химическое осаждение углеродных нанотрубок из газовой фазы проводилось в реакторе, включающем как горячую (1050 °C), так и холодную зоны (< 200 °C). Рабочий газ аргон вместе с парами этанола и раствора железосодержащего катализатора феррацена подавались в горячую зону реактора, после чего в холодной зоне на кремниевых подложках были сформированы пленки из одностенных углеродных нанотрубок (ОСУНТ). После охлаждения до комнатной температуры поверхность пленок из ОСУНТ обрабатывали этанолом для увеличения плотности массива нанотрубок в пленке и улучшения их адгезии к титановым подложкам. Структура сформированных пленок из ОСУНТ исследовались с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света и электронной микроскопии. Спектры отражения измерялись при помощи спектрометра Proscan MC 122.

Исследование спектров комбинационного рассеивания в исследуемых пленках показало наличие характерного G-пика, D-пика, 2D-пика и пиков RBM моды, что свидетельствует о присутствии одностенных углеродных трубок в синтезированных пленках. Углеродные нанотрубки имеют нитевидную структуру с диаметром нитей нанометрового диапазона. Спектры измеряли как в режиме зеркального отражения, так и в режиме диффузионного отражения с учетом диффузионного рассеяния. При зеркальном отражении регистрируется менее 1% от падающего светового сигнала, в то время как диффузное отражение регистрируется в диапазоне 4-5%, что свидетельствует о диффузном рассеивании падающего светового сигнала. Тем не менее, достигнутые уровни отражения свидетельствуют о высокой эффективности функционирования исследуемых пленок в качестве антиотражающих покрытий, что представляет интерес для их использования в различных электронных устройствах.

Таким образом, разработан метод формирования антиотражающих покрытий на основе углеродных нанотрубок для снижения отражения оптического сигнала, что может быть использовано для управления световыми потоками в устройствах интегральной оптики, а также при маскировании объектов в качестве технических средств защиты информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (проект № T25ИНДА-004).

Список использованных источников / References

1. Monica S. La, Maiello G., Ferrari A., Masini G., Lazarouk S., Jaguiro P., et al. (1997) Progress in the field of integrated optoelectronics based on porous silicon. *Thin Solid Films*. 297 (1-2), 265-267.
2. Lazarouk S.K., Leshok A.A., Kozlova T.A., Dolbik A.V., Vi L.D., Ilkov V.K., et al. (2019) 3D Silicon Photonic Structures Based on Avalanche LED with Interconnections Through Optical Interposer. *International Journal of Nanoscience*. 18 (3-4), 1940091.
3. Lazarouk S., Bondarenko V., Pershukevich P., Monica S. La, Maiello G. (1994) Visible Electroluminescence from Al-Porous Silicon Reverse Bias Diodes Formed on the Base of Degenerate n-Type Silicon. *MRS Online Proceedings Library Archive*. 358, 659-664.
4. Lazarouk S. K., Sasinovich D. A., Katsuba, P. S., Labunov V. A., Leshok A. A., Borisenko V. E. (2007) Electroluminescence from nanostructured silicon embedded in anodic alumina. *Semiconductors*. 41 (9), 1109-1112.
5. Bertolotti M., Carassiti F., Fazio E., Ferrari A., Monica S. La, Lazarouk S., et al. (1995) Porous silicon obtained by anodization in the transition regime. *Thin Solid Films*. 255 (1-2), 152-154.
6. Lazarouk S., Jaguiro P., Katsouba S., Monica S. La, Maiello G., Masini G., et al. (1996) Visible light from aluminum-porous silicon Schottky junctions. *Thin Solid Films*. 276 (1-2), 168-170.
7. Lazarouk S., Jaguiro P., Katsouba S., Masini G., Monica S. La, Maiello G., et al. (1996) Stable electroluminescence from reverse biased n-type porous silicon-aluminum Schottky junction device. *Applied Physics Letters* 68, 2108-2110.
8. Lazarouk S., Muravski A., Sasinovich D., Chigrinov V., Kwok H. S. (2007) Porous and pillar structures formed by anodization for vertical alignment of nematic liquid crystal. *Japanese Journal of Applied Physics*. 46 (10R), 6889.

Сведения об авторах

Ковальчук Н.Г., старший научный сотрудник НИЛ 4.6, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Дронина Е.А., научный сотрудник НИЛ 4.6, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Томашевич Л.П., научный сотрудник НИЛ 4.6, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Петров А.В., кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, petrov@physics.by.

Каданда Н.А., доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, kalanda@physics.by.

Лазарук С.К., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий НИЛ 4.6, учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», serg@nano.bsuir.edu.by.

Information about the authors

Kovalchuk N., Senior Researcher, Research Lab 4.6, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics"

Dronina E., Researcher, Research Lab 4.6, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics"

Tomashevich L., Researcher, Research Lab 4.6, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".

Petrov A., PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Senior Researcher, Scientific and Practical Center for Materials Science, National Academy of Sciences of Belarus.

Kadanda N., DSc (Physics and Mathematics), Associate Professor, Leading Researcher, Scientific and Practical Center for Materials Science, National Academy of Sciences of Belarus, kalanda@physics.by.

Lazarouk S., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Head of Research Lab 4.6, Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", serg@nano.bsuir.edu.by.