

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

УДК 535.37; 535,39

Парафинюк
Дарья Александровна

Золь-гель синтез и оптические свойства одномерных фотонных кристаллов,
содержащих ионы европия

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы (в
электронике)»

Научный руководитель
Гапоненко Николай Васильевич
Доктор физико-математических наук,
профессор

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Фотонные кристаллы получили широкое развитие и использовались в области микроэлектроники, биосенсорики, аккумуляции энергии. Одномерные ФК, представляющие собой многослойные пленочные структуры, также нашли широкое применение в лазерной технике и оптическом приборостроении – в качестве лазерных зеркал, просветляющих покрытий, интерференционных фильтров и др. Кроме того, компоненты таких покрытий (слои) могут содержать люминесцирующие ионы лантаноидов, излучающие в различных областях спектра.

На ряду с появлением концепции фотонных кристаллов и фотонной запрещенной зоны начали эффективно развиваться и технологии их изготовления в соответствии с различными свойствами материалов и функциональных требований к фотонным устройствам.

На сегодняшний день существуют различные способы формирования ФК, которые также имеют свои преимущества и недостатки. Одномерные фотонные кристаллы имеют многослойную структуру, построенную путем чередования слоев с высоким показателем преломления и слоев с низким показателем преломления. Одномерные фотонные кристаллы, также называемые четвертьволновыми брэгговскими отражателями, обычно формируются тонкопленочным осаждением либо микропористым травлением.

В данной работе золь-гель технология рассматривается как способ формирования одномерных фотонных кристаллов, которые представляют собой оптические резонаторы, фильтры, и т.д., состоящие из диэлектрических или металл-диэлектрических материалов, отличающихся показателем преломления. Также преимущества и особенности золь-гель технологии будут рассмотрены более подробно в данной работе.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью данной работы являлось определение физико-химических закономерностей синтеза многослойных регулярных структур интерференционных фильтров, представляющих собой одномерные ФК, золь-гель методом, а также исследование их оптических свойств.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи исследования:

- 1) Определить влияние типа подложки на оптические свойства готовых структур и люминесценцию инкорпорированных ионов европия.
- 2) Определить влияние концентрации ионов европия в золе титаната бария на люминесценцию многослойных структур.
- 3) Определить влияние морфологии многослойных структур на их оптические свойства.
- 4) Определить влияние условий синтеза на оптические свойства многослойных структур.

В работе описан физический принцип одномерного фотонного кристалла и фотонной запрещенной зоны, а также способы формирования таких материалов. Подробно рассмотрены химические принципы золь-гель синтеза на примере образования золя диоксида титана. Рассмотрен основной химический фактор, влияющий на золь-гель процесс, а именно на реакции гидролиза и конденсации. Также представлена методика формирования одномерных ФК золь-гель методом, описана технология синтеза золь-гель и процесс формирования многослойных структур.

Представлены результаты исследования однослойных и многослойных периодических тонких пленок, сформированных на кварцевом стекле и монокристаллическом кремнии.

Положение, выносимое на защиту

Золь-гель технология позволяет формировать пленочные многослойные периодические структуры из золь-гель титаната бария, содержащего ионы европия с концентрацией 0,1 моль/л, и оксида кремния, при температуре

отжига от 450 до 900 С, проявляющие фотонно-кристаллические свойства, и характеризующиеся наличием перестраиваемых в зависимости от условий синтеза совпадающих полос максимального отражения и минимального пропускания в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн, перспективные для создания интерференционных фильтров (при формировании на оптически прозрачных подложках) и других компонентов микро-и наноэлектроники (при формировании на монокристаллическом кремнии).

Библиотека БГУИР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружено влияние концентрации ионов европия в золе титаната бария на интенсивность люминесценции европия так, что с увеличением концентрации европия от 0,025 до 0,1 моль/л интенсивность люминесценции готовой однослойной структуры возрастает в 2 раза. Данную зависимость следует учитывать при изготовлении люминофоров на основе титаната бария, легированного европием.

Обнаружено влияние подложки на интенсивность люминесценции европия в золе титаната бария, в однослойных и многослойных периодических структур так, что интенсивность люминесценции европия однослойных и многослойных периодических структур, сформированных на монокристаллическом кремнии выше чем для структур, сформированных на кварцевом стекле. Данная закономерность объясняется тем, подложка из монокристаллического кремния способствует формированию кристаллической структуры в тонких пленках, что следует учитывать в технологическом процессе при изготовлении люминофоров.

Представленные результаты исследования оптических свойств многослойных структур, состоящих из двух золь – титаната бария $BaTiO_3$, легированного европием, и оксида кремния SiO_2 . Обнаружена зависимость оптических свойств многослойных структур от морфологии структуры: отмечено формирование полосы непрозрачности (фотонной запрещенной зоны) в области диапазона видимых длин волн для структуры, содержащей шесть чередующихся слоев $BaTiO_3:Eu/SiO_2$, а при увлечении количества слоев в структуре, область непрозрачности смещается в область инфракрасного излучения. Обнаруженная зависимость положения полосы непрозрачности от морфологии многослойной структуры позволит создавать интерференционные фильтры, способные перераспределять направление излучения в структуре в заданном диапазоне длин волн.

Также обнаружена зависимость оптических свойств многослойных структур от температуры отжига: увеличение температуры отжига

многослойной структуры на кремнии приводит к уменьшению максимума отражения и его смещению в инфракрасную область оптического диапазона длин волн. Интенсивность люминесценции для образца с температурой отжига 1000 °С превышает в ~4 раза интенсивность образцов с другими температурами отжига.

Анализ структурных свойств показал кристалличность тонких пленок в кубической фазе, которая формируется во время отжига при температурах от 450 до 800 °С, а при термической обработке 1000 °С наблюдается сужение основных пиков на спектрах рентгеновских дифрактограмм и смещение основных пиков по шкале градусов, что связано с фазовым переходом, и наблюдается проявление гексагональной фазы.

Полученные результаты исследования многослойных периодических структур $\text{BaTiO}_3:\text{Eu}/\text{SiO}_2$, представляющих собой одномерные фотонные кристаллы, сформированные на кварцевом стекле и монокристаллическом кремнии, представляют интерес ввиду возможности управления оптическими свойствами интерференционных фильтров, перспективных при формировании приборных структур микроэлектроники и нанофотоники.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи

1. Оптические свойства многослойных периодических структур $BaTiO_3$: Eu/SiO_2 / Д.А. Парафинюк [и др.] // Доклады БГУИР. – 2019. – № 7 (125). – С. 95-100.

2. Eu luminescence from $BaTiO_3/SiO_2$ multilayer xerogel structures / D. Parafinyuk [et. al.] // Journal of Advanced Dielectrics. – 2020. – Vol. 10, №1. – P. 2050005 (4 page).

3. Парафинюк, Д.А. Многослойные периодические структуры $BaTiO_3/SiO_2$, получаемые золь-гель методом, для интерференционных фильтров / Д.А. Парафинюк // Доклады БГУИР. – 2020. (в печати)

Материалы и труды конференций

4. Парафинюк, Д. А. Оптические свойства многослойных структур сформированных золь-гель методом / Д. А. Парафинюк, П. А. Холов, К. С. Сукалин, Т. Ф. Райченко, Н. В. Гапоненко // Физика конденсированного состояния: материалы XXVII Междунар. науч.-практ. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 18 апреля 2019 г. / редкол.: В. Г. Барсуков [и др.] – Гродно: ГрГУ, 2019. – С. 67–69.

5. Наноструктурированные алюмоиттриевые композиты, легированные ионами лантаноидов: технология получения и люминесцентные свойства / Ю. Д. Корнилова, Л. С. Хорошко, Н. В. Гапоненко, М. В. Руденко, К. С. Сукалин, П. А. Холов, Д. А. Парафинюк, М. В. Степихова, А. Н. Яблонский, К. Е. Кудрявцев. // Нанопластика и наноэлектроника : труды XXIII Междунар. симп., Нижний Новгород, 11–14 марта 2019 г. : в 2 т. // Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2019. – Т. 2. – С. 718–719

6. Спектры возбуждения и кинетика ФЛ ионов Er^{3+} и Yb^{3+} в наноструктурированных алюмоиттриевых композитах / А. Н. Яблонский, К. Е. Кудрявцев, М. В. Степихова, Л. С. Хорошко, Н. В. Гапоненко, М. В. Руденко, Ю. Д. Корнилова, К. С. Сукалин, П. А. Холов,

Д. А. Парафинюк // Нанозфизика и нанозлектроника : труды XXIII Междунар. симп., Нижний Новгород, 11–14 марта 2019 г. : в 2 т. // Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2019. – Т. 2. – С. 900–901.

7. Парафинюк, Д.А. Влияние подложки на люминесценцию трехвалентного европия в матрице титаната бария / Д.А. Парафинюк, Т.Ф. Райченко // Аморфные и микрокристаллические полупроводники: 12-я междунар. конф., Санкт-Петербург / ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН (в печати)

8. Парафинюк Д.А. Влияние температуры отжига на структурные свойства многослойных пленок BaTiO₃ / Д.А. Парафинюк, Н.В. Гапоненко, Ю.В. Радюш // Мокеровские чтения: 11-я Междунар. научно-практ. конф. по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ электроники, Москва, 20-21 мая 2020 г., / Нац. иссл. яд. ун-т "МИФИ" (в печати)

Тезисы докладов на научных конференциях

9. Парафинюк, Д. А. Оптические спектры сформированных золь-гель методом интерференционных фильтров / Д. А. Парафинюк // 55-я юбилейная конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 22–26 апр. 2019 г. : тез. докл. – Мн. : БГУИР, 2019. – С. 229.

10. Synthesis and optical properties of sol-gel derived BaTiO₃/SiO₂ multilayer coatings / P. A. Kholov, D. A. Parafinyuk, Y. D. Karnilava, N. V. Gaponenko, T. F. Raichenok // Item P-12 in Poster session program of International conference «EuroDisplay 2019», September 16–20, 2019, Minsk, Belarus

11. Sol-gel synthesis and luminescence of optically anisotropic structures doped with lanthanides / N. V. Gaponenko, P. A. Kholov, Y. D. Karnilova, D. A. Parafiniuk, T. F. Raichenok, S. Ya. Prislopski // International Workshop on Advanced Dielectric and Ferroelectric Materials and Devices : book of abstracts, China, Xi'an, October 17–20, 2019 / Xi'an Jiaotong Univ., 2019. – P. 48.

12. Парафинюк, Д.А. Оптические свойства содержащих ионы европия многослойных структур, сформированных золь-гель методом / Д.А.

Парафинюк // Междунар. зимняя школа по физике полупроводников, С.-Петербург – Зеленогорск, 27 фев.–2 марта 2020 г. : науч. сообщения молодых ученых – С.-Петербург: ФТИ им. Иоффе, 2020. – С. 16-17.

13. Парафинюк, Д. А. Морфологические и оптические свойства тонких пленок Al_2O_3 , получаемых золь-гель методом / Д. А. Парафинюк, Е.И. Лашковская // 56-я юбилейная конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 18–20 мая 2020г. : тез. докл. – Мн. : БГУИР, 2020. – С. 85-86.

Акты внедрения в учебный процесс

Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы по теме магистерской диссертации «Золь-гель синтез легированных лантанидами одномерных фотонных кристаллов» в учебный процесс БГУИР от 14.10.2019.