

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНАТА БАРИЯ

Normuradov M., Davlatov M*, Bozorova N

Каршинский государственный университет. Карши 180100. Узбекистан

* E-mail: muzaffar.davlatov.83@mail.ru ORCID: 0000-0002-1160-7831.

Аннотация:

В данной работе исследовано формирование тонких слоев оксида металла, полупроводникового соединения (BaTiO_3) в установке магнетронного распыления EPOS PVD DESK PRO в радиочастотном режиме, их аморфная и кристаллическая фазы, структурное строение и оптические свойства. Первоначально тонкие пленки BaTiO_3 были сформированы методом радиочастотного магнетронного распыления с круглой мишени из титаната бария диаметром 76,2 мм. Проведен рентгенофазовый анализ соединения BaTiO_3 , дисперсионный спектр имеет показатель преломления 2,4 при волновом числе 821,68 см⁻¹. В результате обработки полученных спектров с помощью инфракрасного спектрофотометра определено, что ширина запрещенной зоны полупроводникового соединения составляет 3,15 эВ. Проанализированы рентгеновские и инфракрасные спектры поглощения и пропускания порошка BaTiO_3 , относящегося к семейству перовскитов, и одной из актуальных задач является приготовление мишени для радиочастотного магнетронного распыления. В электронной промышленности эти перовскитные соединения могут служить ценной добавкой для улучшения различных элементов памяти и диэлектрических слоев солнечных батарей.

Ключевые слова: титанат бария, магнетронное распыление, кристаллическая фаза, аморфная фаза, спектры поглощения, ширина запрещенной зоны.

OPTICAL PROPERTIES OF BARIUM TITANATE

Normuradov M., Davlatov M*, Bozorova N

Karshi State University. Karshi 180100. Uzbekistan

* E-mail: muzaffar.davlatov.83@mail.ru ORCID: 0000-0002-1160-7831

Abstract: In this paper, the formation of thin layers of metal oxide, a semiconductor compound (BaTiO_3) in the EPOS PVD DESK PRO magnetron sputtering setup in the radio frequency mode, their amorphous and crystalline phases, structural structure and optical properties were studied. Initially, BaTiO_3 thin films were formed by radio frequency magnetron sputtering from a round barium titanate target with a diameter of 76.2 mm. X-ray phase analysis of the BaTiO_3 compound was carried out, the dispersion spectrum has a refractive index of 2.4 at a wave number of 821.68 cm⁻¹. As a result of processing the obtained spectra using an infrared spectrophotometer, it was determined that the band gap of the semiconductor compound is 3.15 eV. The X-ray and infrared absorption and transmission spectra of BaTiO_3 powder, which belongs to the perovskite family, are analyzed, and one of the urgent tasks is to prepare a target for radio frequency magnetron sputtering. In the electronics industry, these perovskite compounds can serve as a valuable additive for improving various memory elements and dielectric layers of solar cells.

Keywords: barium titanate, magnetron sputtering, crystalline phase, amorphous phase, absorption spectra, band gap.

БАРИЙ ТИТАНАТНИНГ ОПТИК ХОССАЛАРИ

Normuradov M., Davlatov M*, Bozorova N

Qarshi davlat universiteti. Qarshi 180100. O'zbekiston

* E-mail: muzaffar.davlatov.83@mail.ru ORCID: 0000-0002-1160-7831.

Аннотатсия: Ushbu ishda radiochastota rejimida EPOS PVD DESK PRO magnetronli chayqatish moslamasida yarimo'tkazgichli birikma (BaTiO_3) bo'lgan metall oksidining yupqa qatlamlarining hosil bo'lishi, ularning amorf va kristall fazalari, struktura tuzilishi va optik xossalari o'rganildi. Dastlab, BaTiO_3 yupqa plyonkalari diametri 76,2 mm bo'lgan dumaloq bariy titanat nishonidan radiochastotali magnetronning chayqalishi natijasida hosil bo'lgan. BaTiO_3 birikmasining rentgen fazali tahlili o'tkazildi; Olingan spektrlarni infraqizil spektrofotometr yordamida qayta ishlash natijasida yarimo'tkazgich birikmasining tarmoqli oralig'i 3,15 eV ekanligi aniqlandi. Perovskitlar oilasiga mansub BaTiO_3 kukunining rentgen va infraqizil yutilish va uzatish spektrlari tahlil qilindi va dolzarb muammolardan biri radiochastotali magnetronli chayqalish uchun nishonni tayyorlashdir. Elektron sanoatida bu perovskit birikmalari turli xil xotira elementlarini va quyosh batareyalarining dielektrik qatlamlarini yaxshilash uchun qimmatli qo'shimcha sifatida xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar: bariy titanat, magnetronli sochilish, kristal faza, amorf faza, yutilish spektrlari, tarmoqli bo'shliq.

1. ВВЕДЕНИЕ

Формирование высококачественных тонких пленок, таких как пленки оксидов металлов и полупроводников, методами PVD широко признано одним из наиболее перспективных методов. Такие параметры распыления, как давление осаждения, мощность радиочастот, тип подложки и температура, оказывают существенное влияние на морфологию тонких пленок. Более того, производство различных микроэлектронных элементов на основе этих пленок является одной из актуальных проблем. Однако они широко используются в оптоэлектронике, солнечных батареях, фотовольтаике и других областях. Создание новых устройств на основе тонких наноразмерных пленок требует детального знания механизма их роста, особенно на начальных этапах [1-3]. Тонкие пленки BaTiO_3 весьма перспективны для широкого спектра приложений, таких как конденсаторы с высокой диэлектрической проницаемостью, изолирующие поверхностные слои, энергонезависимая память с низким напряжением переключения, динамическая память, термисторы с положительным температурным коэффициентом, датчики и электрооптические устройства. Благодаря желаемым свойствам и возможностям применения синтез наночастиц BaTiO_3 и их тонких пленок привлек большое внимание исследователей в последние несколько десятилетий [4].

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Вначале поверхности подложек прозрачного стекла и кремниевых пластин механически очищались 30% разбавленной плавиковой кислотой, затем стеклянные и кремниевые поверхности снова очищались ионизирующими газами аргона внутри камеры с помощью устройства очистки «ионная пушка», установленного в камере магнетрона. С помощью молекулярного турбонасоса в камере магнетронного устройства EPOS-PVD-DESK-PRO создавался высокий вакуум при давлении $9,6 \times 10^{-9}$ Торр. Вакуум в среде аргона составляет $3,2 \times 10^{-4}$ Торр. Для формирования пленки BaTiO_3 использовалась стандартная круглая мишень диаметром 76,2 мм. Расстояние между мишенью и основанием изменялось до 7÷15 (см). Скорость осаждения тонких пленок составляет $\sim 3,5 \div 4,0$ Å/сек. D=70% и частота 100 кГц использовались в режиме RF с переменным реактивным импульсом. Толщина пленки контролируется кварцевым датчиком Gold-10. Толщина пленки составила 60÷120 нм. Фурье-инфракрасный спектрофотометр (Фурье-ИКС) — надежный, компактный и простой в эксплуатации прибор, позволяющий проводить качественный и количественный анализ широкого спектра газов, твердых образцов и жидкостей. Для измерений использовался интерферометр IRTracer-100 компании Shimadzu (Япония). Интерферометр Майкельсона имеет систему динамического численного выравнивания элементов с отношением сигнал/шум 30000:1. Специализированное программное обеспечение, в том числе высокоскоростное ПО

«Лаборатория — ИК», дополнено системами «анализа смесей» и «определения веществ», а также системами анализа и обработки данных.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно из литературы, индексы Миллера применимы во всех сингониях. С ростом индекса Миллера межплоскостное расстояние уменьшается [5]. Обработка данных рентгеновской дифракции проводилась с помощью программы Fullprof. Результаты измерений и обработки рентгеноструктурных данных представлены на рис. 3. Обработка данных рентгеновской дифракции BaTiO₃ методом полного профиля показала, что образец имеет кубическую структуру (пространственная группа Pm-3m) со следующими параметрами решетки: $a = 4,0018 \text{ \AA}$, $b = 4,0018 \text{ \AA}$, $c = 4,0018 \text{ \AA}$, и положениями и координатами атомов в элементарной ячейке [6].

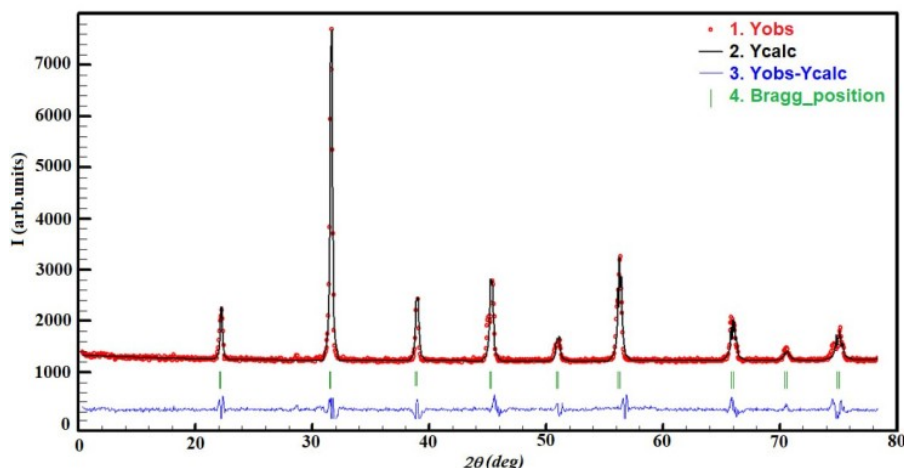


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма образца BaTiO₃.

На рисунке 1 представлена рентгенограмма BaTiO₃ при нагревании до 400°C. В результате анализа рентгеновской фазы, нагретой до 400°C, видно, что имеются пики в разных градусах при 22,19, 31,59, 38,49, 45,28, 50,98, 56,26, 65,97, 70,54, 74,54, 75,08 и 79,3. Основной идеальный пик наблюдается под углом 31,59° (направление 101). При нагревании до 400°C угол пиков на изображении не изменился, но изменилась интенсивность. Выделение некоторых легких летучих элементов при нагревании и кристаллизации можно объяснить кристаллизацией образца. В этом рентгенофазовом анализе [7] образец, нагретый до 850 оС, можно увидеть в рентгенофазовом анализе пики, появляющиеся под определенными углами, хотя пики очень малы по интенсивности и контрасту. Результаты анализа, измеренные при комнатной температуре и 400°C, показывают, что интенсивности пиков изменялись в 2,46 раза.

На рисунке 2 показана зависимость показателя преломления титаната бария от волнового числа. Пятно на этом снимке показывает дисперсионный спектр пленки, которая имеет показатель преломления 2,4 при волновом числе 821 см⁻¹.

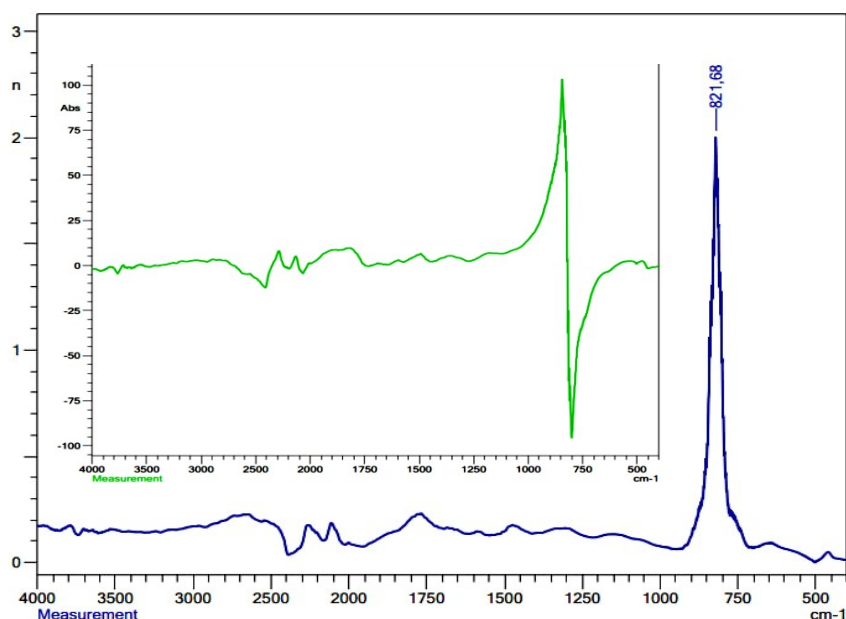


Рис. 2. Зависимость показателя преломления титаната бария от длины волны.

На основании спектров поглощения и пропускания, полученных с помощью инфракрасного Фурье-спектрофотометра, характерные колебания соединения титаната бария следующие:

- пик с волновым числом 2353 см⁻¹ соответствует колебаниям связей Ba-O;
- пики при 2023 см⁻¹ и 1978 см⁻¹ соответствуют колебаниям ионной связи Ti-O;
- пик 497 см⁻¹ соответствует асимметричным изгибным колебаниям Ba-Ti.

4. ВЫВОДЫ

В данной работе изучены аморфная и кристаллическая фазы, структурное строение и оптические параметры перовскита BaTiO₃ с кубической структурой, сформированного с помощью магнетронного распылительного устройства. На основании спектров поглощения и пропускания, полученных с помощью инфракрасного Фурье-спектрофотометра, характерные колебания титаната бария следующие:

- пик с волновым числом 2353 см⁻¹ соответствует колебаниям связей Ba-O;
- пики при 2023 и 1978 см⁻¹ соответствуют колебаниям ионной связи Ti-O;
- пик 497 см⁻¹ соответствует асимметричным изгибным колебаниям Ba-Ti.

Таким образом, рентгеноструктурный анализ показал, что образец BaTiO₃ имеет кубическую структуру, а параметры решетки примерно равны и составляют 4,0018 Å. На основе анализа рентгеноструктурных и электронных свойств титаната бария установлено уменьшение межплоскостного расстояния с ростом индексов Миллера. Впервые определены степени кристалличности и аморфности образца BaTiO₃. В дальнейших исследованиях предполагается использовать данные соединения в качестве тонких пленок для солнечных батарей в радиочастотном режиме в магнетронном распылительном устройстве.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Dahlke, J. Sterling, C. Meehan. "Policy and market drivers for advancing clean energy," *Advances in Clean Energy Technologies*. 2021. P. 451-485.
- [2] H. Gao, Y. Zhang, H. Xia, X. Mao, X. Zhu, Sh. Miao, M. Shi, Sh. Zha. "The Piezo-Fenton synergistic effect of ferroelectric single-crystal BaTiO₃ nanoparticles for high-

efficiency catalytic pollutant degradation in aqueous solution,” Dalton Transactions. 2022, № 51, (31) pp. 11876 - 1188312.

[3] I.R. Bekpulatov, G.T. Imanova, B.E. Umirzakov, K.T. Dovranov, V.V. Loboda, S.H. Jabarov, I.X. Turapov, N.E. Norbutaev, Materials research innovations. 2024. Vol. 28, Iss. 4, p. 221-228.

[4] H. Wagata, T. Taniguchi, R. Gallage, A.K. Subramani, N. Sakamoto, T. Watanabe, M. Yoshimura, N. Matsushitaw. “Fabrication of BaTiO₃ Thin Films and Microdot Patterns by Halide-Free Nonaqueous Solution Route. 93 [2] 381–386 (2010).

[5] M.Yu. Tashmetov, F.K. Khallokov, N.B. Ismatov, I.I. Yuldashova, I. Nuritdinov, S.Kh. Umarov. “Study of the influence of electronic radiation on the surface, structure and Raman spectrum of a TlInS₂ single crystal,” Physica B: Condensed Matter 2021, Vol. 613, 412879.

[6] M.T. Normuradov, Sh.T. Khozhiev, L.B. Akhmedova, I.O. Kosimov, M.A. Davlatov and K.T. Dovranov. “Peculiarities of BaTiO₃ in electronic and X-Ray analysis,” E3S Web Conf. Volume 2023, 383 04068.

[7] P.A. Kholov, N.V. Gaponenko, K.V. Sheidakova, V.I. Krymsky, V.A. Filipenya, T.V. Petlitskaya, V.V. Kolos, and A.N. Petlitsky. “Capacitor structures based on barium titanate films formed by the Sol-Gel method,” Reports of BSUIR 2020, №18 (1). P .74-80.