

ПОЛУЧЕНИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНАТА КАЛЬЦИЯ ПЕРОВСКИТА

Давранов Х.Т.*, Нормурадов М.Т., Довранов К.Т.,
Каршинский государственный университет. Карши 180100. Узбекистан
* E-mail: xujamkuldt@mail.ru, ORCID:0000-0002-2373-3026.

Аннотация:

В этой работе мы успешно изготовили соединение перовскита титаната кальция. Полученное соединение CaTiO_3 исследовали путем приготовления образцов путем его прессования в порошкообразном состоянии и с помощью устройства Пуассона. Расстояние между плоскостями d_{hkl} , индексы Миллера (hkl), степень кристалличности и аморфизма, структуру и параметры решетки соединения перовскита титаната кальция определяли с помощью рентгеновского дифрактометра. Также по результатам ИК-Фурье анализа подтверждено образование перовскита CaTiO_3 в результате исследования молекулярных колебаний. Основные широкие пики наблюдаются в диапазоне $680\div 400\text{ см}^{-1}$, полоса поглощения с волновым числом $543,93\text{ см}^{-1}$ соответствует специфическим валентным колебаниям связей Ti-O и указывает на образование перовскита CaTiO_3 . Типовая структура подразумевает. По результатам этих измерений в будущем можно будет использовать полупроводниковые соединения для создания нанопленок методом магнетронного распыления.

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ, индексы Миллера, межплоскостное расстояние, титанат кальция, кристаллические и аморфные фазы, ИК-Фурье.

PREPARATION, OPTICAL AND STRUCTURAL PROPERTIES OF CALCIUM TITANATE COMPOUND PEROVSKITE

Davranov X.T.*, Normuradov M.T., Dovranov K.T.,
Karshi State University. Karshi 180100. Uzbekistan
* E-mail: xujamkuldt@mail.ru, ORCID:0000-0002-2373-3026.

Abstract: In this work, we have successfully fabricated a calcium titanate perovskite compound. The resulting CaTiO_3 compound was studied by preparing samples by compacting it in a powder state and using a Pousson device. The distance between the planes d_{hkl} , Miller indices (hkl), degree of crystallinity and amorphism, structure and lattice parameters of the calcium titanate perovskite compound were determined using an X-ray diffractometer. Also, according to the results of FT-IR analysis, the formation of CaTiO_3 perovskite is confirmed as a result of the study of molecular vibrations. The main broad peaks are observed in the range of $680\div 400\text{ cm}^{-1}$, the absorption band at the wave number of $543,93\text{ cm}^{-1}$ corresponds to the specific stretching vibrations of Ti-O bonds and indicates the formation of the CaTiO_3 perovskite type structure implies. Based on the results of these measurements, it will be possible to use semiconductor compounds in the future to create nanofilms by magnetron sputtering.

Keywords: X-ray phase analysis, Miller indices, interplanar distance, calcium titanate, crystalline and amorphous phases, FTIR.

KALTSIY TITANAT PEROVSKIT BIRIKMASINI TAYYORLANISHI, OPTIK VA STRUKTURAVIY XUSUSIYATLARI

Davranov X.T.*, Normuradov M.T., Dovranov K.T.,
Qarshi davlat universiteti. Qarshi 180100. O'zbekiston
* E-mail: xujamkuldt@mail.ru, ORCID:0000-0002-2373-3026.

Annotatsiya: Ushbu ishda biz kaltsiy titanat perovskit birikmasini muvaffaqiyatli ishlab chiqdik. Hosil bo'lgan CaTiO_3 birikmasi namunalar tayyorlash, uni kukun holiga keltirish va Pousson qurilmasi yordamida o'rganildi. Rentgen difraktometri yordamida tekisliklar orasidagi masofa d_{hkl} , Miller indekslari (hkl), kristallik va amorfizm darajasi, kaltsiy titanat perovskit birikmasining tuzilishi va panjara parametrlari aniqlandi. Shuningdek, FT-IR tahlili natijalariga ko'ra molekulyar tebranishlarni o'rganish natijasida CaTiO_3 perovskit hosil bo'lishi tasdiqlandi. Asosiy keng cho'qqilar $680\div 400\text{ sm}^{-1}$ oralig'ida kuzatiladi, to'lqin soni $543,93\text{ sm}^{-1}$ bo'lgan yutilish zonasi Ti-O bog'larining o'ziga xos cho'zilish tebranishlariga mos keladi va perovskit CaTiO_3 hosil bo'lganligini ko'rsatadi. Oddiy tuzilma nazarda tutadi. Ushbu o'lchovlar natijalariga ko'ra, kelajakda yarimo'tkazgichli birikmalardan magnetronli püsürtme yordamida nanofilmlarni yaratish uchun foydalanish mumkin bo'ladi.

Kalit so'zlar: rentgen fazalari tahlili, Miller indekslari, tekisliklararo masofa, kaltsiy titanati, kristall va amorf fazalar, FT-IQ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наряду с бурным развитием науки и техники, потребность в энергии растет с каждым днем. В мире быстро истощаются невозобновляемые источники энергии, такие как углеводородное топливо. Поэтому человечеству необходимо найти альтернативные пути решения этих насущных проблем. Одним из наиболее эффективных способов борьбы с глобальным изменением климата являются конкретные меры, такие как замена ископаемого топлива новыми энергоэффективными материалами и возобновляемыми источниками энергии [1]. Исходя из этого, развитые страны мира ежегодно увеличивают свои инвестиции в эту сферу с целью достижения устойчивого развития новых технологий и зеленой энергетики [2]. Среди возобновляемых источников энергии фотоэлектрические генераторы являются наиболее перспективным способом замены ископаемого топлива. Фотоэлектрические генераторы основаны на свойствах и характеристиках полупроводниковых материалов и в последние годы были получены из поликристаллических и монокристаллических соединений кремния. Получение качественных тонких покрытий металлов, сплавов и полупроводников является одной из важнейших задач в технологии производства элементов интегральных схем, различных датчиков температуры и давления, микро- и нанoeлектроники в целом. В частности, полупроводниковые нанопленки узкой площади необходимы для создания термосенсоров. Силициды металлов являются одними из таких полупроводников. Поэтому получение тонкослойных и малоразмерных пленок из этих полупроводников является актуальной задачей [3].

Для получения тонкопленочных покрытий используется множество различных методов. Наиболее популярными методами вакуумного нанесения покрытий на различные типы поверхностей являются термическое испарение, электронно-лучевое испарение и различные виды ионно-плазменного напыления. При этом только методы нанесения тонких пленок основаны на распылении материала ионами тяжелых газов. К ним относятся ионно-лучевой и магнетронный методы нанесения тонкопленочных структур, которые интенсивно развиваются в последнее время [4]. Они имеют ряд преимуществ: новые материалы, возможность получения оксидов, хорошая адгезия пленки и физико-химические свойства. Особенно важно при производстве микроэлектроники и элементов солнечной энергетики необходимость использования многоструктурных покрытий типа металл-полупроводник-диэлектрик и др., что требует применения различного вакуумно-плазменного оборудования [5].

В последнее время всем известно, что представить электронику без полупроводниковых гетероструктур практически невозможно. Подобные структуры широко используются для создания светодиодов, коротковолновых фотоприемников, полупроводниковых лазеров, солнечных батарей и других изделий современной

оптоэлектроники. Важным фактором широкого использования таких устройств является невысокая стоимость и устойчивость к высоким температурным режимам. Титанат кальция является перспективным материалом для создания на его основе различных оптоэлектронных устройств. Титаната кальция представляет собой смесь оксидов кальция и титана. Кристаллическая модификация титаната кальция со структурой перовскита является сегнетоэлектрической с фоторефрактивным и пьезоэлектрическим эффектом. Титанат кальция характеризуется высокими значениями диэлектрической проводимости, на основе чего разработано несколько типов сегнетоэлектрической керамики, которая используется для создания конденсаторов, пьезоэлектрических датчиков и позисторов [6].

В данной работе мы изучаем структурные свойства и оптические спектры CaTiO_3 через свойства поглощения рентгеновских лучей и инфракрасного спектра света, физико-химические свойства.

2.1. ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Исходный материал, использованный для синтеза CaTiO_3 , имел аналитическую степень чистоты: первоначально порошок кальция (96%) смешивали с порошком оксида титана (TiO_2) в соотношении 1:1 при комнатной температуре с использованием цифровой механической мешалки в течение двух часов. Эту смесь ступенчато прокаливали путем нагревания в муфельной печи со скоростью 20 °С/мин, повышая температуру до следующей более высокой температуры до тех пор, пока не была достигнута конечная температура реакционной смеси. Полученный порошок термически нагревали в муфельной печи при температуре 800°С в течение 1 часа, затем нагревали до 1100°С еще в течение 1 часа, а затем естественным путем охлаждали до комнатной температуры путем нагревания до 1300°С в течение получаса. Полученное соединение CaTiO_3 исследовали путем приготовления образцов путем его прессования в порошкообразном состоянии и с помощью устройства Пуссона.

2.2. МЕТОДЫ

С помощью рентгеновских дифрактометров и инфракрасных спектрофотометров определяли качественный состав образца, кристаллическую структуру вещества, а также параметры элементарной ячейки (полнопрофильный анализ - метод Ритвельда), размер кристаллов поликристаллического образца (когерентный область рассеяния). Мощность рентгеновского излучения составляла 2 кВт. Результаты анализировались с использованием базы данных [7]. Глубина проникновения Cu-K α -излучения составляет около 1 мм (980 мкм) для легких элементов (углерода), нескольких микрон для тяжелых элементов (Ag, W). Для большинства неорганических веществ Cu-K α - составляет десятки микрон для простых соединений.

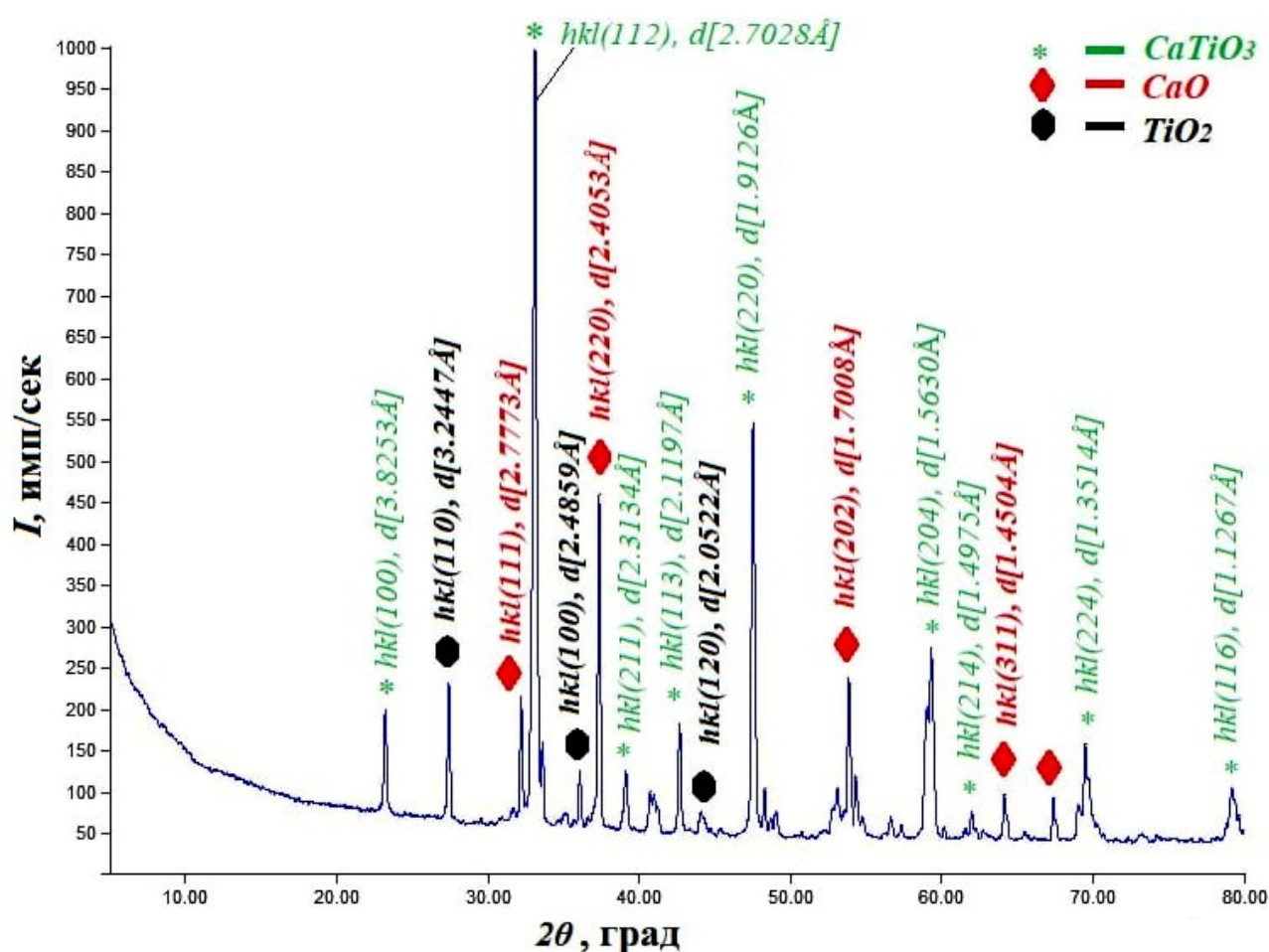
Элементный анализ проводили с использованием инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Спектры поглощения и пропускания образцов получали методом «Хэпп-Ханзеля» на спектрофотометре IRTracer-100. С целью снижения влияния молекул водяного пара (H_2O) и углекислого газа (CO_2) в образце в диапазоне 400÷4000 cm^{-1} был проведен ряд следующих поправок: сложение, сглаживание, основная коррекция нуля, нормализация, и коррекция ATR.

3.1. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

На рис. 1 представлены спектральные зависимости соединения CaTiO_3 , полученные методом порошковой дифрактометрии. Кроме того, для этих образцов приведены индексы Миллера, а также расстояние между плоскостями d_{hkl} . Для уточнения структуры по порошковым рентгеновским данным мы использовали метод Ритвельда [7]. Принцип метода заключается в использовании независимых измерений интенсивности в каждой точке дифракционной картины для описания профиля линии с помощью аналитических функций вместо использования интегральной интенсивности отражения. Параметры объекта, включая структурные, аппаратные и другие характеристики, уточняются с использованием

нелинейного метода наименьших квадратов. С помощью данного метода уточнения мы определили расстояние между плоскостями d_{hkl} и индекс Миллера (hkl). Как упоминалось выше, порошковая рентгеновская дифракция позволяет провести количественный элементный анализ.

Степень кристалличности и аморфизма образцов оценивали методом рентгеноструктурного анализа с использованием программы Search and Match [8]. Для титаната кальция аморфная фаза составляет 71,35%, кристаллическая фаза — 28,65% соответственно. Кроме того, с помощью программы «Profex» определяли фазовый состав (Масс. %) и элементный состав образца CaTiO_3 . Фазовый состав образца, подготовленного для магнетронного напыления, соответствует 90,7 % перовскита (CaTiO_3), 3,8 % титана, 5,5 % кальция. Элементный анализ образцов с помощью программы Search and Match показывает, что образцы имеют следующий состав (в массовых процентах): 35,7% Ti, 32,2% Ca и 32,0% O.



1- Рисунок. Спектральная зависимость CaTiO_3 получена методом порошковой дифрактометрии. Приведены индексы Миллера

Как известно из литературных данных [9], индексы Миллера применимы во всех синагогах. С увеличением индекса Миллера межплоскостное расстояние уменьшается [3].

На рис. 2 показано рентгеновское изображение соединения CaTiO_3 , полученное при комнатной температуре. Рентгенофазовый анализ при комнатной температуре показывает, что пики разной степени 23,22, 27,42, 32,20, 33,12, 37,36, 47,54, 53,86, 59,04, 59,32, 69,50 видны под несколькими углами. Главный идеальный пик появляется под углом 33,12 градуса (112). При нагреве до 400 К угол пиков на изображении не меняется, но меняется

интенсивность. В приведенном в литературе [10] рентгенофазовом анализе образца, нагретого до 900°C, под определенными углами могут появляться пики рентгенофазового анализа, хотя пики очень малы по интенсивности и контрасту. Результаты анализа, измеренные при 1100 °C, показывают, что интенсивность пиков изменилась в 1,5 раза.

Данные рентгеноструктурного анализа обрабатывали с помощью программы «Фуллпроф» [11]. Результаты измерений и обработки рентгеноструктурных данных представлены на рис. 2.

Обработка полнопрофильным методом данных рентгеноструктурного анализа показала, что образец имеет ромбическую структуру (пр. гр. $R\bar{3}nm$) со следующими параметрами решетки: $a = 5,3064 \text{ \AA}$, $b = 5,3531 \text{ \AA}$, $c = 7,1760 \text{ \AA}$ и позициями, координаты атомов в элементарной ячейке (табл. 2).

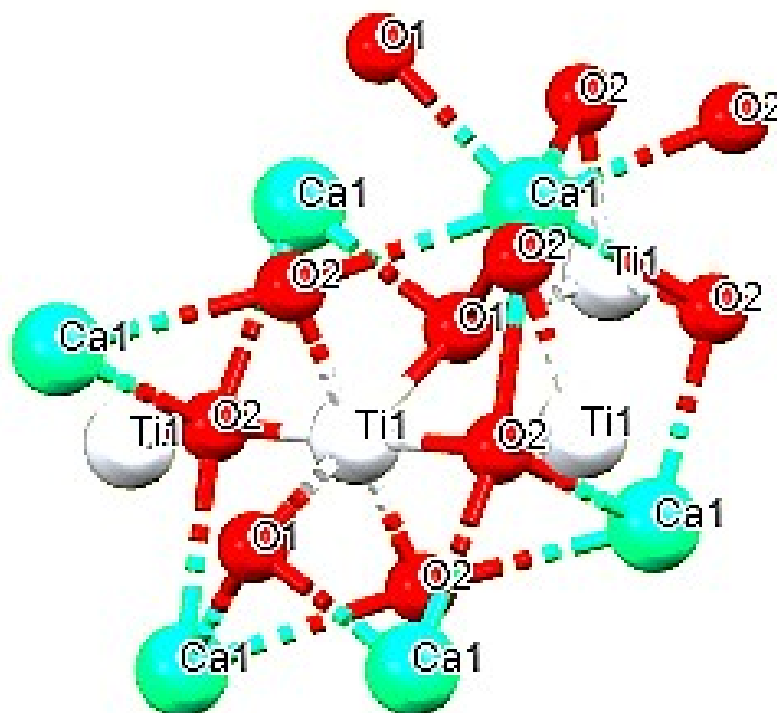


Рис.2. Кристаллическая структура (ромбическая структура пр. гр. $R\bar{3}nm$)

Таблица-2

Параметры решетки	$a / \text{\AA}$	$b / \text{\AA}$	$c / \text{\AA}$
Эта работа	5.3064	5.3531	7.1760
Литература [12]	5.380	5.443	7.640

На рис. 2 представлена кристаллическая структура CaTiO_3 титаната кальция, элементарная ячейка кристаллической решетки CaTiO_3 соответствует орторомбической пространственной группе и состоит из трех химических формул: Ca, Ti, O. Fig.2. Кристаллическая структура (ромбическая структура пр. гр. $R\bar{3}nm$)

3.2. ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Исследованы инфракрасные (ИК) спектры поглощения и пропускания порошка перовскита CaTiO_3 , многократно отожженного при разных температурах, в диапазоне $400 \div 4000 \text{ см}^{-1}$ при комнатной температуре. Спектры изменяются в зависимости от состава, температуры отжига и структурного состояния. Автокорреляционный анализ использовался

для определения изменения средней ширины линий групп пиков в первичных ИК-спектрах [13-15]. Был проведен анализ инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием (FTIR) CaTiO_3 , синтезированного при высокой температуре (1300°C), его спектр показан на рис. 3. Из спектра пропускания видно, что имеется полоса с волновым числом $3600 \div 3800 \text{ см}^{-1}$. Он соответствует симметричному и асимметричному валентному колебанию слабосвязанной воды, взаимодействующей с окружающей средой посредством водородных связей, и валентным модам О-Н, соответствующим валентным колебаниям ОН-групп с водородными связями. При увеличении мольного соотношения до 1:4 пика, указывающего на отсутствие молекул влаги и воды в данной системе, не обнаружено [16]. Поэтому мольное соотношение 1:4 является лучшим условием для безводного образования порошков перовскита CaTiO_3 . Основные широкие пики наблюдаются в диапазоне $680 \div 400 \text{ см}^{-1}$, полоса поглощения с волновым числом $543,93 \text{ см}^{-1}$ соответствует специфическим валентным колебаниям связей Ti-O, что указывает на наличие октаэдров TiO_6 и CaTiO_3 , предполагает образование структуры типа перовскита [17]. Полоса с волновым числом $435,91 \text{ см}^{-1}$ характерна для деформационных колебаний Ca-Ti-O титаната кальция. Это связано с более слабой симметричной полосой растяжения (C-O) в диапазоне $1480 \div 1380 \text{ см}^{-1}$ [18]. Наиболее сильные пики соответствуют волновым числам $543,93 \text{ см}^{-1}$, $435,91 \text{ см}^{-1}$, $420,48 \text{ см}^{-1}$, $405,05 \text{ см}^{-1}$, характерным колебаниям титаната кальция в диапазоне $910 \div 3600 \text{ см}^{-1}$ при 1100°C . его отсутствие указывает на образование чистого CaTiO_3 [19]. Это ясно показывает, что термический отжиг может быть одним из хорошо известных способов синтеза перовскитных материалов из титаната кальция. В табл. 3 представлены некоторые корреляции и интенсивности волновых чисел в спектре поглощения образца, приготовленного из стехиометрической смеси.

Таблица-3

№	Пиковая интенсивност ь	Корр. Интенсивность	База (Н)	База (L)	Область Корр.	Область	Цвет области
1	405,05	24,00	5,71	410,84	401,19	699,526	29,405
2	420,43	28,43	5,06	422,41	420,84	802,448	32,825
3	543,93	31,05	3,90	553,27	532,05	1395,688	50,320
4	858,32	23,13	23,68	857,93	857,63	6531,839	1185,06
5	1473,62	83,92	6,46	1455,11	1422,32	398,420	82,770

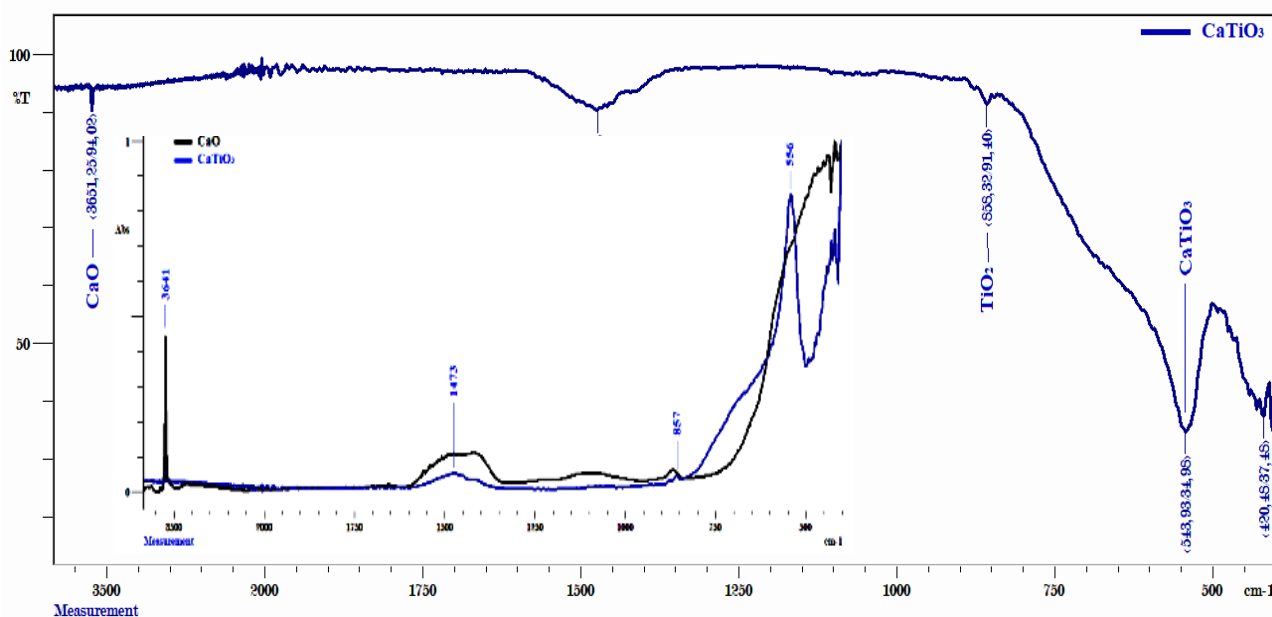


Рис. 3. FTIR-спектры пропускания и поглощения CaTiO_3 , полученного при 1300°C .

Результаты измерений рентгеновского и ИК-поглощения соединения перовскита CaTiO_3 показывают, что это один из наиболее универсальных оксидов семейства перовскитов для применения в таких областях, как электроника и фотоэлектрика, благодаря своей структурной структуре и оптическим свойствам. Поэтому важно изучение способов формирования полупроводникового материала.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественный состав соединения перовскита CaTiO_3 , образующегося при механическом смешении и термическом нагреве, аморфную и кристаллическую фазы вещества, а также его структуру изучали с помощью дифрактометра типа XDR-6100. С помощью программ обработки «Fullprof», «Profex» определяли параметры элементарной ячейки, индексы Милнера и межплоскостное расстояние образца. Было замечено, что с увеличением индекса Миллера расстояние между плоскостями уменьшалось. Для титаната кальция аморфная фаза составляет 71,35%, кристаллическая фаза — 28,65% соответственно. Фазовый состав образца соответствует 90,7 % перовскита (CaTiO_3), 3,8 % титана, 5,5 % кальция. Элементный анализ показывает, что образцы имеют следующий состав (в массовых процентах): 35,7% – Ti, 32,2% – Ca и 32,0% – O. Проведен ИК-Фурье анализ соединения CaTiO_3 . Основные широкие пики наблюдаются в диапазоне $680 \div 400 \text{ см}^{-1}$, полоса поглощения с волновым числом $538,14 \text{ см}^{-1}$ соответствует специфическим валентным колебаниям связей Ti-O и указывает на образование структуры типа перовскита CaTiO_3 , подразумевается. Полоса с волновым числом $435,91 \text{ см}^{-1}$ характерна для деформационных колебаний Ca-Ti-O титаната кальция. Наиболее сильные пики соответствуют волновым числам $543,93 \text{ см}^{-1}$, $435,91 \text{ см}^{-1}$, $420,48 \text{ см}^{-1}$, $405,05 \text{ см}^{-1}$. Отсутствие характерных колебаний титаната кальция в диапазоне $910 \div 3600 \text{ см}^{-1}$ при 1100°C указывает на образование перовскита титаната кальция. По результатам этих измерений в будущем можно будет использовать полупроводниковые соединения для создания нанопленок методом магнетронного распыления.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dahlke S., Sterling J., Meehan C. Policy and market drivers for advancing clean energy // *Advances in Clean Energy Technologies*. – 2021. – P. 451-485. DOI:10.31219/osf.io/hsbry
- [2] Grove J. Triple miracle's sees huge rise in EU funds for frontier research // *Times Higher Education*. – 2011. – V. 28.
- [3] Normuradov M.T., Khozhiev Sh.T., Dovranov K.T., Davranov Kh.T., Davlatov M.A., Khollokov F.K. Development of a technology for the production of nano-sized heterostructured films by ion-plasma deposition. *Structure of materials*. Ukr. J. Phys. 2023. Vol. 68, No.3. DOI:10.15407/ujpe68.3.210.
- [4] Giustino F., Snaith H. J. Toward lead-free perovskite solar cells // *ACS Energy Letters*. 2016. V.1. №6. pp:1233-1240. <https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.6b00499>
- [5] Nematov D.D., Burhonzoda A.S., Shokir F. Analysis of the structural characteristics and optoelectronic properties of CaTiO_3 as a non-toxic raw material for solar cells: a DFT study. *Materials Science (cond-mat.mtrl-sci)*. 2020. pp:13. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.14835>
- [6] Sharad S. Gaikwad, Ashok V. Borhade, Vishwas B. Gaikwad. A green chemistry approach for synthesis of CaTiO_3 Photocatalyst: its effects on degradation of methylene blue, phytotoxicity and microbial Study. *Scholars Research Library Der Pharma Chemica*, 2012, 4 (1):184-193
- [7] Tashmetov M.Yu., Khollokov F.K., Ismatov N.B., Yuldashova I.I., Nuritdinov I., Umarov S.Kh. Study of the influence of electronic radiation on the surface, structure and Raman spectrum of a TlInS_2 single crystal. *Phys. B* **613**, 412879 (2021).

- [8] Tashmetov M.Yu., Khallokov F.K., Ismatov N.B., Yuldashova I.I., Umarov S.Kh. Electronic irradiation of $TlInS_xSe_{2-x}$ ($x=1$): Morphology, structure and raman scattering. *Intern. J. Modern Phys. B* **35** (28), 2150289 (2021).
- [9] Smrcok L., Langer V., Halvarsson M., Ruppi S. A new Rietveld refinement of $k-Al_2O_3$. *Zeitschrift fuer Kristallographie* **216**, 409 (2001).
- [10] Weixia DONG, Qifu BAO, Xingyong GU, Gaoling ZHAO. Controlled synthesis of flower-like $CaTiO_3$ and effects of morphology on its photocatalytic activities. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. **123** [8] 643-648 2015.
- [11] Normuradov M.T., Khozhiev Sh.T., Akhmedova L.B., Kosimov I.O., Davlatov M.A., Dovranov K.T. Peculiarities of $BaTiO_3$ in electronic and X-Ray analysis. *E3S Web Conf. Volume* **383**, 2023, 04068. DOI:10.1051/e3sconf/202338304068.
- [12] Qiang Fan, Jianhui Yang, Chi Deng, Jianping Zhang, Jin Cao, "Electronic structure and optical properties of $CaTiO_3$: An ab initio study," *Proc. SPIE* **9794**, Sixth International Conference on Electronics and Information Engineering, 97942I (3 December 2015); doi: 10.1117/12.2203278
- [13] Parajuli D., Murali N., Samatha K., Shah N.L., Sharma B.R. Structural, Morphological, and Textural Properties of Coprecipitated $CaTiO_3$ for Anion Exchange in the Electrolyzer. *Journal of Nepal Physical Society. JNPS* **9** (1): 137-142 (2023). doi: <https://doi.org/10.3126/jnphysoc.v9i1.57751>
- [14] Bekpulatov I.R., Imanova G.T., Umirzakov B.E., Dovranov K.T., Loboda V.V., Jabarov S.H., Turapov I.X., Norbutaev N.E. Formation of thin $CrSi_2$ films by the solid-phase ion-plasma method and their thermoelectric properties, *Materials Research Innovations*, (09 Apr 2024). doi: 10.1080/14328917.2024.2339001
- [15] Dovranov, K.T., Normurodov, M., Davranov, Kh.T., Bekpulatov, I.R. Formation of $Mn_4Si_7/Si(111)$, $CrSi_2/Si(111)$, and $CoSi_2/Si(111)$ Thin Film and Evaluation of Their Optically Direct and Indirect Band Gap. *Ukrainian Journal of Physics*. **20** (69). 2024. doi:10.15407/ujpe69.1.20.
- [16] Massaud Mostafa, Z.A. Alrowaili, M.M. Al Shehri, M. Mobarak, Ahmed M. Abbas. Structural and Optical Properties of Calcium Titanate Prepared from Gypsum. *Journal of Nanotechnology Volume* **2022**, Article ID 6020378, 9 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/6020378>
- [17] Ashish Kumar, Christian Schuerings, Suneel Kumar, Ajay Kumar and Venkata Krishnan. Perovskite-structured $CaTiO_3$ coupled with $g-C_3N_4$ as a heterojunction photocatalyst for organic pollutant degradation. *Beilstein J. Nanotechnol.* **2018**, **9**, 671–685.
- [18] Alfonsina Abat Amelenan Torimtubun, Anniza Cornelia Augusty, Eka Maulana, Lusi Ernawati. Affordable and sustainable new generation of solar cells: calcium titanate ($CaTiO_3$) – based perovskite solar cells. *E3S Web of Conferences* **67**, 01010 3rd i-TREC 2018 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186701010>
- [19] Rizwan M., Usman Z., Shakil M. "Electronic and optical behaviour of lanthanum doped $CaTiO_3$ perovskite," *Materials Research Express*, vol. **7**, no. **1**, Article ID 015920, p. 015920, 2020.