

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ И РАДИАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛИКАТА ВИСМУТА, ПОЛУЧЕННОГО МИКРОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ

А.А. САРГСЯН*, Т.С. АЗАТЯН, Н.Б. КНЯЗЯН, Т.В. ГРИГОРЯН,
А.А. КАЗАРЯН, В.Р. АРУТЮНЯН, А.М. АСЛАНЯН, А.А. ПЕТРОСЯН,
Л.К. КОЧАРЯН, К.Н. ЭДИЛЯН, В.В. БАГРАМЯН

Институт общей и неорганической химии им М.Г. Манвеляна
НАН Армении, Ереван, Армения

*e-mail: asargis@mail.ru

(Поступила в редакцию 12 августа 2025 г.)

Разработан гидротермально-микроволновый метод синтеза метасиликата висмута из водорастворимых соединений висмута и силиката натрия. Полученный в виде нанодисперсного порошка силикат висмута имеет высокую фотокалитическую активность и радиационную стойкость. Определены характеристики синтезированного силиката висмута методами дифференциально-термического (ДТА), рентгенофазового (РФА), UV–VIS и ИК-спектроскопического анализов. В температурном интервале 600–800°C получаются кристаллические фазы силикатов висмута составов Bi_2SiO_5 , $\text{Bi}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$ и $\text{Bi}_2\text{SiO}_{20}$. Фотокалитическая активность образцов изучена в реакции деградации метиленового синего под УФ излучением. Физико-химические исследования показали, что синтезированный силикат висмута является перспективным материалом для применения в различных областях в качестве широкозонного полупроводника, фотокатализатора, а также материала для радиационной защиты. Проведенные исследования показывают эффективность микроволнового синтеза силикатов висмута: сокращается время синтеза и термообработки (3–5 раз), снижаются энергетические затраты (на 70–80%) в сравнении с традиционными методами синтеза.

1. Введение

Композиционные материалы на основе силиката висмута в последнее время привлекают интерес исследователей из-за своих особых свойств. Интерес к силикату висмута обусловлен рядом преимуществ, таких как высокая электрохимическая стабильность, термостойкость, стойкость к радиации, высокая прозрачность в видимой и ближней ИК-области, высокая диэлектрическая проницаемость, ферроэлектрические свойства, широкая запрещённая зона, фотокалитическая активность. Материалы на основе силикатов висмута благодаря экологической безопасности по сравнению с тяжёлыми металлами перспективны для замены токсичного свинца, используемого в сцинтилляторах, гамма-экранах и экологически чистых бессвинцовых сегнетоэлектриках, для радиационной защиты [1–12].

Актуальным направлением в области альтернативной энергетики является разработка новых фотокалитических процессов получения водорода, ценных

органических соединений и т. д. [13, 14]. На сегодняшний день основными проблемами в области фотокатализа являются малое поглощение света и рекомбинация носителей заряда, которые образуются под воздействием света в фотокатализаторе, что вызывает низкую активность катализатора. Так как способ синтеза значительно влияет на функциональные свойства материалов (состав, размер и форма частиц, морфология, структура), то он является определяющим фактором для их дальнейшего применения. На сегодняшний день силикаты висмута синтезируются различными методами, причем наиболее часто используются методы, основанные на твердофазных реакциях при температурах выше температур плавления силикатов висмута ($>900^{\circ}\text{C}$), такие как метод Бриджмена, Чохральского, метод твердофазных реакций, а также гидротермальный, сольво-термический, золь-гель, темплатный, метод Печини или метод осаждения с последующей гидротермальной обработкой [10–17].

Новые методы получения силиката висмута могут расширить область их применения, а также предоставить лучшие альтернативы в существующих областях исследований. Перспективным методом является микроволновая (МВ) химия, которая открывает новые возможности в технологии синтеза [18–23]. МВ синтез эффективный способ получения неорганических материалов благодаря равномерному и быстрому нагреву реакционной смеси по всему объему, контролю за временем процесса, а также условиям высокой чистоты процесса. Цель настоящей работы – разработка микроволнового метода получения силиката висмута из водных растворов метасиликата натрия и нитрата висмута.

2. Экспериментальная часть

2.1. Получение силиката висмута

Для синтеза силиката висмута использованы растворы $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ и Na_2SiO_3 марки «хч». Синтез силиката висмута (Bi_2SiO_5) осуществляли в МВ печи CE1073AR (частота микроволн 2.45 ГГц, выходная мощность 600 Вт) в открытой колбе из пирексового стекла, снабженной обратным холодильником и мешалкой. Колбу объемом 1 л загружали исходными растворами: 200 мл нитрата висмута (0.5 моль/л) и 300 мл силиката натрия (0.5 моль/л); температура реакции $95\text{--}100^{\circ}\text{C}$, время 30 минут. Исходные вещества взяты в молярном соотношении 2:3 с целью получения соединения состава Bi_2SiO_5 . Полученный осадок, силикат висмута отфильтровывали и многократно промывали дистиллированной водой ($70\text{--}80^{\circ}\text{C}$) для удаления ионов Na^+ и NO_3^{2-} и сушили при 120°C .

После сушки проводили термообработку силиката висмута в электрической печи марки LHT 08/17 фирмы Nabertherm при различных температурах в течение двух часов. Для установления образовавшихся фаз проведены рентгенофазовые анализы термообработанных образцов.

2.2. Методы анализа

Состав исходных и конечных продуктов определяли физико-химическими методами анализа (весовым, спектроскопическим, фотоколориметрическим, пламенно-фотометрическим). Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводили порошковым методом на установке RIGAKU SMARTLAB, $\text{CuK}\alpha$ излучением, дифференциально-термический и термогравиметрический анализ – на приборе METTLERTOLEDO STAR System TGA/DSC 3+. Диффузное отражение Bi_2SiO_5 и

оптическая плотность растворов метиленового синего (МС) определены на спектрометре Cary 60, оснащённом интегрирующей насадкой DRA Barreline. ИК-спектры пропускания образцов в области $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ измерялись на спектрометре Cary 630. Измерение удельной поверхности и объема пор образцов проводилось адсорбцией азота методом БЕТ на приборе AccuSorb 2300E (Micromeritics, США) и адсорбцией паров бензола весовым методом. Радиационную стойкость образцов изучали в условиях облучения протонами, которое проводилось в Центре производства радиоизотопов (Ереван, Армения) с использованием Циклотрона С-18 (ток пучка 0.6 мкА). Облучение проводилось пучком протонов с энергией 18 МэВ. Средняя плотность потока протонов поддерживалась на уровне 1014 р/см^2 , $\sim 1\text{ мкА}$, 50 секунд. Фотокаталитическую активность силиката висмута определяли реакцией деградации МС под УФ излучением. Исходная концентрация МС составляла 10 мг/л, количество раствора МС 100 мл, количество катализатора 100 мг, время УФ облучения 10–80 мин. Реакцию разложения проводили со свободным доступом воздуха. Для получения гомогенной массы раствор с катализатором перемешивали магнитной мешалкой в течение 30 минут в темноте и полученную суспензию облучали УФ-лампой Navigator. В каждые 10 мин брали пробы (около 2 мл), центрифугировали и анализировали. Концентрацию МС до и после облучения в присутствии катализатора определяли измерением оптической плотности центрифугата при 664 нм, т.е. при максимальном поглощении излучения.

3. Результаты и их обсуждение

Химический анализ показал, что состав полученного силиката висмута соответствует формуле $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, влажность 68–70%, а после сушки 8–10%. Результаты термического анализа высушенных образцов $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ приведены на рис.1. Эндотермические эффекты обусловлены постепенным удалением воды. Широкий температурный интервал удаления воды указывает на то, что вода в синтезированных гидросиликатах находится в структурно неэквивалентных позициях. Как видно из приведённой термограммы, в режиме непрерывного повышения температуры до 600°C исследуемый образец теряет

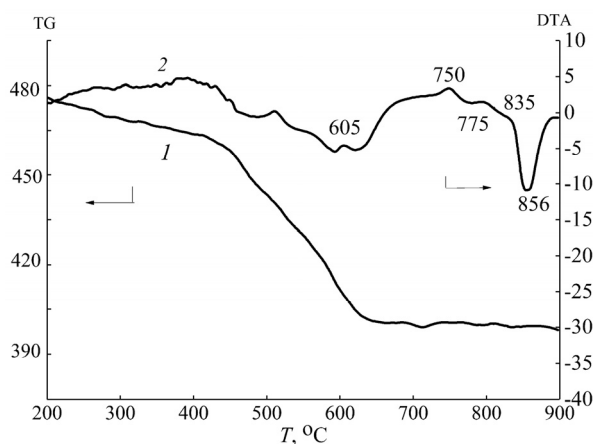


Рис.1. Кривые термогравиметрического анализа образца $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: TG (1), DTA (2).

адсорбционную воду, что приводит к перестройке структуры. Анализ кривых потерь массы образцов вследствие удаления адсорбированной и кристаллизационной воды и дегидратации гидроксида висмута (удаление физически и химически связанной воды) указывает, что структурно связанная вода удаляется при более высоких температурах. До температуры 600°C происходит уплотнение аморфной силикатной матрицы. По данным DTA (рис.1, кривая 2) экзоэффекты в температурном интервале 600–800°C обусловлены твёрдофазным превращением – образованием кристаллических Bi_2SiO_5 , $\text{Bi}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$ и $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, о чём свидетельствуют и данные РФА (рис.2). При 856°C идет образование жидкой фазы – плавление силиката висмута, что фиксируется выраженным эндотермическим эффектом на DTA (рис.1, кривая 2). Таким образом, гидротермальным МВ методом синтезирован аморфный силикат висмута $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. После сушки при 100–120°C он представляет собой высокодисперсный аморфный (рис.2а) белый порошок, называемый в данной работе – исходный.

Изучено влияние термообработки на структуру Bi_2SiO_5 . Рентгенограмма термообработанного силиката висмута при 600 и 700°C (рис.2б, с) указывает на образование орторомбической фазы Bi_2SiO_5 (JCPDS №36–0287). При увеличении температуры термообработки от 700 до 800°C (рис.2с, d) наблюдались четкие структурные изменения на рентгенограммах: Bi_2SiO_5 постепенно переходит в $\text{Bi}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$ (JCPDS № 80–1596) и, частично, в $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (JCPDS № 80–0627) [24].

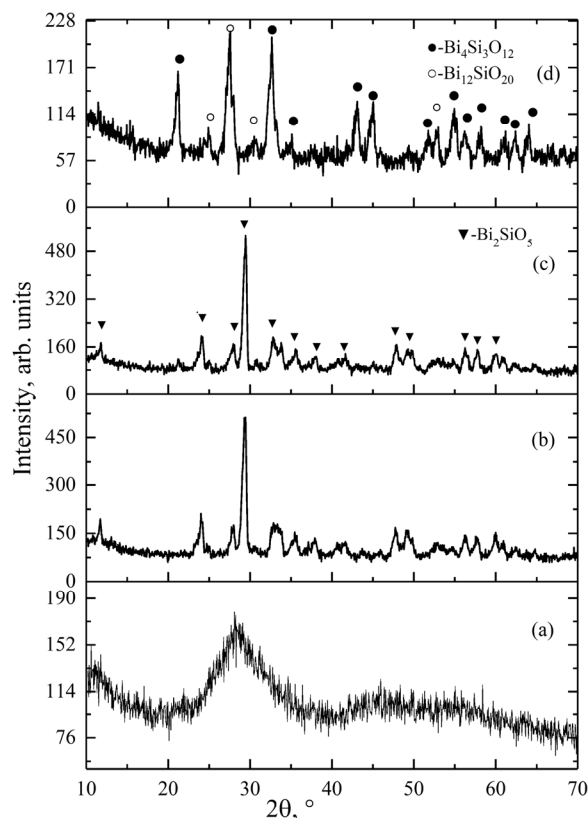


Рис.2. Рентгенограммы термообработанных образцов $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: (а) – исходный, (б) – 600, (с) – 700, (d) – 800°C.

Выше 800°C кристаллические фазы исчезают, идет плавление силикатов висмута, как показано при температуре 856°C на рис. 1 (кривая 2).

На рис.3 представлены ИК-спектры пропускания исходного (кривая 1) и термообработанного при 700°C (кривая 2) образцов. Анализ этих спектров показывает, что исходный образец характеризуется наличием широкой полосы поглощения в области 3410 см^{-1} и узкой полосы при 1628 см^{-1} , относящихся соответственно к валентным и деформационным колебаниям ОН-групп. После обработки этих образцов при 700°C полосы поглощения ОН групп, связанных с адсорбированной, гидратированной водой и слабосвязанных гидроксидов, исчезают. Пики полос поглощения при 430, 472, 531, 576, 817, 829, 887, 924 и 939 см^{-1} представляют собой валентные колебания связей Bi–O, групп $(\text{SiO}_4)^{4-}$, связей Bi–O–Si, изолированных групп $(\text{SiO}_5)^{6-}$ и связей Si–O.

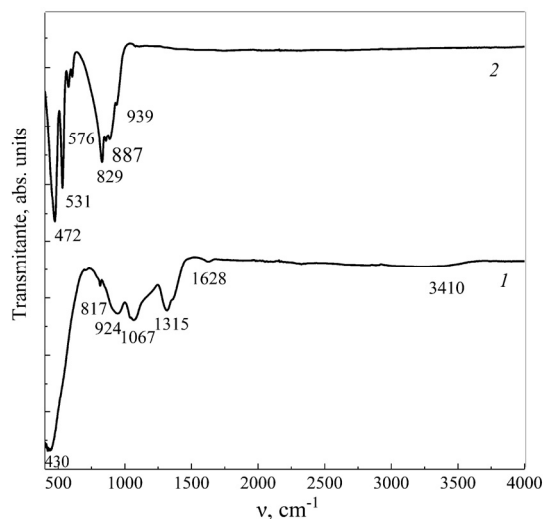


Рис.3. ИК спектры образцов $\text{Bi}_2\text{SiO}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: исходного (кривая 1) и термообработанного при 700°C (кривая 2).

Поглощение в области 817–939 см^{-1} (рис.3) соответствуют асимметричным валентным колебаниям Si–O связей в SiO_4 тетраэдрах, характерных для силикатных структур. Полосы поглощения в области 430 и 472 см^{-1} вызваны колебаниями Bi–O связей в Bi_2SiO_5 . Поглощение при 1315 см^{-1} , возможно, вызвано деформационными колебаниями связей Bi–O или Si–O. Таким образом, пики 1067 см^{-1} и ниже типичны для колебаний Si–O и Bi–O связей и указывают на структуру Bi_2SiO_5 с SiO_4 тетраэдрами и BiO полиэдрами [25, 26].

Из рентгенограмм по методу Шеррера рассчитаны размеры частиц образцов: термообработанных при 100°C – 55, при 600°C – 20–33, при 700°C – 27–30, при 800°C – 20–35 нм. Определена удельная поверхность образцов 30–46 $\text{м}^2/\text{г}$. Таким образом, МВ синтез обеспечивает получение наноразмерного порошка силиката висмута минимальными энергетическими затратами (при температуре кипения водного раствора в течение 30 минут).

Изучены спектры диффузного отражения исходного и термообработанного при 700°C образцов Bi_2SiO_5 в области 200–1000 нм до и после протонного облучения (рис.4). Очевидно, что синтезированный МВ методом исходный образец

силиката висмута имеет высокую отражательную способность: коэффициент отражения $>93\%$ в видимой области спектра (рис.4а, кривая 1).

Путем преобразования коэффициента диффузного отражения R в эквивалентный коэффициент поглощения [22].с использованием модифицированной функции Кубелки–Мунка $F(R)=(1-R)^2/2R$ (рис.4с,d) были получены кривые зависимости $(F(R) h\nu)^2$ от энергии света $h\nu$ (рис.4е,f), из которых экстраполяцией линейного участка кривых до их пересечения с осью $h\nu$ определены значения ширины запрещенной зоны E_g для исследуемых образцов. Для исходных образцов (рис.4е, кривая 1) $E_g= 3.58$ эВ, термообработанных при 700°C (рис.4е, кривая 2) $E_g= 3.23$ эВ. Таким образом, синтезированный МВ методом силикат

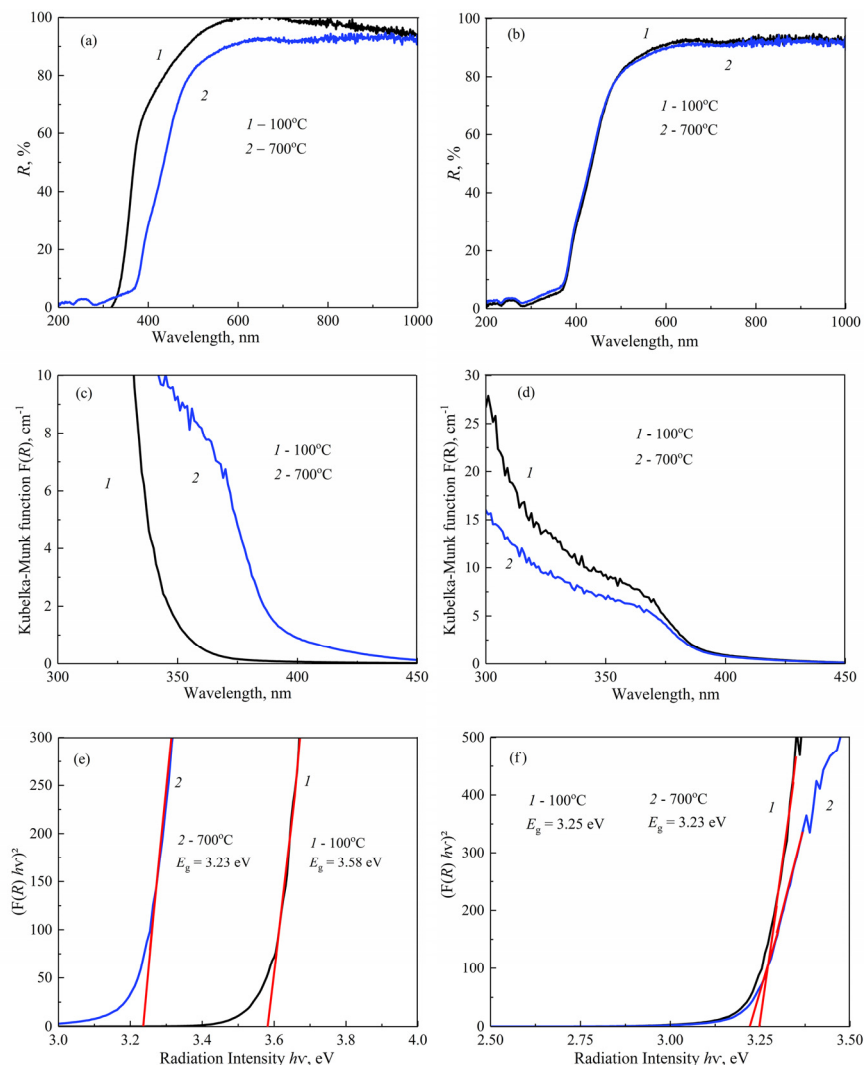


Рис.4. Спектральные характеристики образцов Bi_2SiO_5 , исходного (кривые 1) и термообработанного при 700°C (кривые 2), до (а, с, е) и после (b, d, f) протонного облучения: (а, b) спектры диффузного отражения; (с, d) пересчитанные спектры поглощения (функция Кубелки–Мунка $F(R)$); (е, f) зависимость $(F(R) h\nu)^2$ от энергии излучения $h\nu$.

висмута является широкозонным полупроводником.

Изучено влияние протонного излучения на ширину запрещенной зоны полупроводящего диэлектрика. Изменение значений коэффициентов диффузного отражения под воздействием протонного облучения ранее исследовалось [27] на образцах ортосиликата цинка, полученного нами аналогичным МВ методом. В данном исследовании показано, что протонное излучение влияет и на образцы силиката висмута. Так, сравнивая рис.4а и 4б видно, что диффузная отражательная способность силиката висмута, термообработанного при 700°C и имеющего кристаллическую структуру, не изменяется после облучения протонами, в то время как отражательная способность аморфного образца после облучения снижается и совпадает с отражательной способностью кристаллического образца. Таким образом, протонное облучение в данном случае оказывает на отражательную способность аморфного материала такое же воздействие, как и температурная обработка. Значение ширины запрещенной зоны E_g подверженных облучению образцов (рис.4f) совпадает со значением E_g необлученного, термообработанного при 700°C образца Bi_2SiO_5 , и остаётся в пределах 3.23–3.25 eV.

Ширина запрещённой зоны E_g представляет собой ключевую характеристику электронного строения материала, что особенно важно при оценке фотокаталитической или фотоэлектронной активности материала. Она осталась почти неизменной, следовательно облучение не привело к значительному нарушению электронных свойств, таких как проводимость и оптические переходы.

Каталитическая активность полученного силиката висмута изучена по реакции разложения метиленового синего (МС) при УФ-облучении. Конверсия МС определена оптическим методом. На рис.5. представлены оптические плотности растворов метиленового синего в присутствии синтезированного катализатора Bi_2SiO_5 при различных значениях длины волны спектра до и после УФ облучения.

В присутствии синтезированного Bi_2SiO_5 разложение МС под УФ облучением достигает 72–96% через 60–80 минут облучения, при размерах частиц катализатора: исходный – 55 нм, при 600°C – 20–33 нм, при 700°C – 27–30 нм. Реакция разложения МС на исходном и термообработанном при 600°C катализаторе практически завершается за 80 минут под УФ облучением. Термообработанный при 700°C образец проявляет сравнительно низкую активность (рис.5с) Экспериментальные данные фотокаталитического разложения МС под УФ излучением показывают, что синтезированный силикат висмута обладает высокой фотокаталитической активностью.

Фотокаталитическое разложение МС на поверхности катализатора можно объяснить следующим механизмом. Процесс гетерогенного фотокаталитического разложения вещества в водной среде можно условно разделить на следующие этапы: перенос вещества из водной среды на поверхность фотокатализатора, адсорбция вещества, фотокаталитическое разложение адсорбированного вещества, десорбция и удаление продуктов разложения с поверхности фотокатализатора. При действии УФ-излучения на фотокатализатор с энергией равной или большей ширины запрещенной зоны происходит генерация электронно-дырочной пары (e^- и h^+). Фотогенерированные положительные дырки валентной зоны реагируют с адсорбированной водой на поверхности Bi_2SiO_5 , либо гидроксогруппами. Данный процесс приводит к образованию радикала $\bullet\text{OH}$, обладающего сильными окислительными свойствами. Электроны зоны проводимости

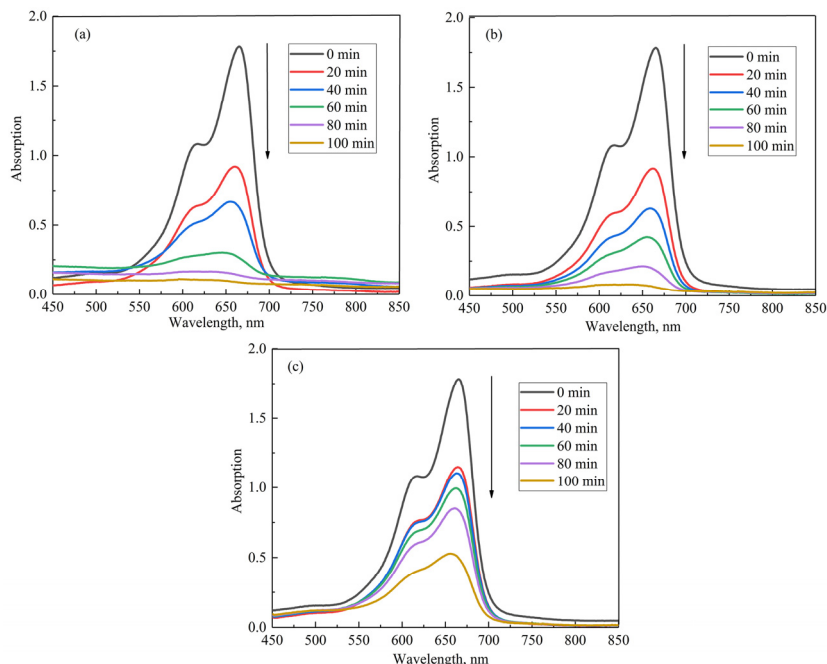
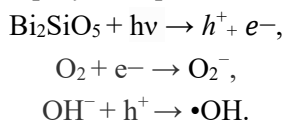


Рис.5. Зависимость оптической плотности раствора МС от длины волны при различном времени (вплоть до 100 мин) фотокаталитической деградации МС катализатора Bi_2SiO_5 : (а) исходный, (б), (с) – обработанные при температурах 600 и 700°C, соответственно.

реагируют с акцептором электронов – адсорбированным на поверхности растворенного в воде кислородом. Образуются радикалы [28]:



Образованные таким образом высокоактивные радикалы O_2^- и $\bullet\text{OH}$ окисляют МС, адсорбированного на поверхности фотокатализатора с образованием различных соединений по схеме:

- $\text{OH} + \text{MC} \rightarrow \text{промежуточные органические продукты} \rightarrow \text{неорганические продукты}$
- $\text{O}_2^- + \text{MC} \rightarrow \text{промежуточные органические продукты} \rightarrow \text{неорганические продукты}.$

4. Заключение

Разработан МВ метод получения силиката висмута из водных растворов. Определена ширина запрещённой зоны полученного силиката висмута $E_g = 3.23$ и $E_g = 3.58$ эВ, соответственно для исходного и термообработанного при 700°C. Размеры частиц синтезированного силиката составляют 20–55 нм. Полученный силикат висмута имеет высокий коэффициент диффузного отражения – более 93% в видимой области спектра. Изучена фотокаталитическая активность полученного силиката висмута по реакции разложения метиленового синего при УФ-

облучении и показана возможность применения его в качестве фотокатализатора. Физико-химические исследования показали, что синтезированный силикат висмута является перспективным материалом для применения в качестве широкозонного полупроводника, фотокатализатора, а также для защиты от ионизирующего излучения. Проведенные исследования показывают эффективность МВ синтеза силикатов висмута: сокращается время синтеза и термообработки (3–5 раз), снижаются энергетические затраты (на 70–80%) в сравнении с традиционными методами синтеза.

Исследование поддержано Комитетом по высшему образованию и науке МОНКС РА (научный проект №21Т-1Д146).

ЛИТЕРАТУРА

1. **R. Marschall.** *Adv. Funct. Mater.*, **24**, 2421 (2014).
2. **S.A.M. Issa, M.I. Sayyed, M.H.M. Zaid, K.A. Matori.** *Results Phys.*, **9**, 206 (2018).
3. **A. El-Taher, A.M. Ali, Y.B. Saddeek, R. Elsaman, H. Algarni, K. Shaaban, T.Z. Amer.** *Radiat. Phys. Chem.*, **165**, 108403 (2019).
4. **A.A.A. Darwish, S.A.M.Issa, M.M. El-Nahass.** *Synth Met.*, **215**, 200 (2016).
5. **A.M.A. Mostafa, M.H. Hesham. Zakalyb, Mariia Pyshk.** *J. Mater. Res. Technol.*, **9**, 12335 (2020).
6. **D. Liu, J. Wang, M. Zhang, Y. Liu, Y. Zhu.** *Nanoscale*, **21**, 15222 (2014).
7. **R. Bagheri, A.K. Moghaddam, S.P. Shirmardij, B. Azadbakht, M. Salehi.** *J. Non-Crystalline Solids*, **479**, 62 (2018).
8. **W. Cheewasukhanont, P. Limkitjaroenporn, J. Kaewkhao.** *J. Physics, Conf. Series*, **1485**, 012027 (2020).
9. **А.А. Водянкин, И.П. Ушаков, Ю.А. Белик, О.В. Водянкина.** *Кинетика и Катализ*, **58**, 5, 606, (2017).
10. **S.S. Batool, S. Hassan, Z. Imran, K. Rasool, M. Ahmad, M.A. Rafiq.** *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, **13**, 1497 (2016).
11. **J. Kaewkhao, K. Kirdsiri, P. Limkitjaroenporn, P. Limsuwan, J.M. Park, H.J. Kim.** *J. Korean Physical Society*, **59** 2, 661 (2011).
12. **A.O. Ibadon, P. Fitzpatrick.** *Catalysts*, **3**, 189 (2013).
13. **Z. Wang, C.Li, K. Domen.** *Chem. Soc. Rev.*, **48**, 2109 (2019).
14. **K. Kirdsiri, J. Kaewkhao, N. Chanthima, P. Limsuwan.** *Annals of Nuclear Energy*, **38**, 1438441 (2011).
15. **F. Yiting, F. Shiji, S. Renying, X. Jiayue, M. Ishii.** *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, **40**, 189 (2000).
16. **M.E.K. Wiegel, P. Becla.** *Opt. Mater.*, **26**, 471 (2004).
17. **Y. Wu, X. Chang, M. Li, X.P. Hei, C. Liu, X. Zhang.** *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, **97**, 311 (2021).
18. **E.T. Thostenson, T.W. Chou.** *Microwave Processing, Fundamentals and Application, Composites, Part A*, **30**, 1055 (1999).
19. **H. Brittny.** *Microwave Synthesis*, CEM Publishing, 296 (2002).
20. **V.V. Bagramyan, A.A., Sargsyan, C. Ponzoni, R. Rosa, C. Leonelli.** *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, **49**, 731 (2015).
21. **A.A. Sargsyan, R.A. Mnatsakanyan, T.V. Grigoryan, A.A. Kazaryan, A.A. Petrosyan, V.V. Harutyunyan, A.O. Badalyan, N.R. Aghamalyan, V.V. Baghranyan.** *J. Contemp. Phys.*, **58**, 397 (2023).

22. N.R. Aghamalyan, A.A. Sargsyan, T.S. Azatyan, T.V. Grigoryan, A.A. Kazaryan, A.A. Petrosyan, H.T. Gyulasaryan, Ye.A. Kafadaryan, M.N. Nersisyan, N.B. Knyazyan, V.V. Baghramyany. *J. Contemp. Phys.*, **59**, 199 (2024).
23. N.R. Aghamalyan, H.T. Gyulasaryan, E.A. Kafadaryan, M.N. Nersisyan, A.A. Sargsyan, V.V. Baghramyany. *J. Contemp. Phys.*, **59**, 97 (2024).
24. C.-C. Chen, C.-T. Yang, W.-H. Chung, J.-L. Chang, W.-Y. Lin. *J. Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **78**, 157 (2017).
25. O. Rico-Fuentes, E. Sánchez-Aguilera, C. Velasquez, R. Ortega-Alvarado, J.C. Alonso, A. Ortiz. *Thin Solid Films*, **478**, 96 (2005).
26. Y. Dimitriev, M. Krupchanska, Y. Ivanova, A. Staneva. *J. Univ.Chem. Tech. Metall.*, **45**, 39 (2010).
27. A. Badalyan, V. Harutyunyan, E. Aleksanyan, N. Grigoryan, A. Arestakyan, V. Arzumanyan, A. Manukyan, V. Baghramyany, A. Sargsyan, O. Culicov. *Phys. Particles and Nuclei Lett.*, **20**, 5, 1259 (2023).
28. A. Houas, H. Lachheb, M. Ksibi, E. Elaloui, C. Guillard, J.-M. Herrmann. *Appl. Catalysis B: Environmental*, **31**, 145 (2001).

PHOTOCATALYTIC AND RADIATION-OPTICAL PROPERTIES OF BISMUTH SILICATE SYNTHESIZED BY THE MICROWAVE METHOD

A.A. SARGSYAN, T.S. AZATYAN, N.B. KNYAZYAN, T.V. GRIGORYAN,
A.B. GHAZARYAN, V.R. HARUTYUNYAN, A.M. ASLANYAN, A.A. PETROSYAN,
L.K. QOCHARYAN, K.N. EDILYAN, V.V. BAGHRAMYAN

A hydrothermal–microwave method for the synthesis of bismuth metasilicate from water-soluble bismuth compounds and sodium silicate has been developed. The obtained bismuth silicate is a nanodispersed powder with high photocatalytic activity and radiation resistance. The characteristics of the synthesized bismuth silicate were determined using differential thermal analysis (DTA), X-ray phase analysis (XRD), UV–VIS, and IR spectroscopic analyses. In the temperature range of 600–800°C, crystalline phases of bismuth silicates with compositions Bi_2SiO_5 , $\text{Bi}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$, and $\text{Bi}_2\text{SiO}_{20}$ are formed. The photocatalytic activity of the samples was studied in the degradation reaction of methylene blue under UV irradiation. Physicochemical studies showed that the synthesized bismuth silicate is a promising material for use in various fields as a wide-bandgap semiconductor, a photocatalyst, and a material for radiation shielding. The conducted studies demonstrate the efficiency of microwave synthesis of bismuth silicates: synthesis and heat treatment times are reduced by a factor of 3–5, and energy consumption is decreased by 70–80% compared with traditional synthesis methods.