

УДК 544.478.01

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-75-87

**Д.А. Селимов¹, А.А. Рабаданова¹, А.О. Шуайбов¹, М.Г. Абдурахманов¹,
Р.Р. Гюлахмедов¹, Ш.М. Рамазанов², Ф.Ф Оруджев¹**

Влияние ультразвуковой обработки на фотокаталитическую активность карбида бора B₄C

¹ Дагестанский государственный университет, НИЛ «Smart Materials»; Россия, 367000, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а; daud-selimov@live.com

² Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН; Россия, 367030, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 94

В статье было рассмотрено влияние ультразвуковой (УЗ) обработки на морфологические, структурные и фотокаталитические свойства коммерческого порошка карбида бора. Порошки были охарактеризованы методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновской дифракции (XRD) и спектроскопии комбинационного рассеяния. Показано, что B₄C обладает ромбоэдрической структурой с примесью углерода. Рассмотрено влияние ультразвуковой обработки и концентрации B₄C на фотокаталитическую активность при облучении УФ- и видимым светом. Показано, что при УЗ обработке уменьшаются размеры зерен с 40–50 мкм до 17–27 мкм и повышаются шероховатости за счет эффекта кавитации. УЗ обработка приводит к формированию на поверхности частиц графитоподобных структур, о наличии которых свидетельствуют характерные пики для D- и G-полос в КР спектрах при 1340 и 1580 см⁻¹. Показано, что при облучении видимым светом повышение концентрации катализатора приводит к увеличению активности, а при УФ- к уменьшению. УЗ обработка приводит к уменьшению ФК активности карбида бора.

Ключевые слова: *фотокаталит, полупроводник, карбид бора, ультразвук, бор.*

Введение

В последние годы в мире остро стоит проблема очистки сточных вод от загрязнения органических соединений. Из-за быстро развивающейся промышленности увеличились количество и токсичность сбросов [1; 2]. Поэтому в настоящее время проводятся различные исследования для решения этой проблемы, в частности используются такие методы, как химическая обработка, адсорбция и фотокаталит [3–5]. В последнее время, благодаря использованию в процессах разложения энергии солнечного света, вызывают интерес фотокаталитические процессы. Было синтезировано огромное количество различных материалов, способных при поглощении солнечного света разложить органические соединения, такие, как TiO₂, LaTiO₃, ZrO₂, BaZrO₃, Nb₂O₅, CeO₂, In₂O₃, Ga₂O₃, ZnS, Fe₂O₃ и др., которые имеют ряд недостатков: большая ширина запрещенной зоны, высокая скорость рекомбинации фотоиндуцированных носителей зарядов, которая как результат снижает фотокаталитическую эффективность, низкая физическая и химическая стабильность [6–10]. Частично эти проблемы решаются модификацией материалов легированием [11], применением сокатализаторов, чаще всего используют благородные металлы [12–13], а также созданием дефектов в материале [14]. Кроме того, для решения существующих проблем был разработан новый пласт потенциально

эффективных фотокатализаторов, неметаллических полупроводников, таких, как бориды, нитриды, карбиды. По сравнению с полупроводниками на основе оксидов и халькогенидов металлов данные материалы имеют ряд достоинств: химическая и физическая стабильность, экологическая безопасность [15–17].

B₄C – это неметаллический полупроводник р-типа, обладающий высокой твердостью (за счет связи B-B и B-C), высокой температурой плавления ($\approx 2300^{\circ}\text{C}$), модулем Юнга (колеблется от 360 до 460 ГПа), прочностью, химической стабильностью и высокой теплопроводностью [18–22]. Карбид бора имеет относительно небольшую ширину запрещенной зоны 1.5–2.6 эВ, что позволяет ему стать альтернативой металлоодержащих полупроводников в процессах фотокатализа при облучении видимым светом. В работе [23] исследовали фотокаталитическую активность карбида бора при видимом облучении. Было показано, что при загрузке катализатора 0,5 г/л достигается высокая эффективность в процессах разложения красителей более 90 %. В работах [24; 25] был продемонстрирован потенциал карбида бора в процессах фотокаталитического получения H₂ и фотовосстановления CO₂ при облучении видимым светом. Применение карбида в фотокаталитических экспериментах в видимой области говорит о высокой окислительно-восстановительной способности фотоиндированных электронов и дырок, что может сделать его многообещающим безметалловым полупроводником в зеленой энергетике.

В статье представлены результаты исследования фотокаталитической активности микропорошков B₄C при фотодеструкции промышленного красителя метиленового синего (МС) при облучении УФ- и видимым светом. Исследовано влияние УЗ обработки порошка на его морфологию, структуру и ФК активность.

Материалы и методы

В исследовании использовались порошки B₄C коммерческого производства марки M40 фракция – 40–28 мкм. Ультразвуковая обработка производилась в ванне мощностью 250 Вт при частоте 18 кГц. Навеску массой 5 г добавляли к 3,5 мл изопропанола и подвергали УЗ обработке в ванне в течение 24 часов. Морфология образцов была охарактеризована при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ, Aspex Express). Структуры были охарактеризованы методом рентгеновской дифракции (XRD, Empyrean PANalytical) с использованием Cu K α -излучения. Спектры комбинационного рассеяния получали на NtegraSpectra (лазер $\lambda = 532$ нм).

Тест фотокаталитического разложения проводили при облучении УФ- и видимым светом. В качестве источника УФ-света использовали ртутную лампу высокого давления мощностью 250 Вт (Philips), в качестве источника видимого света – металлогалогенную лампу (Osram) мощностью 75 Вт. Расстояние источника света до реактора составляло 10 см. Чтобы исключить влияние температуры на эффективность разложения, в реакторе поддерживалась постоянная температура 26 °C, концентрация раствора МС 1 мг/л, объем раствора 20 мл, концентрации фотокатализатора $x = 0.5, 1, 1.5, 2$ г/л.

Во время теста каждые 15 мин отбирали 5 мл раствора пробы, центрифугировали в течение 10 мин при 8000 об/мин для отделения фотокатализатора от раствора и анализировали с помощью УФ-видимого спектрометра (СФ-2000). Концентрацию красителя МС измеряли при его максимальном пике поглощения $\lambda = 663.7$ нм. Кривые изменения концентрации МС строили в координатах C/C_0 от времени (C и C_0 – измеренная и исходная концентрации раствора красителя, соответственно). Концентрацию определяли по заранее построенной градуировочной кривой (рис. 1).

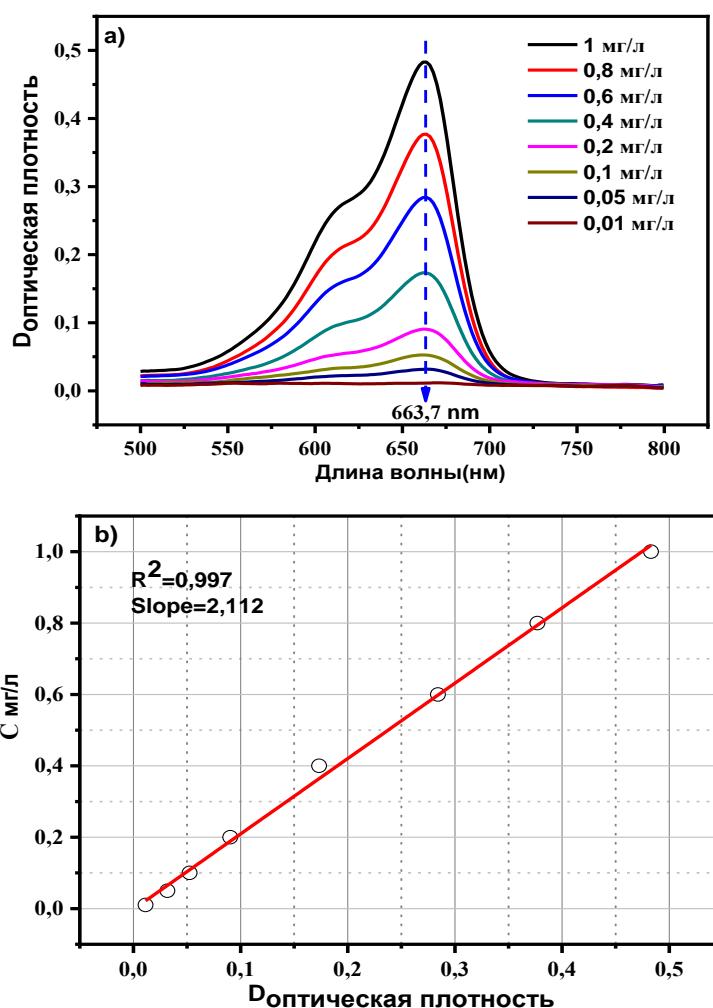
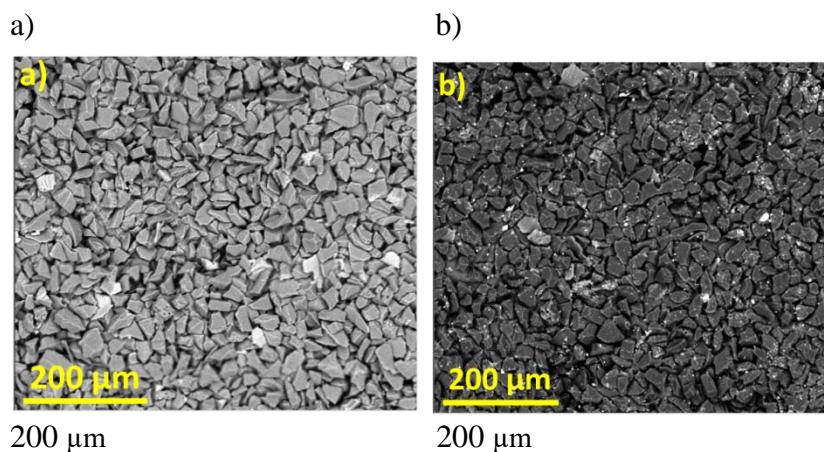


Рис. 1: а) спектры поглощения красителя МС; б) градуировочная кривая

Результаты и обсуждение

Морфология образцов была исследована с использованием сканирующей электронной микроскопии. На рис. 2а, б представлены снимки образцов B₄C до и после ультразвуковой обработки.



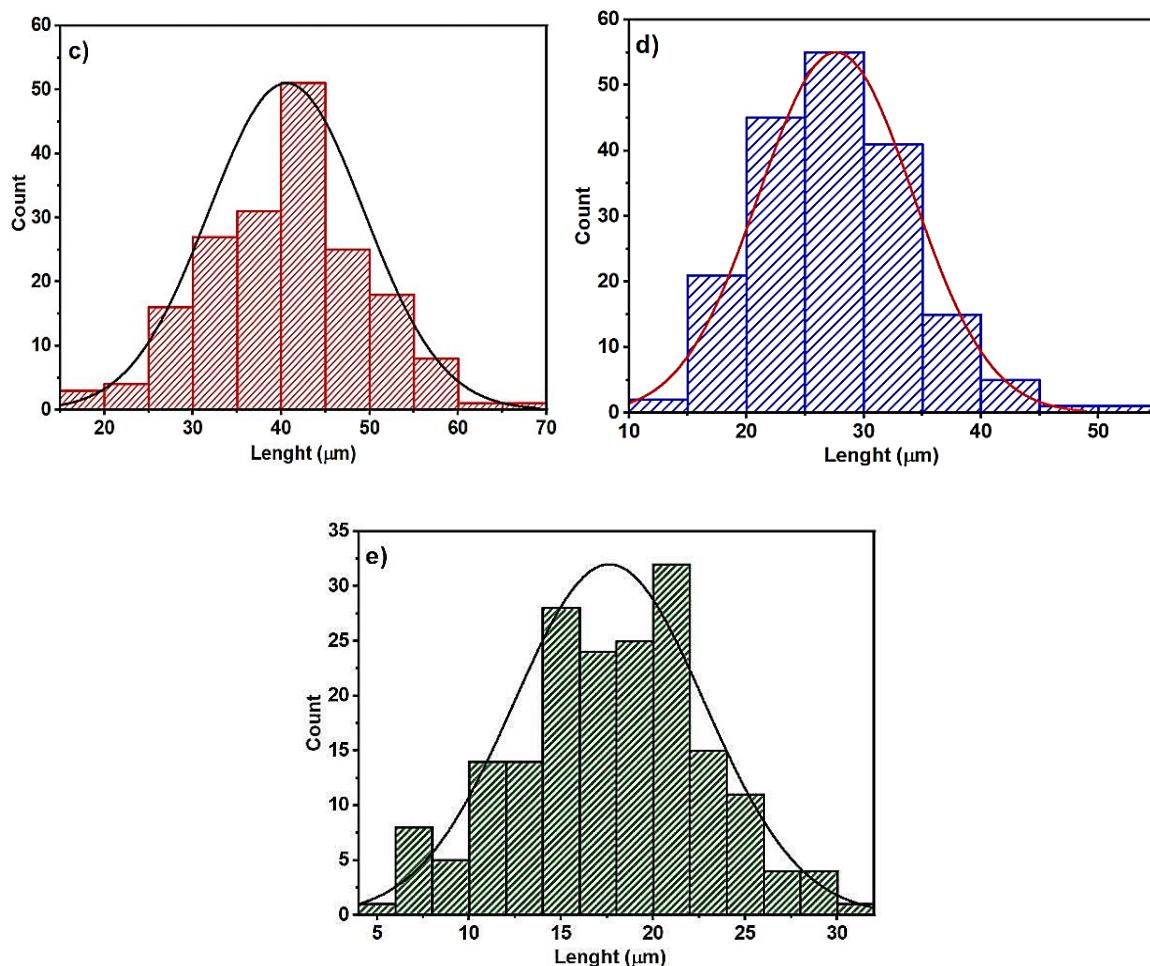


Рис. 2. СЭМ-изображения зерен B_4C до и после обработки УЗ (a, b) и гистограмма распределения частиц по размерам (c, d, e соответственно)

Как видно из рис. 2 (a, b), образец представляет собой зерна микронных размеров. Для определения распределения частиц по размерам СЭМ-изображение обрабатывали с использованием программы ImageJ. Из гистограммы распределения, полученной с использованием программы ImageJ, видно, что средний размер частиц B_4C до УЗ составляет около 40–50 мкм, а после обработки – 27 мкм. Кроме того, на гистограмме рис. 2e представлены результаты распределения более мелких частиц – их средний размер составляет 17 мкм.

На СЭМ – снимках (рис. 3) при более высоких увеличениях можно увидеть влияние УЗ обработки на микрорельеф и морфологию микрочастиц.

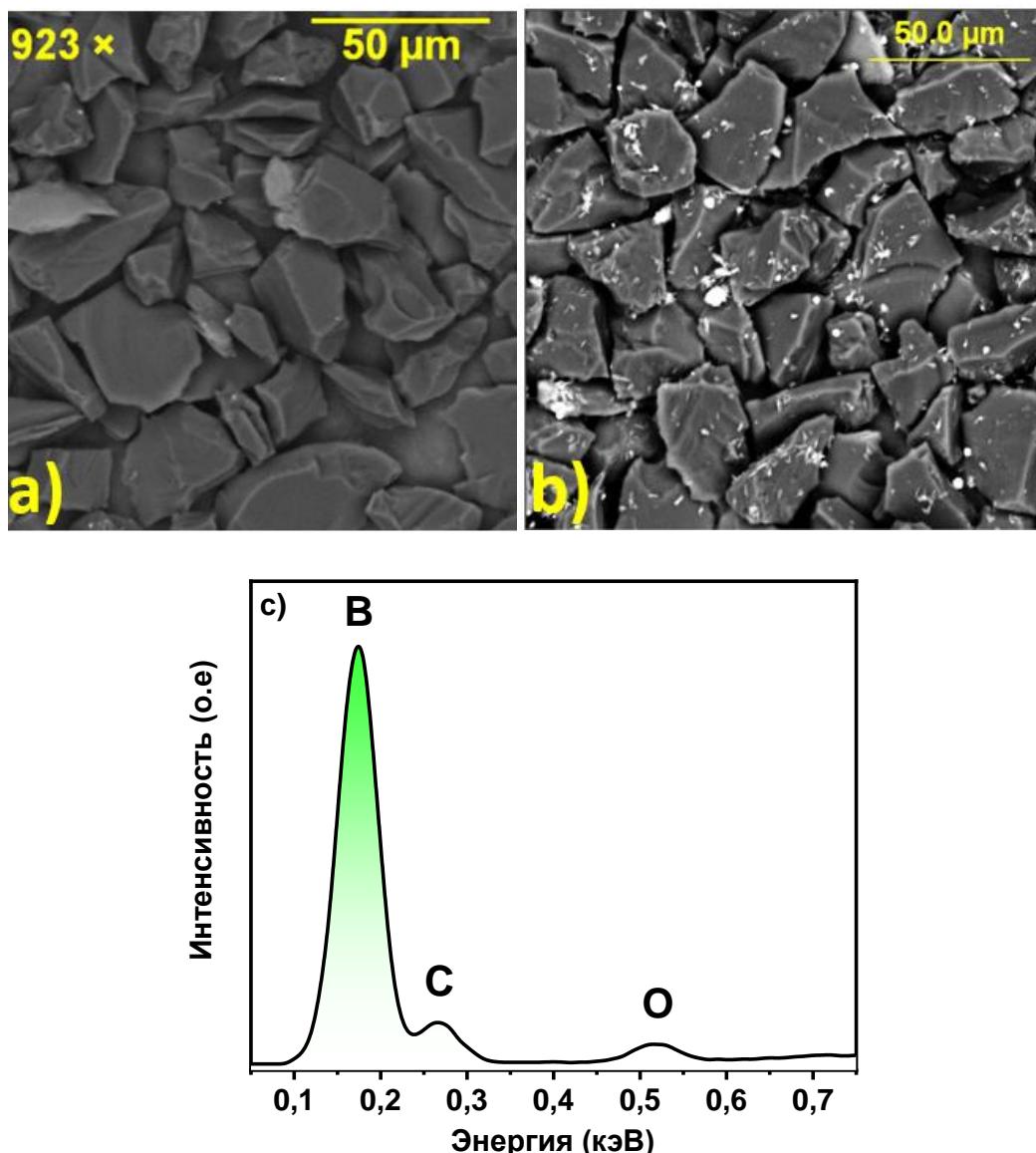


Рис. 3. СЭМ-изображения зерен B₄C до и после обработки УЗ (a, b) и энерго-дисперсионные спектры образца (c)

Необработанный образец, как видно из рис. 3а, представляет собой порошок с крупными кристаллами, имеющими четко выраженные границы и гладкую поверхность, тогда как для порошка после УЗ обработки (рис. 3б) поверхность стала шероховатой с ярко выраженным микрорельефом. Также видно, что УЗ обработка вызывает эрозию краев частиц, которые в обработанных образцах выглядят закругленными. На спектре ЭДС (рис. 3с) можно видеть, что основными элементами являются бор, углерод и незначительное количество примесного кислорода.

При УЗ обработке твердых тел в жидкостях на поверхности твердого тела образуются кавитационные микропузырьки [26]. Схлопывание пузыря может привести к локальному экстремальному давлению и температуре за короткий период времени, а также к интенсивным ударным волнам, создавая так называемый термобарический эффект. Ударные волны, направляющиеся к твердой поверхности, могут физико-химически изменять поверхность обрабатываемых материалов.

Поверхностные дефекты, образующиеся после УЗ обработки, могут служить центрами фотокатализа и адсорбции. Дефекты в материале ограничивают рекомбинацию зарядов электронов, тем самым увеличивая фотокаталитическую эффективность. Концентрация дефектов влияет на длительность возбужденного состояния, которая способствует разделению зарядов на высокой скорости, что в свою очередь влияет на скорость деградации.

Для определения кристаллической структуры был проведен рентгенофазный анализ.

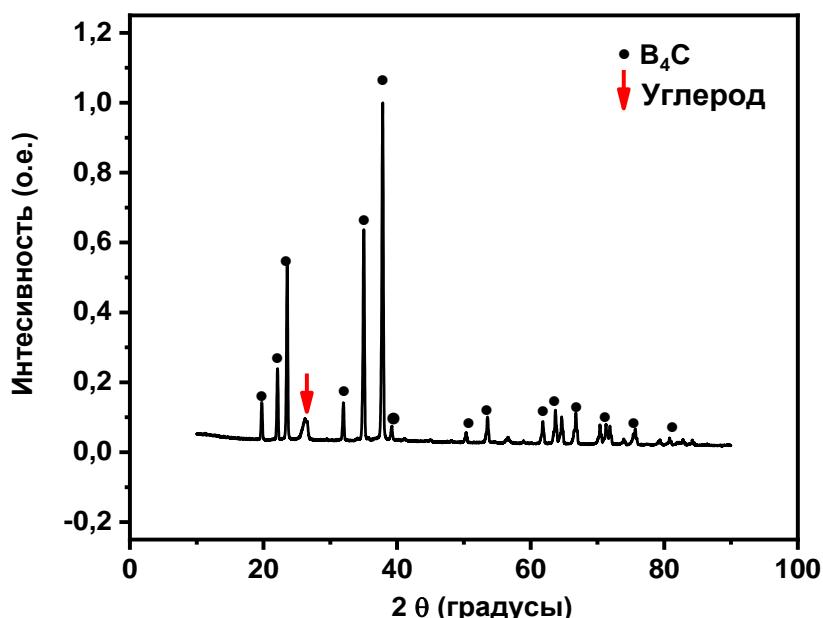


Рис. 4. Спектры рентгеновской дифракции необработанного B_4C

На рентгенограмме обнаружены характерные пики двух веществ: карбида бора – пики при 23.56° , 35.03° , 37.8° , целый каскад небольших пиков в районе от 39.23° до 84.18° (обозначены кружком), а также небольшой примесный пик углерода на 26.24° (показан стрелкой) [27]. В карбиде бора содержится небольшое количество свободного графитового углерода, что довольно часто встречается в коммерческих порошках [28]. Карбид бора имеет ромбоэдрическую структуру с пространственной группой $\text{R}\bar{3}m$, состоящую из двенадцатиатомных икосаэдрических кластеров, и трехатомными линейными цепочками, связанными ковалентными связями. В зависимости от содержания углерода структура может быть в виде B_4C (или B_{12}C_3), если обогащена углеродом, и в виде B_{13}C_2 (или $\text{B}_{6,5}\text{C}$), если обеднена углеродом [29]. Однако по рентгенофазной дифракции различить эти структуры очень сложно [24]. Для уточнения кристаллической структуры используется спектроскопия комбинационного рассеяния.

На рис. 5 показаны спектры комбинационного рассеяния для B_4C до и после обработки ультразвуком в различных участках B_4C (УЗ) и B_4C (УЗ)' соответственно. На спектре необработанного B_4C видно несколько интенсивных пиков при $270/320$, 470 и 523 , 720 и 807 и 1067 см^{-1} , которые согласно исследованию [30] относятся к связям $\text{C}-\text{B}-\text{C}$, $\text{C}-\text{B}-\text{B}$ и $\text{B}-\text{B}$ соответственно.

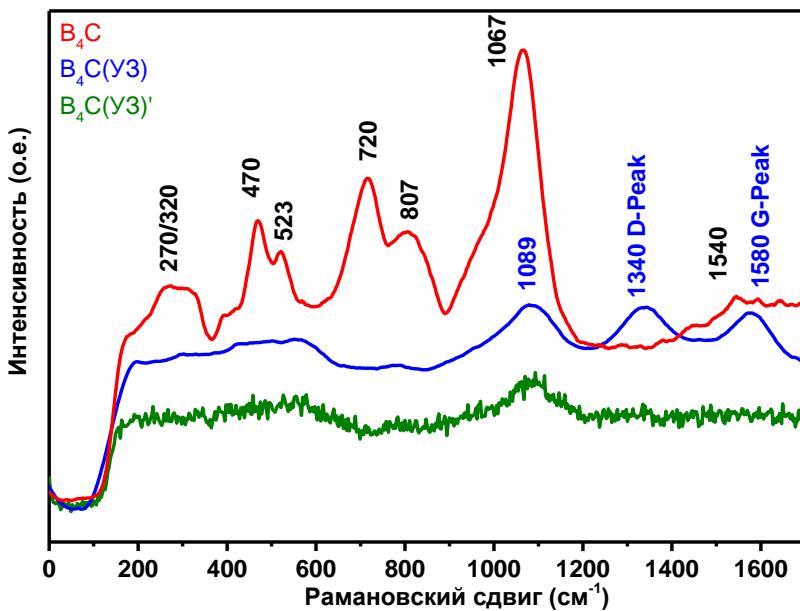


Рис. 5. Спектры комбинационного рассеяния B₄C до (красная линия) и после (синяя и зеленая линии) ультразвуковой обработки

На спектрах B₄C (УЗ) и B₄C (УЗ)' ранее обнаруженные пики икосаэдрического B₄C не проявили интенсивности, кроме пика 1067 см⁻¹, который заглушен и сдвинут на 1089 см⁻¹. Предполагается что такой сдвиг связан с ранее обнаруженным углеродом, который, как и карбид бора, подвергается эксфолиации. В исследовании [31] было показано, что с помощью микрокавитации можно получать графеновые пленки, которые подтверждаются характерными пиками. Видны два типа: первый – при 1340 см⁻¹, являющейся характерной D-полосой графена, и второй – при 1580 см⁻¹, относящейся к G-полосе, являющейся колебательными модами A_{lg} и E_{2g} соответственно [32]. D- и G-пики встречаются также и у оксида графена [33], что не исключено, поскольку еще в 1954 г. Фокс и Герцфельд [34] выдвинули теорию о том, что микропузьрики, образованные в растворе органических веществ, не диффундируют из раствора и могут способствовать окислению углерода до оксида. Помимо этого, на спектре B₄C(UZ)' виден только пик 1089 см⁻¹, что может быть объяснено как тем, что количество, полученной графитоподобной структуры настолько мало, что лишь местами обволакивает карбид бора, так и тем, что при длительном облучении лазера поверхностный слой прожигается, как было показано в работе [35]. Таким образом, показано, что длительная УЗ обработка приводит как к морфологическим, так и структурным изменениям карбида бора.

Были исследованы фотокаталитические свойства при окислении МС с использованием видимого и Уф-света. Результаты представлены на рис. 6.

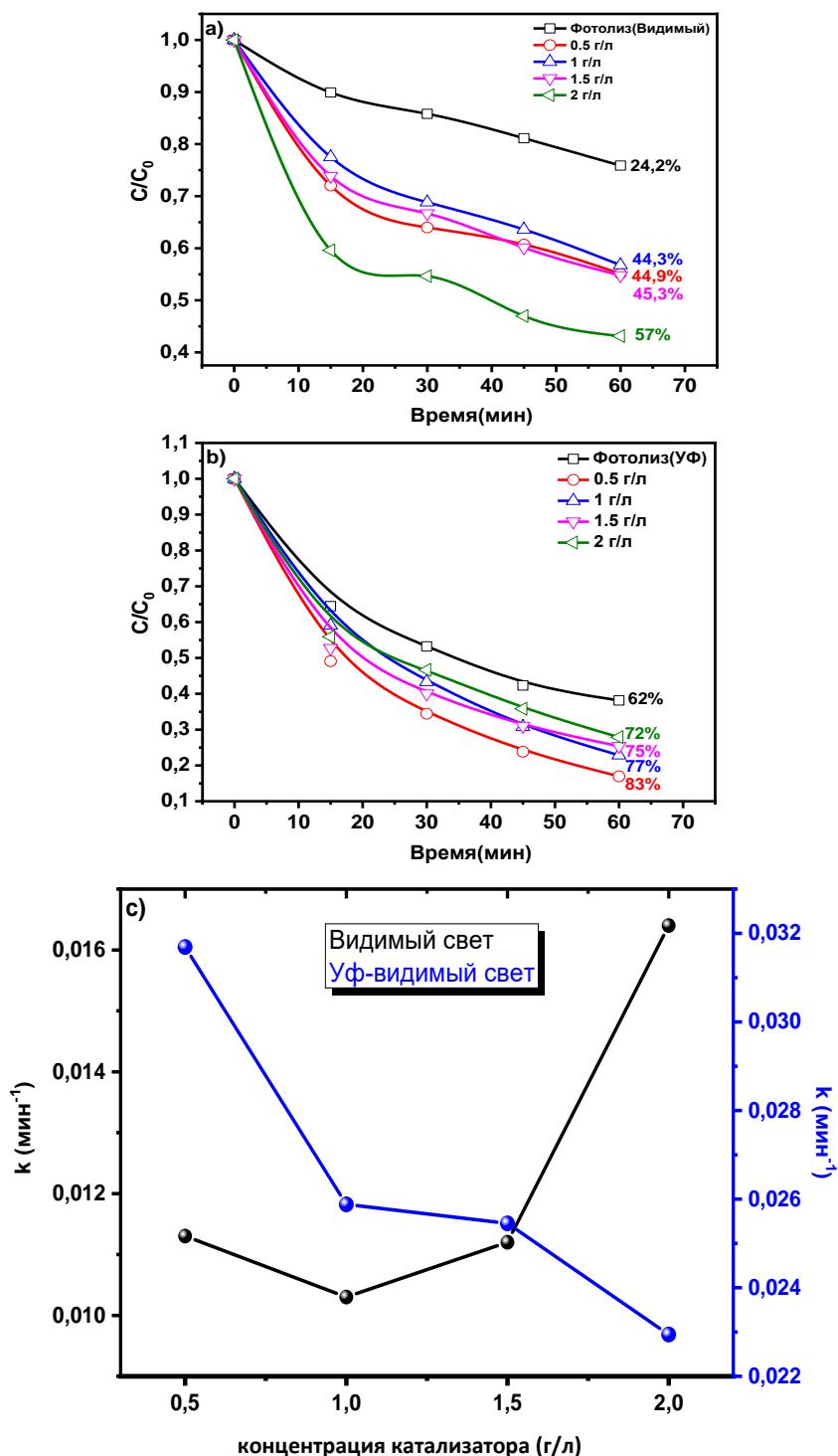


Рис. 6. Кривые фотодеструкции МС при облучении видимым (а) и УФ-светом (б) с использованием исходного порошка B_4C . Зависимость константы скорости от концентрации катализатора (с)

На рис. 6а, б показаны зависимости фотокаталитической активности от концентрации катализатора в растворе (0.5, 1, 1.5, 2 г/л) при облучении видимым и УФ-светом. При использовании видимого света наибольшая степень фотодеструкции МС наблюдается при концентрации 2 г/л и составляет 57 % за 60 минут, в то же время для фотолиза

при тех же условиях степень деструкции достигает только 24.2 %. При концентрациях катализатора 0.5, 1.0, 1.5 г/л степень деструкции составляет 44.9, 44.3 и 45.3 % соответственно. При облучении УФ-светом наблюдается другая зависимость. Наибольшая фотокаталитическая активность (83 %) достигается при концентрации 0.5 г/л, тогда как для концентраций 1, 1.5, 2 г/л степень деструкции составила 77, 75, 72 % соответственно. В холостом эксперименте без фотокатализатора степень деструкции составила 62 %.

Константы скорости реакции, показанные на рис. 6c, вычислены по уравнению псевдопервого порядка (1):

$$kt = \ln \frac{C}{C_0} \quad (1)$$

Из рис. 6b видно, что фотокатализатор проявляет инверсионную активность в зависимости от источника излучения. При видимом свете и увеличении концентрации ФК с 0.5 по 2 г/л скорость реакции возрастает в 1.7 раза, а при использовании УФ-света скорость реакции уменьшается в 1.34 раза. Дальнейшие эксперименты для ФК, обработанных УЗ, проводили для концентраций порошка B₄C с максимальной активностью.

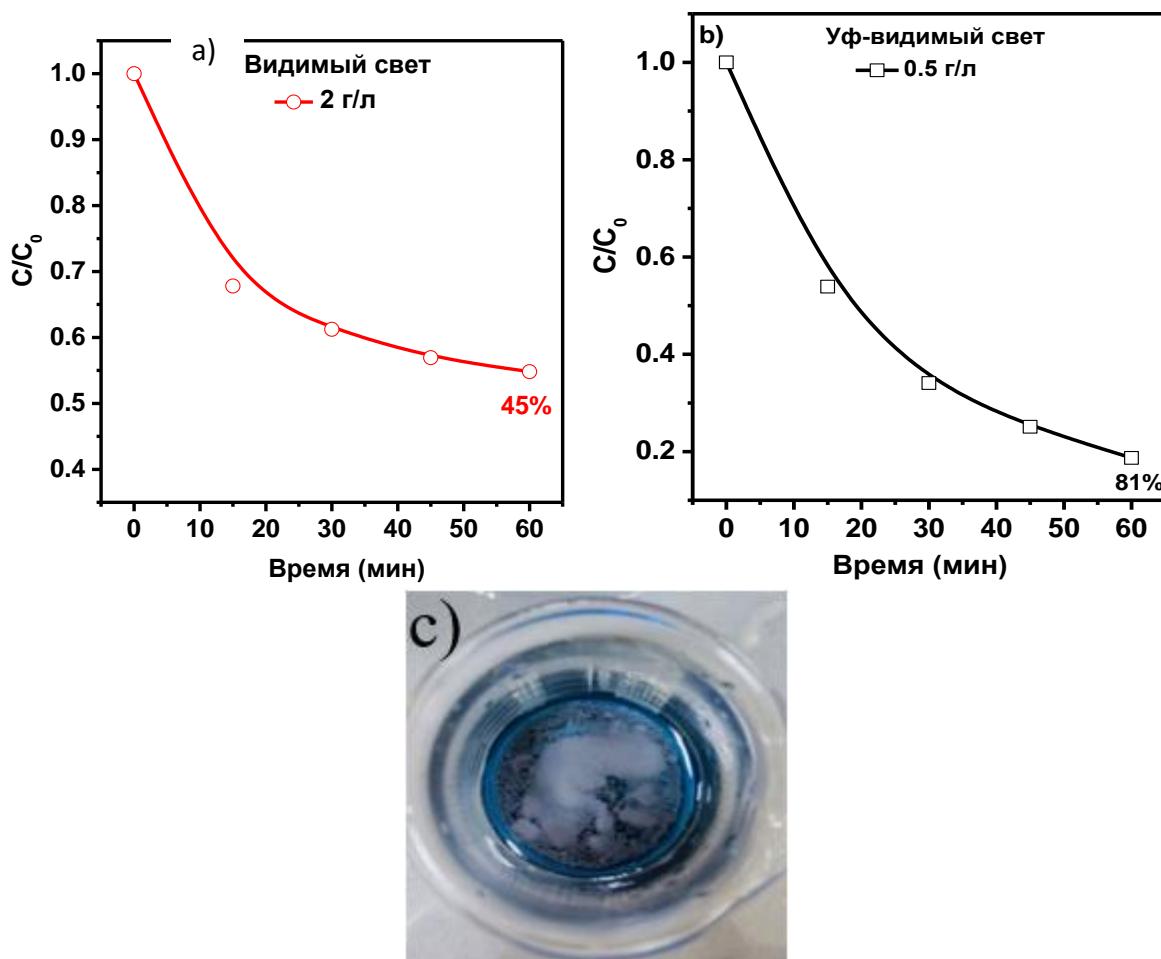


Рис. 7. Кривые разложения обработанных порошков B₄C (УЗ) при облучении видимым (a) и УФ-светом (b); углеродная пленка, образующаяся во время фотокатализа (c)

Как видно из рис. 7a, видно, что порошки, обработанные в ультразвуке с концентрацией 2 г/л, показали уменьшение фотоактивности с 57 до 45 % при видимом свете. При облучении УФ-светом эффективность катализатора с концентрацией 0.5 г/л

уменьшилась до 81 % по сравнению с 83 %. Это может быть связано с тем, что при облучении УФ-светом кроме модификации поверхности катализатора происходит высвобождение углерода, как это было показано на спектрах КР. Углерод при фотокатализе образует на поверхности раствора плотную пленку (рис. 7c), препятствуя проникновению света в объем раствора. Чем выше концентрация катализатора тем более этот эффект выражен.

Заключение

В статье было рассмотрено влияние УЗ обработки на морфологические структурные и фотокаталитические свойства коммерческого порошка карбида бора. Показано, что УЗ обработка приводит к уменьшению размеров зерен с 40–50 мкм до 17–27 мкм и повышению шероховатости за счет эффекта кавитации, к формированию на поверхности частиц графитоподобных структур, о наличии которых свидетельствуют характерные пики для D- и G-полос в КР спектрах при 1340 и 1580 см⁻¹.

По результатам фотокаталитического разложения метиленового синего эффективность необработанных порошков составила 45 % и 81 % при облучении видимым и УФ-светом соответственно. Показано, что при облучении видимым светом увеличение концентрации катализатора приводит к повышению активности, а при облучении УФ-светом – к уменьшению. УЗ обработка приводит к уменьшению ФК активности карбида бора.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП Дагестанского государственного университета «Аналитическая спектроскопия».

Литература

1. Karpińska J., Kotowska U. Removal of organic pollution in the water environment // Water. 2019. Vol. 11, no. 10. – Pp. 2017.
2. Xie J., et al. Removal of organic pollutants by surfactant modified zeolite: Comparison between ionizable phenolic compounds and non-ionizable organic compounds // Journal of hazardous materials. 2012. Vol. 231. – Pp. 57–63.
3. Jun D.U., et al. Hydrophilic and photocatalytic performances of lanthanum doped titanium dioxide thin films // Journal of Rare Earths. 2013. Vol. 31, no. 10. – Pp. 992–996.
4. Ma W., et al. Efficient degradation of organic pollutants by using dioxygen activated by resin-exchanged iron (II) Bipyridine under visible irradiation // Angewandte Chemie. 2003. Vol. 115, no. 9. – Pp. 1059–1062.
5. Hu J.S., et al. Mass production and high photocatalytic activity of ZnS nanoporous nanoparticles // Angewandte chemie. 2005. Vol. 117, no. 8. – Pp. 1295–1299.
6. Оруджев Ф.Ф. и др. Кинетика фотокаталитического окисления фенола на CuO-TiO₂ под давлением кислорода // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1: Естественные науки. 2016. Т. 31, вып. 3. – С. 68–75.
7. Исаев А.Б. и др. Гидротермальный синтез нанотрубок анатаза и исследование их фотокаталитической активности под давлением кислорода // Вестник Дагестанского государственного университета. Сер. 1: Естественные науки. 2018. Т. 33, вып. 1. – С. 92–102.
8. Kudo A., Sekizawa M. Photocatalytic H₂ evolution under visible light irradiation on Ni-doped ZnS photocatalyst // Chemical Communications. 2000. no. 15. – Pp. 1371–1372.

9. Zhang Z., et al. Au/Pt nanoparticle-decorated TiO₂ nanofibers with plasmon-enhanced photocatalytic activities for solar-to-fuel conversion // The Journal of Physical Chemistry C. 2013. Vol. 117, no. 49. – Pp. 25939–25947.
10. Liu L., et al. Silver-incorporated bicrystalline (anatase/brookite) TiO₂ microspheres for CO₂ photoreduction with water in the presence of methanol // Applied Catalysis A: General. 2013. Vol. 467. – Pp. 474–482.
11. Cao L., et al. Carbon nanoparticles as visible-light photocatalysts for efficient CO₂ conversion and beyond // Journal of the American Chemical Society. 2011. Vol. 133, no. 13. – Pp. 4754–4757.
12. Paul A.K., Madras G., Natarajan S. Adsorption–desorption and photocatalytic properties of inorganic–organic hybrid cadmium thiosulfate compounds // Physical Chemistry Chemical Physics. 2009. Vol. 11, no. 47. – Pp. 11285–11296.
13. Du J.J., et al. New photocatalysts based on MIL-53 metal–organic frameworks for the decolorization of methylene blue dye // Journal of hazardous materials. 2011. Vol. 190, no. 1–3. – Pp. 945–951.
14. Bai S., et al. Defect engineering in photocatalytic materials // Nano Energy. 2018. Vol. 53. – Pp. 296–336.
15. Chen X., et al. Semiconductor-based photocatalytic hydrogen generation // Chemical reviews. 2010. Vol. 110, no. 11. – Pp. 6503–6570.
16. Wang Y., Wang X., Antonietti M. Polymeric graphitic carbon nitride as a heterogeneous organocatalyst: from photochemistry to multipurpose catalysis to sustainable chemistry // Angewandte Chemie International Edition. 2012. Vol. 51, no. 1. – Pp. 68–89.
17. Zhu Q., et al. Nickel boride cocatalyst boosting efficient photocatalytic hydrogen evolution reaction // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2018. Vol. 57, no. 24. – Pp. 8125–8130.
18. Fang Y., Fu X., Wang X. Diverse polymeric carbon nitride-based semiconductors for photocatalysis and variations // ACS Materials Letters. 2020. Vol. 2, no. 8. – Pp. 975–980.
19. Watts J.L., et al. Morphology control in high yield boron carbide // Ceramics International. 2017. Vol. 43, no. 2. – Pp. 2650–2657.
20. Champagne B., Angers R. Mechanical properties of hot-pressed B–B₄C materials // Journal of the American Ceramic Society. 1979. Vol. 62, no. 3–4. – Pp. 149–153.
21. Medwick P.A., Fischer H.E., Pohl R.O. Thermal conductivity and specific heat of boron carbides // Journal of alloys and compounds. 1994. Vol. 203. – Pp. 67–75.
22. Belon R., et al. Mechanical behaviour at high temperature of spark plasma sintered boron carbide ceramics // Ceramics International. 2017. Vol. 43, no. 8. – Pp. 6631–6635.
23. Singh P., et al. Nanostructured boron carbide (B₄C): A bio-compatible and recyclable photo-catalyst for efficient wastewater treatment // Materialia. 2018. Vol. 1. – Pp. 258–264.
24. Liu J., et al. Boron carbides as efficient, metal-free, visible–light–responsive photocatalysts // Angewandte Chemie International Edition. 2013. Vol. 52, no. 11. – Pp. 3241–3245.
25. Chang H., et al. B₄C₃ monolayer with impressive electronic, optical, and mechanical properties: a potential metal-free photocatalyst for CO₂ reduction under visible light // The Journal of Physical Chemistry C. 2019. Vol. 123, no. 41. – Pp. 25091–25101.

26. Backes C., et al. Guidelines for exfoliation, characterization and processing of layered materials produced by liquid exfoliation // Chemistry of materials. 2017. Vol. 29, no. 1. – Pp. 243–255.
27. Davtyan D., et al. Microwave synthesis of B₄C nanopowder for subsequent spark plasma sintering // Journal of Materials Research and Technology. 2019. Vol. 8, no. 6. – Pp. 5823–5832.
28. Werheit H. On excitons and other gap states in boron carbide // Journal of Physics: Condensed Matter. 2006. Vol. 18, no. 47. – Pp. 10655.
29. Domnich V., et al. Boron carbide: structure, properties, and stability under stress // Journal of the American Ceramic Society. 2011. Vol. 94, no. 11. – Pp. 3605–3628.
30. Hushur A., et al. High-pressure phase transition makes B₄C₃ boron carbide a wide-gap semiconductor // Journal of Physics: Condensed Matter. 2016. Vol. 28, no. 4. – Pp. 045403.
31. Muthoosamy K., Manickam S. State of the art and recent advances in the ultrasound-assisted synthesis, exfoliation and functionalization of graphene derivatives // Ultrasonics sonochemistry. 2017. Vol. 39. – Pp. 478–493.
32. Johra F.T., Lee J.W., Jung W.G. Facile and safe graphene preparation on solution-based platform // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2014. Vol. 20, no. 5. – Pp. 2883–2887.
33. Johra F.T., Lee J.W., Jung W.G. Facile and safe graphene preparation on solution based platform // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2014. Vol. 20, no. 5. – Pp. 2883–2887.
34. Fox F.E., Herzfeld K.F. Gas bubbles with organic skin as cavitation nuclei // The Journal of the Acoustical Society of America. 1954. Vol. 26, no. 6. – Pp. 984–989.
35. Guo Y., et al. Exfoliation of boron carbide into ultrathin nanosheets // Nanoscale. 2021. Vol. 13, no. 3. – Pp. 1652–1662.

Поступила в редакцию 27 февраля 2023 г.

UDC 544.478.01

DOI: 10.21779/2542-0321-2023-38-1-75-87

The Effect of Ultrasonic Treatment on the Photocatalytic Activity of Boron Carbide B₄C

**D.A. Selimov¹, A.A. Rabadanova¹, A.O. Shuaibov¹, M.G. Abdurakhmanov¹,
R.R. Gyulakhmedov¹, Sh.M. Ramazanov², F.F. Orudzhev¹**

¹ Dagestan State University, Laboratory «Smart Materials»; Russia, 367000, Makhachkala, M. Gadzhiev st., 43a; daud-selimov@live.com

² Institute of Physics after H.I. Amirkhanov of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; Russia, 367030, Makhachkala, M. Yaragsky st., 94

In this work, the effect of ultrasonic (US) treatment on the morphological, structural, and photocatalytic properties of commercial boron carbide powder was studied. The powders were characterized by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and Raman spectroscopy. It was shown that B₄C has a rhombohedral structure with a carbon impurity. The effect of ultrasonic treatment and B₄C concentration on photocatalytic activity under UV-visible and visible light irradia-

tion was studied. It is shown that ultrasonic treatment leads to the decrease in grain size from 40–50 μm to 17–27 μm and the increase in roughness due to the cavitation effect. Ultrasonic treatment leads to the formation of the graphite-like structures on the surface of the particles, the presence of which is evidenced by the characteristic peaks for the D- and G-bands in the Raman spectra at 1340 and 1580 cm^{-1} . It is shown that under visible irradiation, an increase in the concentration of the catalyst leads to an increase in activity, and under UV-visible irradiation, to a decrease. The ultrasound treatment leads to the decrease in the FC activity of boron carbide.

Keywords: *photocatalysis, semiconductor, boron carbide, ultrasound, boron.*

Received 27 February 2023