Uzbek Journal of Physics
25(1), 73-76, 2023. DOI: https//doi.org/ 10.52304/.v25i1.409

Письмо в редакцию

Природа центров люминесценции кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках

У. Юлдашев, А.А. Мустафакулов*

Джизакский политехнический институт, ул.И.Каримова 4, 130100, Джизак, Узбекистан

Получена 19.05.2022, revised 15.02.2023

* Corresponding author: e-mail asrormustafakulov@gmail.com, Phone: +998 90 264 4881

В данной работе исследована кинетика полос гамма-люминесценции (ГЛ) в кристаллах кварца, выращенных на затравках, облученных нейтронами дозой 5×10^{18}, 10^{19} и 5×10^{19} н/см^2, после дополнительного нейтронного облучения 10^{16}–8×10^{20} н/см^2 в области температур 77–300 К. На основе анализа люминесцентных свойств изучена природа собственных дефектов структуры кристаллов кварца, их роль в образовании центров окраски и свечения. На основе анализа экспериментальных данных исследованием люминесцентных свойств кристаллов кварца показано, что в кристаллах, выращенных на нейтронно-облученных затравках наблюдается эффект "радиационной наследственности" – наследование радиационно-наведенных точечных дефектов, β-фазы и метамиктной фазы кристаллов кварца наросшим слоем.

Ключевые слова: кварц, затравка, нейтронное и гамма облучение, люминесценция, зародыши фаз.

The kinetics of gamma-luminescence bands (GL) in quartz crystals grown on seeds irradiated with neutrons at a dose of 5×10^{18}, 10^{19} and 5×10^{19} n/cm^2 after additional neutron irradiation of 10^{16}–8×10^{20} n/cm^2 in the temperature range of 77–300 K. Based on the analysis of luminescent properties, the nature of intrinsic defects in the structure of quartz crystals, their role in the formation of color and glow centers has been studied. Based on the analysis of experimental data, the study of the luminescent properties of quartz crystals has shown that in crystals grown on neutron-irradiated seedings there is an effect of "radiation heredity" – inheritance of radiation-induced point defects, β-phase and metamict phases of quartz crystals with an overgrown layer.

Keywords: quartz, seed, neutron and gamma irradiation, luminescence, phase germ.

I. Введение

Фундаментом современной науки и техники является получение материалов с прогнозируемыми свойствами. В связи с этим большое внимание уделяется вопросам, связанным с синтезом и ростом кристаллических веществ. Искусственный кварц широко используется в современных оптических приборах. Из него делают призмы для спектрографов, монохро-маторов, линзы для ультрафиолетовой оптики. Пьезокварц используется для изготовления стаби-лизаторов частоты, фильтров, резонаторов, в ультразвуковых установках. Однако влияние различных структурных неоднородностей кварца на кинетику фазовых превращений в них при нейтронном облучении исследованы недостаточно.

Данная работа посвящена выращиванию и исследованию кристаллов кварца на облученных затравках с целью получения новых кристаллических веществ с заданными структурными и радиационно-оптическими характеристиками.

II. Образцы для исследования и методика эксперимента

Исследованные нами кристаллы кварца выращены в Российском научно-исследовательском институте минерального сырья (РНИИСИМС, Александров) в стальных автоклавах под давлением 100 МПа в 3% растворе NaOH методом температурного градиента при 340±10°С. Кристаллы выращивали на специальных затравках, помещенных в автоклав, заполненный водным раствором щелочи. Скорость роста кристаллов довольно высокая, может достигать 1 мм в сутки [1]. Выращенные кристаллы были высокого качества с одинаковыми свойствами. Синтез идет при температуре примерно 350–400°С и давлении около 1000 атмосфер [2].

Спектры гамма-люминесценции (ГЛ) снимали при температурах 77 и 300 К на монохроматоре SPM, свечение регистрировали с помощью фотоумножителя ФЭУ-39. ГЛ возбуждалась γ-лучами ^{60}Co мощностью 1700 Р/с (в Институте ядерной физики АН РУз). Спектры термолюминесценции (ТЛ) при различных температурах снимали с помощью спектрофлюориметра MPF-2A в области 200–700 нм.

III. Результаты исследований и обсуждение

В спектре ГЛ кристалла кварца, выращенного на нейтронно-облученной дозой 5×10^{18} н/см^2 затравке, наблюдается одна полоса свечения с максимумом при 520 нм (рис. 1, кривая *а*). В кристалле, затравка которого облучена дозой 10^{19} н/см^2, наблюдается полоса с максимумом при 540–550 нм (рис. 1, кривая *б*). Возможно, что в коротковолновой части свечения существует менее интенсивная полоса. Термолюминесценция (ТЛ) кристалла кварца, выращенного на облученной дозой 5×10^{19} н/см^2 затравке, состоит из двух полос с максимумами 550 и 460 нм (рис. 1, кривая *в*). При этом полоса 550 нм более интенсивна, чем полоса 460 нм.

В работе [3] в спектре ГЛ нейтронно-облученного дозой 10^{17} н/см^2 кристалла кварца обнаружена полоса 520 нм. Интенсивность ее увеличивается с дозой до 10^{19} н/см^2. При дальнейшем увеличении дозы интенсивность полосы 460 и 550 нм уменьшается. При дозе ~2×10^{20} н/см^2 наблюдается только полоса 460 нм. Согласно [3, 4], полосы ГЛ 550 и 460 нм в нейтронно-облученных кристаллах кварца связаны с β- и метамиктной фазами кварца соответственно.

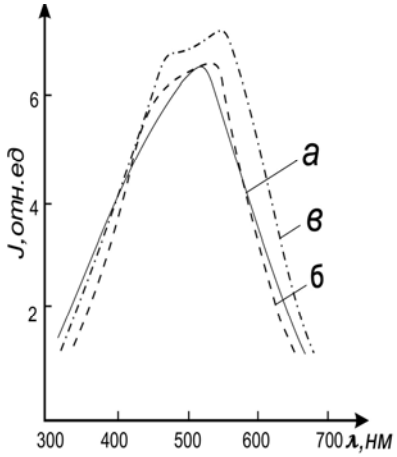


Рисунок 1. Спектры ГЛ кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках: (а) доза 5×10^{18} н/см^2, полоса свечения с максимумом при 520 нм; (б) доза 10^{19} н/см^2, полоса с максимумом при 540–550 нм; (в) доза 5×10^{19} н/см^2, две перекрывающиеся полосы с максимумами 550 и 460 нм.

Исследованные полосы ГЛ 520, 550, 460 нм нейтронно-облученных кристаллов кварца обнаруживаются, как выше отмечалось, и в кристаллах, выращенных на нейтронно-облученных затравках. При малых дозах ($\leq10^{19}$ н/см^2) в обеих партиях образцов наблюдается одна полоса свечения с максимумом 520 нм. Это свидетельствует, что и в нейтронно-облученном кристалле, и в кристалле, выращенном на нейтронно-облученной затравке, существует один и тот же дефект, который обусловливает данное свечение. Исходя из этого, можем предположить, что нейтронно-наведенный дефект затравки наследуется наросшим слоем в процессе роста.

Проведенные исследования кинетики полос ФЛ и ГЛ в области 77–300 К в зависимости от дозы нейтронов приведены на рис. 2. Видно, что возникают полосы фотолюминесценции с максимумами 550 и 660 нм, интенсивность полосы 550 нм увеличивается вплоть до 10^{19} н/см^2. При этом интенсивность полосы ГЛ 660 нм выше, чем ФЛ 550 нм. Дальнейшее повышение дозы

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

приводит к уменьшению их интенсивностей (рис. 2). В кристаллах, облученных дозой 2×10^{20} н/см^2, появляется полоса 460 нм.

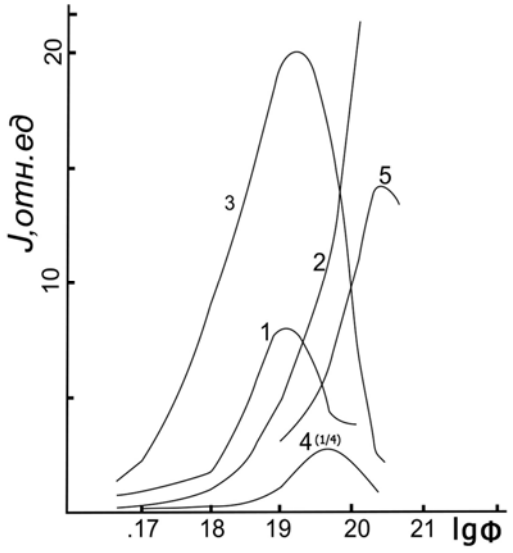


Рисунок 2. Зависимости интенсивностей полос ФЛ 550 нм (1), 660 (2), 840 нм (4) и ГЛ 660 (3), 460 нм (5) от флюенса нейтронов.

В [5] показано, что полосы 550 и 460 нм соответственно обусловлены β- и метамиктной фазами кварца. Тогда можно считать, что увеличение интенсивности полосы 550 нм с дозой нейтронного облучения обусловлено ростом концентрации β-фазы [6-9]. Уменьшение ее интенсивности при дозе выше 10^{19} н/см^2 свидетельствует о том, что при этом наблюдается взаимодействие между зародышами β-фазы, которое обусловливает уменьшение количества β-фазы и увеличение метамиктной фазы [10]. Уменьшение интенсивности полосы 660 нм с ростом количества метамиктной фазы не согласуется с данными, предполагающими, что ее интенсивность характеризует долю аморфной фазы в нейтронно-облученных кристаллах, поскольку немостиковые атомы кислорода стабильно существуют только в стеклообразном состоянии [11-12]. Это, по-видимому, обусловлено тем, что до дозы 10^{19} н/см^2 в кристаллах кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках, зародыши β-фазы обеспечивают стабилизацию немостиковых атомов кислорода. При дозе $>10^{19}$ н/см^2 взаимодействие между зародышами β-фазы приводит к уменьшению числа немостиковых атомов кислорода.

IV. Заключение

На основе результатов исследований ГЛ, перераспределения интенсивностей полос фотолюминесценции кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках, и кристаллов, облученных нейтронами, показано, что существуют идентичные полосы с максимумами 460 и 550 нм. Изменение интенсивности полосы 550 нм коррелирует с изменением количества β-фазы. Последовательность появления полосы 550 нм и полосы 460 нм, приписываемой метамиктной фазе кварца, согласуется с тем, что переход метамиктной фазы происходит через β-фазу кварца.

Метаданные

The nature of the luminescence centers of quartz crystals grown on neutron-irradiated seedings

U. Yuldashev, A.A. Mustafakulov

Jizzakh Polytechnic Institute, I. Karimov str. 4, 130100, Jizzakh, Uzbekistan

The kinetics of gamma-luminescence bands (GL) in quartz crystals grown on seeds irradiated with neutrons at a dose of 5×10^{18}, 10^{19} and 5×10^{19} n/cm^2 after additional neutron irradiation of 10^{16}–8×10^{20} n/cm^2 in the temperature range of 77–300 K. Based on the analysis of luminescent properties, the nature of intrinsic defects in the structure of quartz crystals, their role in the formation of color and glow centers has been studied. Based on the analysis of experimental data, the study of the luminescent properties of quartz crystals has shown that in crystals grown on neutron-irradiated seedings there is an effect of "radiation heredity" – inheritance of radiation-induced point defects, β-phase and metamict phases of quartz crystals with an overgrown layer.

Keywords: quartz, seed, neutron and gamma irradiation, luminescence, phase germ.

Литература (References)

[1] A.V. Peskov, Ye.V. Alekina, Ye.Yu. Tarasova. Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya No.11, 95-100 (2020).
[2] Yu.A. Kokurin, Ye.A. Morozova, V.S. Muratov. Fundamentalnie Issledovaniya No.5, 55-56 (2009).
[3] R.T. Khaydarov, H.B. Beisinbaeva, G.R. Berdiyorov, R.R Khaydarov. Journal of Modern Physics **5**, No.12, 1055-1062 (2014).
[4] A.A. Mustafakulov, I. Nuritdinov, M.X. Samadov, B. Astanov, N.A. Taylanov, M.X. Suyarova, B.A. Narimonov. Uzbekskiy fizicheskiy jurnal **20**, No.2, 134-136 (2018).
[5] A.A. Mustafakulov, O.N. Olimov, A.G. Parsokhonov, A.A. Akhmedov, O.U. Nurullaev. In: Sb. III International

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT-III, 2022).
[6] S.G. Boboyarov, Z.D. Ibragimov, A.A. Mustafakulov, I. Nuritdinov, R.T. Turdiev. In: 6-aya Mejdunarodnaya konf. “Yadernaya i Radiatsionnaya Fizika” (Almatы, Kazakhstan 343-344, 4-7 Iyun 2007).
[7] A.A. Mustafakulov, I. Nuritdinov, U.T. Axmadjonova, N.M. Jo‘raeva. Mendeleev el. nauchniy jurnal. Teoreticheskaya i prikladnaya fizika **6**, No.2, 4-7 (2020).
[8] Sh. Vakhidov. J. Cryst. Lattice Defects Amorphous Mater. **13**, No.3/4, 241-244 (1987).
[9] F. Arzikulov, A.A. Mustafakulov, Sh. Boltaev. MSNS “Nauka i prosveshenie” Pod red. G.Yu. Gulyaeva (Penza, 2020).. ISBN 978-5-00159-674-5 2020-yil 25-dekabr 139-152-str.
[10] M.K. Ashurov, S.G., Boboyarova, Z.D. Ibragimov, A.A. Mustafakulov, R.T. Turdiev, O.B. Khushvakov, A.D. Yuldashev. Tez. dokl. Mejd. konf. «Sovr. problemy yadernoy fiziki» (Samarkand, 1997).
[11] A.K. Islamov, E.M. Ibragimova, I. Nuritdinov. Journal of Nuclear Materials **362**, No.2-3, 222-226 (2007).
[12] I.N. Sedunova, V.Yu. Ivanov, V.N. Churmanov, I.L. Vitovskiy, B.V. Shulgin, L.V. Viktorov, V.I. Arbuzov, K.V. Dukelskiy, C. Pedrini, K. Lebbou, T.S. Koroleva, M.M. Kidibaev. Izv. VUZov. Fizika **54**, No.1-3, 212-217 (2011) (Tomsk, Izdanie Tomskogo universiteta).

Нейтронлар билан нурлантирилган затравкаларда ўстирилган кварц кристалларидаги люминесценция марказ-ларининг табиати

У. Юлдашев, А.А. Мустафакулов

Жиззах политехника институти, И. Каримов кўч. 4, 130100, Жиззах, Узбекистон

Бу ишда 5×10^{18}, 10^{19} ва 5×10^{19} н/см^2 дозаларда нейтронлар билан нурлантирилган затравкаларда ўстирилган кварц кристаллари қўшимча равишда нейтронлар билан 10^{16}–8×10^{20} н/см^2 дозаларда нурлантирилгандан сўнг 77–300 К ҳароратларда гамма-люминесценция (ГЛ) усулида текширилган. Люминесценция хусусиятларини таҳлил қилиш асосида, кварц кристалларидаги хусусий нурланиш ва бўялиш марказларининг табиати ўрганилган. Тажриба натижаларини таҳлили ва кварц кристалларининг люминесцент хусусиятларини ўрганиш асосида нейтрон билан нурлантирилган затравкаларда ўстирилган кристалларда "радиацион ирсият" эффекти мавжудлиги, яъни радиацион нуқсонларни, β-фаза, метамикт фазаларни затравкалардан ўсувчи қатламларга маълум миқдорда ўтиши кўрсатиб берилган.

Калит сўзлар: кварц, затравка, нейтрон ва гамма нурланиш, люминесценция, фаза заррачаси

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.