

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ СТЕКЛАМИ

А.Л. Козловский^{1), 2)}

¹⁾Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²⁾Институт ядерной физики Министерства Энергетики, Алматы, Казахстан,
kozlovskiy.a@inp.kz

В работе представлены результаты исследования эффективности экранирования гамма-излучения с энергиями от 130 до 1270 кэВ $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ стеклами с различным соотношением WO_3 и Bi_2O_3 . Анализ полученных образцов с применением метода рентгеновской дифракции показал, что вне зависимости от концентрации WO_3 и Bi_2O_3 природа стекол остается аморфной. Однако увеличение Bi_2O_3 в составе стекол приводит к увеличению прочности и твердости стекол, а также повышению устойчивости к трещинообразованию. В качестве экспериментов для оценки экранирующих характеристик были выбраны три типа источников гамма-излучения с энергиями 130, 660 и 1270 кэВ. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что наибольшей эффективностью экранирования обладают структуры с большим содержанием в составе Bi_2O_3 .

Ключевые слова: стекла; эффективность экранирования; ионизирующее излучение; гамма-кванты.

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF SHIELDING OF GAMMA RADIATION OF $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ BY GLASSES

A.L. Kozlovskiy^{1), 2)}

¹⁾L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

²⁾The Institute of Nuclear Physics of Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

The paper presents the results of a study of the efficiency of screening gamma radiation with energies from 130 to 1270 keV $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$ glasses with different ratios of WO_3 and Bi_2O_3 . Analysis of the obtained samples using the X-ray diffraction method showed that, regardless of the concentration of WO_3 and Bi_2O_3 , the nature of the glasses remains amorphous. However, an increase in Bi_2O_3 in the composition of glasses leads to an increase in the strength and hardness of glasses, as well as an increase in resistance to cracking. Three types of gamma radiation sources with energies of 130, 660, and 1270 keV were chosen as experiments to evaluate the shielding characteristics. In the course of the experiments, it was found that the structures with a high content of Bi_2O_3 have the highest screening efficiency.

Keywords: glass; shielding efficiency; ionizing radiation; gamma quanta.

Введение

В последние годы одними из перспективных защитных материалов, обладающих достаточно хорошей прозрачностью, являются аморфноподобные стекла или керамики на основе TeO_2 , WO_3 , SiO_2 , Bi_2O_3 , Sm_2O_3 , Nb_2O_5 , MoO , NaO , CeO_2 и т.д. [1-3]. Интерес со стороны исследователей к данным структурам обусловлен их уникальным сочетанием структурных, оптических, прочностных свойств, а также высокой плотностью, сравнимой с плотностью свинца. Большой интерес среди всех комбинаций данных оксидов представляют структуры на основе TeO_2 , WO_3 и Bi_2O_3 , обладающие не только хорошими

показателями прочности и оптических характеристик, но и высокими показателями экранирующих характеристик [4, 5]. Особенностью данного класса материалов является их прочность и твердость, что позволяет их использовать в условиях повышенного трения, а высокая устойчивость к деградации и химическая инертность делает данные стекла перспективными кандидатами для использования их в агрессивных средах.

На основании вышесказанного, данная работа посвящена исследованию влияния допирования Bi_2O_3 стекол на основе $\text{TeO}_2\text{-WO}_3$, а также оценке их прочностных, оптических и экранирующих характеристик.

Экспериментальная часть

В качестве исходных компонент для синтеза стекол были выбраны следующие оксиды TeO_2 , WO_3 и V_2O_5 . После перемалывания в планетарной мельнице полученные образцы подвергались термическому спеканию в муфельной печи при температуре 1000°C в течение 5 ч с последующей закалкой на воздухе. После отжига исследуемые образцы представляли собой пластинки зеленоватого и желтого цвета, обладающие высокой прозрачностью.

Согласно данным рентгеновской дифракции исследуемые образцы обладают аморфной природой, так как на анализируемых дифрактограммах не было обнаружено четких рефлексов, характерных для кристаллических фаз. Полученные данные свидетельствуют о том, что выбранные условия синтеза (перемалывание и последующий отжиг при температуре 1000°C) позволяют получать аморфные стекла.

Определение влияния допирования V_2O_5 на экранирующие характеристики синтезированных стекол проводилась путем определения прошедшей интенсивности через стекло толщиной 10 мм от источников гамма-квантов Co^{57} , Cs^{137} , Na^{22} с энергиями 130, 660 и 1270 кэВ, соответственно.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлен график изменения величины ослабления потока гамма-квантов от трех источников Co^{57} , Cs^{137} , Na^{22} с энергиями 130, 660 и 1270 кэВ, соответственно. Величина эффективности экранирования вычислялась на основе полученных значений интенсивностей спектров гамма-излучения I и I_0 до и после экранирования.

Как видно из представленных данных, в случае низкоэнергетических гамма-квантов, генерируемых источником Co^{57} , эффективность экранирования для всех образцов превышает 75 %, что составляет ослабление потока на три четверти. При

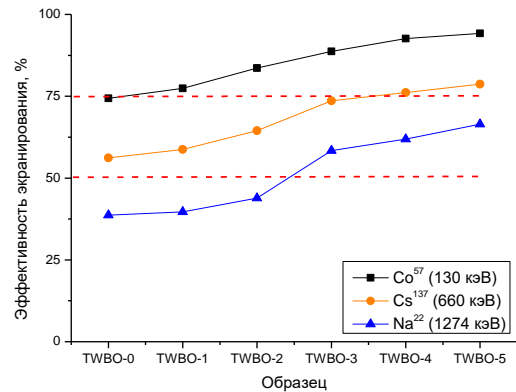


Рис. 1. Данные результатов ослабления потока гамма-квантов с различной энергией после прохождения через экранирующее стекло (пунктирными линиями обозначены положения ослабления потока гамма-квантов на половину и три четверти от начального значения интенсивности)

Fig. 1. Data on the results of attenuation of the flux of gamma quanta with different energies after passing through the screening glass (dashed lines indicate the positions of attenuation of the flux of gamma quanta by half and three quarters of the initial value of the intensity)

этом для образцов TWBO-4 and TWBO-5 эффективность экранирования составляет более 93 %, что свидетельствует о том, что практически все гамма-кванты поглощаются в данных стеклах.

В случае гамма-квантов, генерируемых источником Cs^{137} величина эффективности экранирования составляет от 56 до 78 %. При этом, как и в случае с гамма-квантами с энергией 130 кэВ, наибольшей эффективностью экранирования обладают образцы TWBO-4 and TWBO-5 для которых наблюдается снижение эффективности потока гамма-квантов на величину более 75 %. Для гамма-квантов с энергией более 1.0 МэВ, которым характерно преобладание процессов образования электрон-позитронных пар над процессами фотоэффекта и Комптона эффекта, эффективность экранирования при заданной толщине стекол составляет от 35 до 65 %. При этом для трех образцов TWBO-3, TWBO-4 and TWBO-5 эффективность экранирования выше 50 %, что соответствует поглощению более половины гамма-квантов и снижению интенсивности потока в два раза. Такие показатели сви-

детельствуют о том, что добавление Bi_2O_3 в процентном содержании выше 15 % приводит к существенному увеличению эффективности экранирования.

Как известно, для низкоэнергетических гамма-квантов, характерным процессом взаимодействия с веществом являются процессы фотоэффекта, при котором происходит полное поглощение гамма-кванта атомом, сопровождающего вылетом электрона с атомной оболочки. При этом выбитые электроны хорошо поглощаются электронными ловушками, возникающими в результате изменения величины края фундаментального поглощения. Также при данных энергиях гамма-квантов в процесс взаимодействия гамма-квантов с веществом вносит свой вклад процесс упругого соударения гамма-квантов с атомами вещества (так называемый процесс когерентного рассеяния или релеевское рассеяние). При этом в таком взаимодействии не происходит ни процессов ионизации, ни процессов возбуждения атомов. Для высокоэнергетических гамма-квантов процессы взаимодействия сопровождаются образованием электрон-позитронных пар в большей степени, чем все остальные процессы. Образование электрон-позитронных пар в структуре стекол может привести к формированию каскадов вторичных частиц (электронов и позитронов), которые также оказывают влияние на экранирующие свойства материалов. В свою очередь, измененная электронная структура стекол с образованными в ней дополнительными поглощающими ловушками за счет эффекта допирования может привести к поглощению электронов, тем самым снижая интенсивность потока гамма-излучения.

Заключение

В работе представлены результаты исследования прочностных, оптических и

экранирующих гамма-излучение характеристик защитных стекол типа $0.5\text{TeO}_2\text{-(}0.5\text{-x)WO}_3\text{-xBi}_2\text{O}_3$. В качестве компонента допанта, относительно которого рассматривалось изменение всех вышеуказанных свойств, был выбран Bi_2O_3 . Согласно полученным данным экранирующих характеристик наибольшей эффективностью экранирования обладают образцы TWBO-4 и TWBO-5, для которых наблюдается снижение интенсивности гамма-квантов, которое варьируется от 50 % (для гамма-квантов с энергией 1270 кэВ) до 75 % и 96 % для гамма-квантов с энергией 660 кэВ и 130 кэВ соответственно. Величина эффективности экранирования выше 50 % для образцов TWBO-4 и TWBO-5 в случае экранирования гамма-квантов с энергией 1270 кэВ обусловлена наличием дополнительных электронных ловушек и полос поглощения, приводящих к дополнительному поглощению образовавшихся электрон-позитронных пар.

Библиографические ссылки/ References

1. Sayyed M.I., et al. Radiation shielding properties of pentateryary borate glasses using MCNPX code. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 2018; (121): 17-21.
2. Temir A., et al. Study of gamma radiation shielding efficiency with radiation-resistant $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2\text{-WO}_3$ ceramics. *Solid State Sciences* 2021; (115): 106604.
3. Temir A., et al. Synthesis, phase transformations, optical properties and efficiency of gamma radiation shielding by $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2\text{-WO}_3$ ceramics. *Optical Materials* 2021; (113): 110846.
4. Kozlovskiy A.L., and Zdorovets M.V. Effect of doping of $\text{Ce}^{4+/3+}$ on optical, strength and shielding properties of $(0.5\text{-x})\text{TeO}_2\text{-}0.25\text{MoO-}0.25\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-xCeO}_2$ glasses. *Materials Chemistry and Physics* 2021: 124444.
5. Temir A., et al. Study of the effect of doping CeO_2 in $\text{TeO}_2\text{-MoO-Bi}_2\text{O}_3$ ceramics on the phase composition, optical properties and shielding efficiency of gamma radiation. *Optical Materials* 2021; (115): 111037.