

УДК 535.376

**ЛЮМИНОФОРНЫЙ ЭКРАН ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
НА МИКРОТРОНЕ ТПУ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ**Д.А. Поломошнова

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.А. Шкитов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dap63@tpu.ru**PHOSPHOR SCREEN FOR ELECTRON BEAM DIAGNOSTICS
ON THE TPU MICROTRON: DESIGN**D.A. Polomoshnova

Scientific Supervisor: PhD. D.A. Shkitov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dap63@tpu.ru

Abstract. *The development of a phosphor screen for diagnosing the electron beam of the TPU microtron has begun. At the moment, the manufacturing method has been chosen and calculations have been carried out to find the required mass of the phosphor screen components.*

Введение. Люминофоры – это вещества, получаемые с целью практического применения их люминесценции. В настоящее время их применение в человеческой деятельности весьма разнообразно [1]. В том числе их применяют для диагностики размеров пучков заряженных частиц [2] (в этом случае их называют катодолюминофорами). Катодолюминофоры предназначены для преобразования энергии электронов высокой плотности в видимый свет. Преимущества данных люминофоров заключается в высокой яркости их свечения и их радиационной и термической стойкости в условиях повышенных плотностей тока возбуждающего электронного пучка. Катодолюминофоры представляют собой порошковые материалы, состоящие из активированных соединений на основе сульфида цинка, силикатов щелочноземельных металлов и цинка, бората индия, оксида и алюмограната. В качестве примера, приведём установку СКИФ [3]. На линейном ускорителе предполагается использование 8 люминофорных станций [4-7] для диагностики поперечного размера электронного пучка с люминофором марки Р43 или его аналога, нанесенного методом электрофореза. Сейчас на микротроне ТПУ [8] тоже используются люминофорные экраны (ЛЭ). В наличии есть экран формата А4, с толщиной покрытия и самого основания из плотной бумаги около 0.5 мм (он используется на выведенном на воздух пучке электронов), однако состав и происхождение, как и свойства, его не известны (см. рис. 1). Сам экран уже значительно изношен.



Рис. 1. Фотография люминофорного экрана формата А4 с разлиновкой

Есть самодельный экран, который расположен в тракте ускорителя, он состоит из порошка ZnS, купленного в Китае, и нанесённого на подложку с помощью клея ПВА. Однако со временем он осыпается. К тому же периодически требуется применение ЛЭ в проводимых сотрудниками ТПУ экспериментах на установках других организаций. Было принято решение сделать ЛЭ самостоятельно. Целью данной работы является разработка люминофорного экрана для диагностики электронного пучка на микротроне ТПУ и других установках.

Экспериментальная часть. Перед непосредственным изготовлением экранов нужно спланировать необходимое их количество, оценить требуемые характеристики ЛЭ, изучить существующие технологии изготовления, которые можно повторить в доступных нам условиях, проанализировать доступные готовые к применению ЛЭ и/или компоненты для изготовления, рассчитать требуемые количество материалов и приобрести их. Так как рабочим телом датчика является кристаллический или порошковый люминофор, то важной задачей при проектировании люминофорного датчика является выбор свойств используемого люминофора. К основным параметрам люминофорных материалов, используемых для диагностики пучка, в ускорителях относятся: световой выход, спектральный состав излучения и длительность сцинтилляций. Обозначение некоторых распространенных люминофоров по системе JEDEC [9]: P1 ($\text{Zn}_2\text{SiO}_4\text{:Mn}$), P53 ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}\text{:Tb}$), P55 (ZnS:Ag), P56 ($\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Eu}$), P43 ($\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$). В нашей работе на первоначальном этапе было принято решение выбрать стандартный люминофор типа P55 (ZnS:Ag), так как он обладает хорошими характеристиками [10] и имеет доступную цену. Для изготовления люминофорных экранов на основе порошкового люминофора ZnS:Ag оптимально воспользоваться технологией осаждения взвеси порошка в водном растворе силикатного клея ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ (жидкое стекло) в соотношении 1:1 по объёму. Данная технология выбрана на основе работы по развитию методов диагностики в циклических ускорителях заряженных частиц [11]. Подложкой будут служить плотные листы бумаги (или картон) толщиной от 0.5 до 1 мм, толщина осажденного слоя будет равной приблизительно 0.2 мм, при размере зёрен порошка порядка 5 мкм. Необходимо создать люминофорные экраны трёх различных размеров (50×50 мм, 100×100 мм, 200×200 мм, 210×297 мм) по 2 экземпляра каждого. Они будут применяться на выведенном на воздух электронном пучке.

Результаты. Для начала рассчитаем площадь каждого из экранов. Рассчитанные площади соответственно равны: $S_1 = 2500 \text{ мм}^2$, $S_2 = 10000 \text{ мм}^2$, $S_3 = 40000 \text{ мм}^2$, $S_4 = 62370 \text{ мм}^2$. Суммарная площадь необходимой подложки равна 1149 см^2 . Так как минимальная толщина слоя, залитого жидким стеклом равна 200 мкм, то в соответствии с технологией изготовления, предписывающей соотношение 1:1 по объёму люминофора и жидкого стекла, толщина занимаемого люминофором слоя будет взята 100 мкм (из линейной зависимости объёма от толщины слоя). Следовательно, общий объём, занимаемый

люминофором на всех восьми экранах равен: $V_{\Sigma} = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4) \cdot 0.01 \cdot 2 = 22.98 \text{ см}^3$. Таким образом, оценочная масса ZnS, активированного серебром, будет равна: $m(\text{ZnS} : \text{Ag}) = \rho(\text{ZnS}) \cdot V_{\Sigma} = 4.09 \cdot 22.98 = 93.99 \text{ г}$. По аналогии с расчётом для люминофора масса жидкого стекла примерно равна 34.36 грамм (при плотности равной 1.495 г/см^3).

Заключение. Таким образом, в ходе проведенной работы была сделана оценка состояния люминофорных экранов, применяемых на микротроне ТПУ. Далее было рассчитано количество материалов для изготовления люминофорных экранов для диагностики выведенного электронного пучка микротрона. В дальнейшем после завершения проектирования, планируется закупка необходимых материалов и непосредственное создание люминофорных экранов, с помощью которых в дальнейшем будет проводиться экспериментальное измерение поперечного размера электронного пучка микротрона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люминофоры // Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/physics/text/2162636> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Смалюк В.В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях / Под ред. чл.-корр. РАН Н.С. Диканского. – Новосибирск: Параллель, 2009. – 294 с.
3. Инфраструктура СКИФ // Сибирский кольцевой источник фотонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://srf-skif.ru/index.php/Инфраструктура_СКИФ (дата обращения: 09.02.2023).
4. Акимов А.В., Актершев Ю.С., Анашин В.В. и др. Инжектор // Технологическая инфраструктура "СКИФ". – Новосибирск: ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», 2022. – С. 1-94.
5. Акимов А.В., Актершев Ю.С., Анашин В.В. и др. Основные системы накопителя // Технологическая инфраструктура "СКИФ". – Новосибирск: ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», 2022. – С. 1-194.
6. Ma X.C., Arsentyeva M.V., Bekhtenev E.A., Cheskidov V.G. Beam instrumentation for linear accelerator of SKIF synchrotron light source // IPAC2021. – Brazil: 2021 – Режим доступа: <https://accelconf.web.cern.ch/ipac2021/papers/mopab328.pdf>
7. Xiaochao M., Maltseva Yu.I., Meshkov O.I., Arsentyeva M.V. Beam diagnostics for linear accelerator of SKIF synchrotron light source // Journal of Instrumentation. – 2022. – №17. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/17/04/T04001>
8. Науменко Г.А., Потылицын А.П., Каратаев П.В. и др. Спектр когерентного переходного излучения, генерируемого модулированным электронным пучком // Письма в ЖЭТФ. – 2017. – Т. 15., № 2. – С. 115–118. – Режим доступа: <https://doi.org/10.7868/S0370274X17140119>.
9. Ropp R.C. Design of Phosphors // Studies in Inorganic Chemistry. – 2004. – №21. – p. 447-614. – Режим доступа: [https://doi.org/10.1016/S0169-3158\(04\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0169-3158(04)80009-4)
10. Характеристики некоторых люминофоров выпускаемых промышленностью // Chemlight [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://chemlight.ucoz.ru/publ/set/set/kharakteristiki_ljuminoforov_vypuskaemykh_promyshlennostju/4-1-0-50 (дата обращения: 10.02.2023).
11. Дорохов В.Л. Развитие методов оптической диагностики в циклических ускорителях заряженных частиц: Автореф. Дис. канд. Физ.-мат. наук. – Новосибирск, 2021. – 129 с.