

УДК 621.793

**ПОИСК ТЕХНОЛОГИЙ ПО СОЗДАНИЮ СПИРАЛЬНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ
ИЗЛУЧЕНИЯ С ВИНТОВЫМ ВОЛНОВЫМ ФРОНТОМ ОТ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА**Н.С. Бердников, А.А. Григорьева

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: nsb20@tpu.ru**SEARCH FOR TECHNOLOGIES TO CREATE SPIRAL TARGETS FOR GENERATION
OF RADIATION WITH A HELICAL WAVEFRONT FROM AN ELECTRON BEAM**N.S. Berdnikov, A.A. Grigorieva

Scientific Supervisor: PhD. D.A. Shkitov

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

E-mail: nsb20@tpu.ru

Abstract. We present the results of a search for technologies to create spiral targets. In the future, these targets will be used to generate radiation with a helical wavefront from an electron beam on TPU microtron.

Введение. Результаты последних лет показывают, что излучение с винтовым волновым фронтом (также называемое «закрученным» [1]) может быть новым инструментом для исследований. Закрученные частицы дают нам новую степень свободы – орбитальный момент импульса – и потому могут доставить ценную дополнительную информацию о фундаментальных взаимодействиях фотонов, электронов и нейтронов с веществом [2]. В ТПУ на микротроне ведётся подготовка к исследованиям по генерации «закрученного» излучения в ГГц [3, 4]. Ранее исходя из расчётов, внешний диаметр металлической спиральной мишени был выбран 400 мм [5]. Однако трудности с подбором технологий изготовления таких мишеней вынуждают ограничиться диаметром 300-350 мм (см. рис. 1а и 1б).

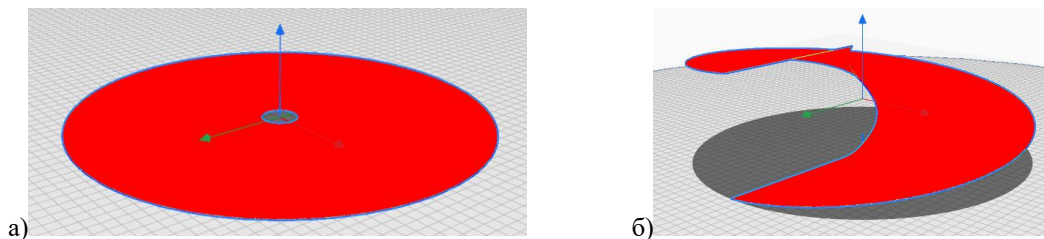


Рис. 1. Модель спиральной мишени с шагом 0 (а) и с шагом 114 мм (б) с основными параметрами: толщина 1 мм, внутренний диаметр 30 мм, внешний диаметр 350 мм

Существующие технологии. Одной из очевидных технологий изготовления требуемой мишени является печать металлами при помощи 3D принтера. Технология селективного лазерного плавления (англ. *Selective Laser Melting*, сокр. *SLM*) позволяет изготавливать модели из сплавов различных металлов (Al, Cu), но обладает рядом недостатков: высокая стоимость печати, большие затраты печатного материала в силу сложной геометрии мишени, малые размеры области печати самых распространённых принтеров,

не позволяющие напечатать мишень необходимых размеров [6]. Технологии печати пластиком (англ. *Fused Deposition Modeling*, сокр. *FDM*) и гипсовым порошком (англ. *Binder jet 3D printing*) являются более распространенными и не обладают недостатками технологии *SLM*, однако для них потребуется металлизация (покрытие металлом) мишеней. Существует множество способов металлизации пластика. Одним из таких является метод химического покрытия [7]. Также существует метод термовакuumного испарения [8]. Данный метод основан на переводе осаждаемого материала в парогазовую форму. Помимо этого, методом нанесения металла на пластик может служить токопроводящая краска, содержащая частицы меди и серебра [9]. Данные краски создают высокоадгезионные поверхности, способные выдерживать температуры до 120°C и экранировать частоты в ГГц диапазоне. Менее распространенным и технически более сложным способом металлизации может служить магнетронное распыление, основанное на методе предварительной плазменной модификации поверхности подложки с помощью ионно-плазменного источника [10]. Также учёные из ТГУ разработали метод печати металлических изделий на 3D принтере при помощи модернизированного пластика с добавлением порошков [11].

Экспериментальная часть. Перед изготовлением спиральных мишеней планируется тестирование образцов плоских пластин, напечатанных на 3D принтере с нанесённым разными способами покрытием и без него, на электронном пучке. Это необходимо с целью проверки надёжности, технологичности, радиационной и термической стойкости той или иной технологии. На рис. 2а изображена схема проведения тестов. Во время тестирования плоские мишени будут расположены перпендикулярно направлению электронного пучка. Контрольными параметрами будут служить температура до и после теста, визуальные изменения пластин и иные деформации, которые могут возникнуть при взаимодействии электронного пучка с материалом пластины.

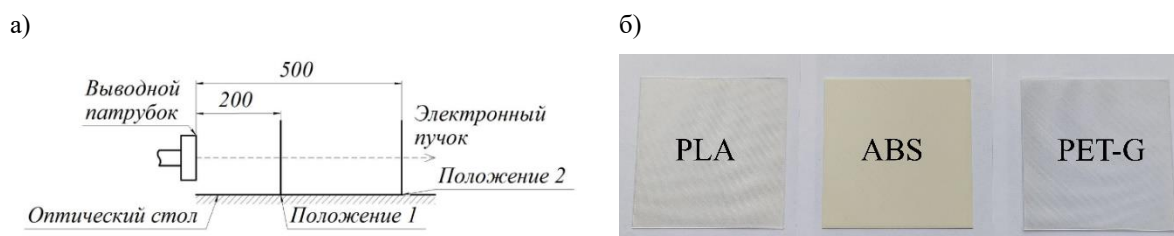


Рис. 2. Схема расположения пластин при тестировании на электронном пучке (а) и внешний вид напечатанных пластин (б)

Результаты. На рис. 2б представлен внешний вид напечатанных на 3D принтере Prusa i3 MK3S с дополнительным модулем MMU2.0 [12] плоских пластин из трёх видов пластика марки Bestfilament: полилактид (PLA) – артикль производителя `st_pla_1kg_1.75_natural`, акрилонитрил бутадиен стирол (ABS) – `st_abs_2.5kg_1.75_natural`, полиэтилентерефталатгликоль (PET-G) – `st_petg_natural_1kg_1.75`. Размеры пластин 150*150*1 мм. Параметры печати пластин были следующие: толщина слоя печати 0.2 мм, диаметр сопла 0.6 мм, скорость печати 60 мм/с, коэффициент заполнения 100%.

Заключение. Таким образом в ходе проведенной работы были рассмотрены технологии по изготовлению спиральных мишеней и изготовлены плоские пластины для проведения тестов с целью проверки надёжности технологичности, радиационной и термической стойкости покрытия. В дальнейшем планируется нанесение покрытий при помощи магнетронного напыления и электропроводящих красок для проведения тестов на микротроне ТПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закрученный свет и закрученные электроны: обзор последних результатов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432009 (дата обращения: 10.02.2023)
2. Сербо В. Закрученные фотоны, электроны и нейтроны как новые инструменты исследований в физике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nseminar/сербо.pdf> (дата обращения: 10.02.2023)
3. Лаппо М.А., Бердников Н.С., Шкитов Д.А. Разработка моделей в CST Studio Suite для моделирования поляризационного излучения // Перспективы развития фундаментальных наук: Сборник трудов XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 7-ми томах, Томск, 26-29 апреля 2022 года. – Томск: НИ ТПУ, 2022. – С. 116-118.
4. Бердников Н.С., Шкитов Д.А., Шевелев М.В. Подготовка к эксперименту по исследованию закрученного излучения на микротроне ТПУ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции, г. Томск, 07-09 сентября 2022 г. – Томск: Ветер, 2022. – С. 82-83.
5. Дышеков А.А. Моделирование свойств «закрученного» излучения, генерируемого электронами от спиральной мишени // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 17-20 февраля 2020 года. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 35-36. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/62224>
6. Технологии 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://losprinters.ru/articles/tehnologii-3d-pechati/> (дата обращения: 25.02.2023).
7. Соболев Д.И., Проявин М.Д., Заславский В.Ю., Котомина В.Е. Широкополосные волноводные преобразователи Ка-диапазона, выполненные металлизацией 3D-печатных фотополимерных структур // Сборник докладов XI Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 30 мая - 3 июня 2022 г., с. 89-93. – Режим доступа: <https://mwelectronics.etu.ru/assets/files/2022/089-093.pdf>
8. Технология напыления тонких пленок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/tehnologiya-napyleniya-tonkih-plenok/> (дата обращения: 25.02.2023).
9. Токопроводящие и антистатические краски [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rttex.ru/blog/emi-electrically-conductive-paints> (дата обращения: 25.02.2023).
10. Технология нанесения высокоадгезионных защитных, токопроводящих, отражающих и декоративных покрытий на легкоплавкие пластики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hcei.tsc.ru/ru/cat/technologies/tech20.html> (дата обращения: 10.02.2023).
11. Tomsk.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tomsk.ru/news/view/210186-vzorvat-napechatat-rastvorit-fiziki-tgu-pridumali-tehnologiyu-pechati-metallicheskikh-izdeliy-na-obychnom-3d-printere> (дата обращения: 09.03.2023).
12. Original Prusa i3 MK3S+ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.prusa3d.com/product/original-prusa-i3-mk3s-kit-3/> (дата обращения: 25.02.2023).