

нитными полями до 0.8 Тл. Инжекция струи на периферию плазменного шнуря позволила измерить электронную температуру и профиль q [2]. Подача плазмы на старте тока позволяла улучшать пробой, что было выполнено на Глобус-М2 и КТМ. В настоящее время планируется использование плазменной пушки в качестве источника микропеллетов бора.

Параметры струи ускорителя позволяют имитировать плазменные нагрузки токамака на материалы стенки реактора. Энергия потока струи $> 0.1 \text{ МДж/м}^2$. Неограниченная повторяемость импульсов позволяет рассматривать воздействие широкого диапазона потока плазмы на облучаемые материалы. За время функционирования установки проводились многочисленные испытания по облучению вольфрама, молибдена и др. металлов, а также пьезокерамики.

Работа выполнена на УНУ «Сферический токамак Глобус-М», входящей в состав ФЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» при поддержке гранта РНФ №24-19-00716. Эксплуатация ускорителя плазмы обеспечивается в рамках государственного задания ФТИ им. А.Ф Иоффе (тема FFUG-2024-0028). Стенд с диагностическим комплексом поддерживается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере науки по проекту № FSEG-2024-0005.

Список литературы

1. А.В. Воронин, В.Ю. Горяинов, В.К. Гусев, ЖТФ – 2020 – т. 90, н. 6 - с. 1028-34, doi:10.21883/JTF.2020.06.49294.372-19.
2. A.V. Voronin, B.B. Ayushin, V.K. Gusev, G.S. Kurskiev, M.M. Kochergin, E.E. Mukhin, V.B. Minaev, I.V. Miroshnikov, Yu.V. Petrov, M.I. Patrov, N.V. Sakharov, S.Yu. Tolstyakov, A.V. Zabuga, 36th EPS Conference on Plasma Phys. Sofia, June 29 - July 3, 2009 ECA Vol. 33E, P-5.157 (2009).

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСКОРИТЕЛЯ-ТАНДЕМА С ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Таскаев С.Ю., Быков Т.А., Колесников Я.А., Кошкиров А.М., Остриевов Г.М., Савинов С.С., Щудло И.М.

Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

Перспективной методикой лечения злокачественных опухолей рассматривается бор-нейтронозахватная терапия (БНЗТ), обеспечивающая избирательное уничтожение клеток опухоли. Для этой методики необходимы мощные компактные источники нейтронов эпитетлового диапазона энергий.

В Институте ядерной физики СО РАН предложен, создан и эффективно используется ускорительный источник нейтронов VITA [1], включающий в себя электростатический тандемный ускоритель заряженных частиц оригинальной конструкции, названный со временем ускорителем-тандемом с вакуумной изоляцией VITA, оригинальную тонкую литиевую и ряд систем формирования пучка нейтронов. Ускоритель используют для получения стационарного моноэнергетического пучка протонов или дейtronов с энергией от 0,1 до 2,3 МэВ, током до 10 мА. На выходе из ускорителя пучок протонов имеет поперечный размер 10 ± 1 мм, угловую расходимость – от $\pm 0,5$ мрад до $\pm 1,2$ мрад, нормализованный эмиттанс – 0,2 мм мрад [2]. Такой слабо расходящийся пучок протонов позволяет транспортировать его до литиевой мишени без применения фокусирующих линз. Единственным существенным недостатком следует признать нагрев неохлаждаемой диафрагмы первого ускоряющего электрода.

В следующих двух ускорительных источниках нейтронов, поставленных в БНЗТ клинику г. Сямынь (Китай) и в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России в Москве добавлено предускорение. Его использование приводит к увеличению энергии протонов на 100 кВ и позволяет уменьшить нагрев неохлаждаемых диафрагм ускорителя из-за меньшего размера пучка ионов. Однако качество получаемого пучка протонов ухудшилось: он стал больше в размере (15-20 мм), его расходимость стала больше ($\pm 3-4$ мрад) и он стал неоднородным. Для транспортировки пучка протонов до литиевой мишени требуются средства фокусировки. Также усложняет установку само использование предускорения – требуются высоковольтная платформа и развязывающий трансформатор.

Принципиальным предложением по усовершенствованию ускорителя является замедление инжектируемого в ускоритель ионного пучка. Этого можно добиться, изолировав входную диафрагму

ускорителя и подав на нее отрицательный потенциал. Поскольку подаваемое напряжение составляет десятки киловольт, то, как представляется, больших трудностей в реализации такого предложения не возникнет. В работе представляются результаты численного моделирования транспортировки и ускорения пучка ионов, демонстрирующих возможность получения слаборасходящегося вплоть до параллельного пучка протонов при уменьшении нагрева неохлаждаемых диафрагм ускорителя. Также в докладе будет представлены технические решения, позволяющей реализовать эту идею, на защиту интеллектуальных прав на которую подана заявка на патент.

Список литературы

1. С.Ю. Таскаев. Ускорительный источник нейтронов VITA. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2024.
2. М.И. Бикчурина, Т.А. Быков, Я.А. Колесников и др. Измерение фазового портрета пучка ионов в ускорителе-тандеме с вакуумной изоляцией. Приборы и техника эксперимента, 2022, № 4, стр. 18-29.

УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКИМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ

Дорошевич С.Ю., Воробьев М.С., Коваль Н.Н., Гришков А.А., Торба М.С.

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

Одним из типов ускорителей, позволяющих генерировать электронные пучки большого сечения, являются ускорители на основе несамостоятельного высоковольтного тлеющего разряда (ВТР) [1, 2]. Обеспечение коэффициента вывода пучка в атмосферу выше 0,5 в таких системах является не-простой задачей и зачастую требует тщательного расчета и моделирования ионно-электронной оптической системы (ИЭОС). При этом стабильная работа таких ускорителей реализуется в узком диапазоне давлений рабочего газа, которое сверху ограничено пробоем ускоряющего промежутка по закону Пашена, а снизу – стабильностью генерации вспомогательного разряда. Поскольку коэффициент вывода тока пучка напрямую зависит от сформированной ИЭОС, то возникает необходимость управления параметрами эмиссионной плазмы с целью достижения высокой эффективности вывода электронного пучка для разных условий его генерации без изменения конфигурации электродной системы. В рамках данной работы проведены исследования по возможности повышения коэффициента вывода электронного пучка из вакуума в атмосферу при переходе к импульсно-периодическому режиму генерации эмиссионной плазмы, когда при одинаковом среднем токе вспомогательного разряда можно управлять его амплитудой, регулируя коэффициент заполнения импульсов [3].

Роль вспомогательного разряда выполняет самостоятельный орбитронный тлеющий разряд с полым катодом и двумя тонкопроволочными анодами. Электропитание вспомогательного разряда осуществляется с помощью источника, который способен работать как в непрерывном, так и импульсно-периодическом режиме работы с частотой f от 1 до 50 кГц с возможностью изменения коэффициента заполнения импульсов D в диапазоне (0,1–0,8), а также позволяющий стабилизировать и управлять средним выходным током I_{dc} в диапазоне от 10 до 500 мА.

Импульсно-периодический режим с частотой следования импульсов десятки килогерц позволяет снизить величину полного тока в ускоряющем промежутке, что повышает эффективность вывода электронного пучка в атмосферу. Кроме этого, повышение амплитуды тока разряда и наличие паузы между импульсами в диапазоне десятков микросекунд способствует снижению неоднородности распределения эмиссионной плазмы и, соответственно, снижению неоднородности распределения плотности тока выведенного пучка [4].

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер: FWRM-2021-0006).

Список литературы

1. Широкоапertureные низкоэнергетичные ускорители электронов АО «НИИЭФА» на основе высоковольтного тлеющего разряда / С. Л. Косогоров, Н. А. Успенский, В. Я. Шведюк [и др.] // Известия вузов. Физика. – 2020. – Т. 63, № 10(754). – С. 41-47. – DOI 10.17223/00213411/63/10/41.