Экспериментальное сравнение двух подходов к получению интенсивных пучков электронов в диодных системах с плазменным катодом

1,3Астрелин В.Т.*,* 2Воробьев М.С., 1Кандауров И.В., 2Коваль Н.Н., 1,3Куркучеков В.В., 2Сулакшин С.А., 1Трунев Ю.А.

1Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия,  
 [Astrelin@inp.nsk.su](mailto:Astrelin@inp.nsk.su)  
2Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия,  
 [vorobyovms@yandex.ru](mailto:vorobyovms@yandex.ru)   
3Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

В ИЯФ СО РАН проводятся работы по получению мощных (~10 МВт) электронных пучков субмиллисекундной длительности в источнике с дуговым газоразрядным плазменным эмиттером. Такие пучки используются для испытания конструкционных материалов будущих термоядерных реакторов. Пучок генерируется в многоапертурной электронно-оптической системе диодного типа, электроды которой представляют собой «решетки» с большим количеством соосно съюстированных круглых отверстий диаметром 2 – 4 мм. Максимальные параметры пучка, неодновременно достигнутые, составили: энергия электронов 120 кэВ, ток 250 А, длительность около 1 мс. Пучок с диаметром ~8 см генерируется в магнитном поле ~10 мТл и далее транспортируется и сжимается в ведущем поле, нарастающем до ~300 мТл на длине около 1,5 м. При этом на мишени обеспечивается плотность мощности до 15 ГВт/м2 при экспонируемой площади около 1 см2.

Серьезной проблемой в таких экспериментах является ограничение длительности импульса пучка на уровне 0,1 – 0,3 мс вследствие развития пробоя ускоряющего диода при превышении на мишени суммарной энергии пучка >1 кДж. Причиной пробоя может быть обратный поток ионов из плазмы, возникающей на мишени и в пространстве дрейфа пучка. Попадая в диод сквозь анодные отверстия, ионы бомбардируют металл на краях катодных отверстий, вызывая межэлектродные лавинные процессы, приводящие к закоротке диода. Другой причиной могут быть электроны пучка, отраженные нарастающим магнитным полем. Часть отраженных электронов, попадая на анод, приводит к плазмообразованию на нем, а другая часть электронов и образованная плазма проникают в диодный зазор, что приводит к нарушению его оптики, и, в итоге, ведет к пробою диода.

Альтернативой многоапертурному диоду является схема источника электронов с плазменным анодом, успешно реализованная в ИСЭ СО РАН в установках типа SOLO. В этом случае эмиссионная граница катодной плазмы стабилизируется мелкоячеистой (~0,3 мм) плетеной металлической сеткой, анодом же является плазма с открытой плазменной границей, создаваемая самим пучком в вакуумной камере и металлической трубе дрейфа. При этом ускорение электронов происходит в квазиплоском присеточном слое. Преимуществом такой схемы является отсутствие металлического анода (и связанных с ним проблем), к недостаткам же можно отнести необходимость создания специфических газовых условий в трубе дрейфа для формирования плазменного анода.

В докладе представлены первые результаты экспериментального сопоставления двух схем генерации интенсивных пучков электронов в источнике с дуговым плазменным эмиттером. Эксперименты проводились на специализированном стенде ИЯФ СО РАН для изучения динамики поверхности материалов при мощных импульсных тепловых нагрузках. В ходе экспериментов в обеих схемах проводилось исследование максимально достижимых параметров пучка при его взаимодействии с вольфрамовой мишенью. Также изучались проблемы эффективного создания плазменного анода и вопросы получения оптимального профиля плотности тока пучка.

Работа была поддержана грантами РФФИ № 16-38-50262\_мол\_нр, №16-38-00739\_мол\_а и № 16-08-00785\_а.