методы измерения сверхширокополосного свч излучения

1Диас Михайлова Д.Е., 1Иванов И.Е., 1Стрелков П.С., 2,3Тараканов В.П., 1Шумейко Д.В.

1Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия, [office@gpi.ru](mailto:office@gpi.ru)  
2Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, Россия,  
 [ofpetrov@ihed.ras.ru](mailto:ofpetrov@ihed.ras.ru)  
3Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Россия,  
 [info@mephi.ru](mailto:info@mephi.ru)

Разработан принципиально новый источник сверхширокополосного (СШП) СВЧ излучения, основанный на усилении собственных шумов релятивистского электронного пучка. Возбуждение СВЧ волн происходит при взаимодействии электронов пучка с плазменными волнами. В таком источнике средняя частота СВЧ излучения определяется плотностью плазмы и не зависит от длительности импульса тока релятивистского электронного пучка (РЭП). Это позволяет получать сверхширокополосные 2 Δf / (fmin + fmax) = 0,55 > 0,2 СВЧ сигналы с длительностью импульса 200 – 300 нс, а также осуществлять перестройку средней частоты излучения от одного импульса тока РЭП к другому. Средняя частота перестраивается в диапазоне от 2,2 до 3,8 ГГц.

Была решена задача сравнения эффективного потенциала плазменного СВЧ излучателя со значениями этой величины для известных источников СШП импульсов, описанных, например, в [1]. Для регистрации СВЧ импульсов в дальней зоне (z = 40 – 80 см от рупора) диаметр рупора D был уменьшен до 16 см. Было показано, что эффективный потенциал плазменного источника сравним с эффективными потенциалами других источников СШП импульсов и равен 400 кВ для сигнала со средней частотой 3 ГГц.

Возникла проблема измерения полной энергии СВЧ импульса. СВЧ пучок при D λ имеет большую расходимость и для измерения полной энергии приходится располагать калориметр с диаметром 50 см близко к рупору. Но при D ~ λ и малом z отсутствует плоская электромагнитная волна, для которой был измерен коэффициент отражения 10%. Это приводит к существенному увеличению коэффициент отражения. Численное моделирование, достоверность которого была проверена в [2], показало, что измеренному в дальней зоне значению энергии 3 Дж (z = 70 см) соответствует полная энергия излучения 15 Дж. Для подтверждения этого вывода между рупором плазменного источника и калориметром, расположенным на расстоянии z = 70 см был вставлен дополнительный рупор с D = 44 см. Энергия, зарегистрированная в эксперименте с дополнительным рупором, составила 13 Дж для сигналов со средней частотой 3 ГГц. Таким образом, доказано, что плазменный СШП источник позволяет создавать СВЧ импульсы длительностью 200 – 300 нс с энергией ~15 Дж.

Для измерения спектра СШП излучения необходимо иметь приёмную антенну с широкой полосой пропускания. Длина штыревой антенны была подобрана экспериментально при облучении её монохроматическим излучением в диапазоне частот 2,62-3,9 ГГц. Численное моделирование при помощи кода «КАРАТ» подтвердило, что оптимальное значение длины антенны 35 мм, полученное экспериментально, совпадает с расчётным значением.

Было доказано, что спектр плазменного излучателя определяется спектром колебания тока, формируемого на взрывоэмиссионном катоде и полосой усиления плазменного релятивистского усилителя. Это утверждение следует из анализа автокорреляционных функций СВЧ сигналов, регистрируемых в вакууме и в плазме.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 16-08-00439.

Литература

1. В.П. Беличенко, Ю.И. Буянов, В.И. Кошелев  Сверхширокополосные импульсные радиосистемы. Новосибирск: "Наука", 2015. с. 481
2. И.С. Алексеев, И.Е. Иванов, П.С. Стрелков, В.П. Тараканов, Д.К. Ульянов // Физика плазмы, 2017, № 3, с. 51 – 57.