

- [4] Lu G., Cockayne D.J.H. // *Philos. Mag.* 1986. V. A53. N 1. P. 307-315.
- [5] Lu Y.-C., Stahle C.M., Morimoto J., Bube R., Feigelson R.S. // *J. Appl. Phys.* 1987. V. 61. N 3. P. 924-927.
- [6] Lu Y.-C., Stahle C.M., Feigelson R.S., Morimoto J. // *J. Appl. Phys.* 1988. V. 62, N 11, P. 4453-4459.
- [7] Chami A.C., Ligeon E., Danielou R., Fontenille J. // *Appl. Phys. Lett.* 1988. V. 52. N 18. P. 1502-1504.
- [8] Warekois E.P., Lavine M.C., Mariano A.N., Gatos H.C. // *J. Appl. Phys.* 1962. V. 33. N 2. P. 690-696.
- [9] Nakagawa K., Maeda K., Takeuchi S. // *Appl. Phys. Lett.* 1979. V. 34. N 9. P. 574-575.
- [10] Lu Y.-C., Route R.K., Elwell D., Feigelson R.S. // *J. Vac. Sci. Technol.* 1985. V. A3. N 1. P. 264-270.
- [11] Fewster P.F., Whiffin A.C. // *J. Appl. Phys.* 1983. V. 54. N 8. P. 4668-4670.
- [12] Trucano P. // *Phys. Rev. B.* 1976. V. 13. N 6. P. 2524-2531.
- [13] Ковальчук М.В., Кон В.Г. // *УФН.* 1986. Т. 149. № 1. С. 69-103.

Институт кристаллографии
им. А.В. Шубникова
АН СССР

Поступило в Редакцию
1 февраля 1989 г.
В окончательной редакции
4 сентября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22 26 ноября 1989 г.
09;10

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ МАГНЕТРОН 30 СМ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

Д.В. Александрович, А.Р. Борисов,
А.Н. Лякшев, А.С. Сулакшин,
Л.Ф. Черногалова, Г.П. Фоменко

Выполнение этой работы обусловлено существованием ряда практических применений мощного СВЧ излучения дециметрового диапазона.

Экспериментально исследовался релятивистский магнетрон, рассчитанный на длину волны 30 см. Равнорезонаторный анодный блок

диаметром 9,8 см и длиной 19,6 см с шестью резонаторами лопаточного типа был изготовлен из нержавеющей стали. СВЧ мощность выводилась из магнетрона через щель связи в одном из резонаторов и плавный волноводный переход и излучалась рупорной антенной. Схема эксперимента аналогична описанной, например, в [1]. Магнетрон был установлен на наносекундной части ускорительного комплекса „ЛУЧ“ с предельными параметрами: напряжение до 1 МВ, ток до 150 кА при длительности импульса напряжения ~ 150 нс. Волновое сопротивление формирующей линии ускорителя 6 Ом. Напряжение на магнетроне варьировалось в пределах 100–500 кВ изменением зарядного напряжения генератора Маркса ускорителя. Аксиальное магнитное поле создавалось двумя катушками, образующими пару Гельмгольца, и менялось от 0.1 до 0.7 Тл.

В процессе эксперимента определялись рабочие характеристики магнетрона, исследовались зависимости выходной мощности и относительного уровня побочных колебаний от типа резонансной системы, диаметра и формы катода. Анодный блок магнетрона использовался в двух вариантах: закрытом – с двумя закорачивающими кольцами и полуоткрытом – с одним закорачивающим кольцом, установленным со стороны ускорителя. Использовались три вида катодов: цилиндрический, шайбовый и с симметричным питанием.

Результаты эксперимента

Исследование влияния типа резонансной системы, диаметра и вида катода на уровень генерируемой мощности показало, что для закрытого анодного блока уровень мощности СВЧ излучения больше приблизительно в 3 раза, чем для полуоткрытого блока (рис. 1).

Сравнение результатов экспериментального измерения длины волны с данными расчета и данными „холодных“ измерений для обоих типов блока приведено в таблице (данные приведены для цилиндрического катода диаметром 58 мм).

Для закрытого блока частота в эксперименте измерялась за пределами волноводами, а для полуоткрытого – гетеродинным методом. Максимальная мощность 212 МВт с максимальным КПД = 6% была получена при использовании цилиндрического катода диаметром 58 мм в закрытом анодном блоке. Длительность СВЧ импульса примерно равна длительности импульса напряжения и составляет ~ 130 нс. Магнетрон работал на π -виде колебаний с частотой ~ 1200 МГц. Рабочие характеристики магнетрона приведены на рис. 2.

Вид блока	λ , см „холодные“ измерения	λ , см расчетная	λ , см измеренная эксперимент.
Полуоткрытый	27.03	30.52	30.30
Закрытый	-	23.79	25.00

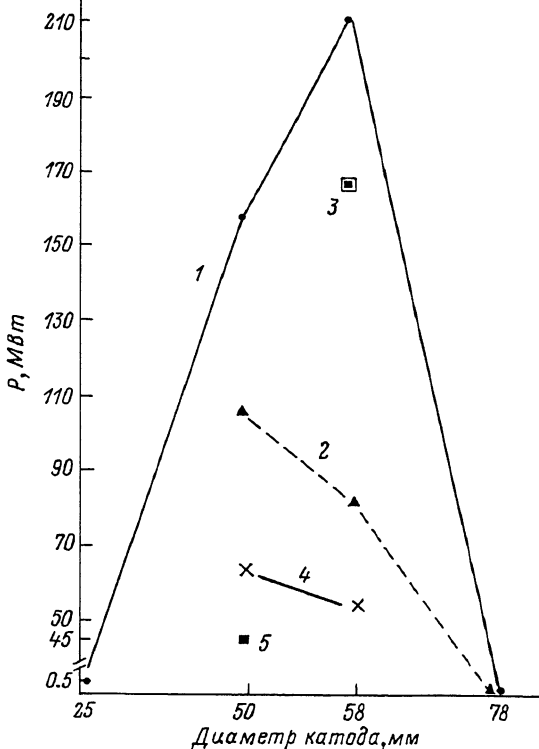


Рис. 1. Зависимость выходной мощности от вида катода и типа резонансной системы.

Закрытый блок: 1 – цилиндрический катод, 2 – шайбовый катод, 3 – катод с симметричным питанием. Полуоткрытый блок: 4 – цилиндрический катод, 5 – шайбовый катод.

Исследование влияния вида катода на генерируемую мощность связано с данными работы [2], в которой авторы говорят о том, что катод в виде шайбы в отличие от цилиндрического эмиттирует электроны непосредственно в область максимального ВЧ поля в пространстве взаимодействия магнетрона, что ведет к увеличению генерируемой мощности. В наших экспериментах уровень мощности, генерируемой магнетроном с цилиндрическим катодом, оказался больше в 1.5–2 раза (рис. 1), чем уровень мощности, генерируемый магнетроном с шайбовым катодом. Хотя для диаметров катодов 50 мм шайбовый катод показал больший КПД (2.6%) в сравнении с цилиндрическим (1.8%), но уровень мощности, генерируемой с шайбовым катодом, был меньше – 45 МВт (при 65 МВт для цилиндрического катода). Больший КПД шайбового катода получился

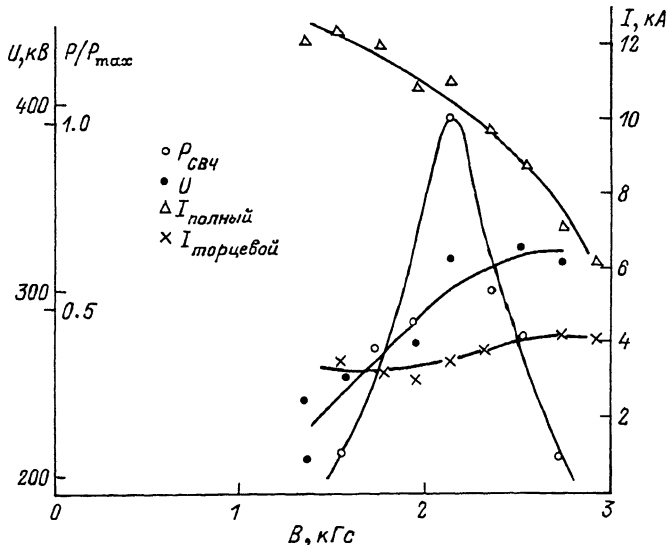


Рис. 2. Зависимость выходной мощности, напряжения, полного и торцевого тока магнетрона от напряженности магнитного поля.

за счет того, что при отличающихся в ~ 1.5 раза мощностях и близких напряжениях ($U_K = 323$ кВ, $U_{\text{ш}} = 305$ кВ) магнетрон с шайбовым катодом работал при меньшем в ~ 2 раза полном токе: $I_{\text{ш}} = 5.7$ кА и $I_K = 11$ кА. Отсутствие явного преимущества шайбового катода в наших экспериментах, возможно, объясняется как различиями в исследуемых магнетронах (существенно большие размеры магнетронного диода), так и, возможно, неоптимальными размерами шайбы (в работе [3] говорится о зависимости генерируемой мощности не только от диаметра, но и от толщины шайбы, влияющей, видимо, на рабочий ток).

Исследовался также катод с симметричным питанием (т.е. напряжение на цилиндрический катод подавалось с двух торцов цилиндра, а не с одного, как обычно), что, предположительно, должно было обеспечить равномерную эмиссию электронов со всей поверхности катода, а также устранение нежелательного азимутального магнитного поля, создаваемого током, протекающим по катоду.

Симметричное питание катода не привело к возрастанию генерируемой мощности и КПД (обычный катод $P = 212$ МВт, КПД=6%; катод с симметричным питанием $P = 168$ МВт, КПД=5.2%), полный ток возрос незначительно: на 0.9 кА при полном токе цилиндрического катода 11 кА.

Уровень побочных колебаний зависел от вида катода. Для различных катодов одного диаметра (58 мм) в закрытом анодном блоке отношение мощности на основной частоте к уровню мощности побочных колебаний (3 гармоники и выше) составляло: для катода с сим-

метричным питанием - 35.3 дБ, для шайбы - 32.5 дБ, для цилиндрического катода - 33 дБ. При переходе от закрытого анодного блока к полукрытому (для катодов диаметром 50 мм) отношение мощностей на основной частоте и побочных колебаний для цилиндрического катода уменьшилось на 6 дБ, а для шайбового катода увеличилось на 2 дБ.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать вывод о работоспособности релятивистского магнетрона в дециметровом диапазоне длин волн и необходимости тщательного исследования работы шайбового катода с целью повышения уровня генерируемой мощности и КПД магнетрона.

В заключение авторы выражают благодарность И.И. Винтизенко за помощь в подготовке эксперимента.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Диденко А.Н., Сулакшин А.С., Фоменко Г.П., Штейн Ю.Г., Юшков Ю.Г. // Письма в ЖТФ. 1978. Т. 4. № 1. С. 10-14.
- [2] Benford I., Sze H., Bromley D. Hartenack B. Progress on the relativistic magnetron. Proc. of 6th Int. Conf. on High-Power Particle Beams, Kobe, Japan. 1986. S. 2. P. 577-580.
- [3] Treado, Doggett W.O., Thomas G.E., Smith R.S., Jackson-Ford J., Jenkins D.J. // IEEE Trans. on Plasma, Science. 1988. V. 16. N 2. P. 237-248.

Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом институте им. С.М. Кирова

Поступило в Редакцию
6 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
28 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22
01; 05.1; 10

26 ноября 1989 г.

ИМПУЛЬСНОЕ РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЫ ПРОТОННЫМ ПУЧКОМ

С.Л. Лешкевич, В.А. Скворцов,
В.Е. Фортон

Мощные ионные пучки (МИП) в настоящее время находят разнообразные применения во многих областях науки, техники и технологии. Весьма перспективным является использование МИП для осу-