

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

В. А. Богаченков^{✳)}, В. Л. Братчан^{✳)}, Г. Г. Денисов^{✳)},
А. А. Коломенский, М. М. Офицеров^{✳)}, В. А. Паладичев,
М. И. Петелин^{✳)}, И. В. Сивильщикова, О. А. Смит

УДК 538.561

Проведено экспериментальное исследование мазера на циклотронном авторезонансе (МЦАР) в миллиметровом диапазоне длин волн на ускорителе с напряжением 500 - 700 кВ и током 0,5 - 2,0 кА. В качестве электродинамической системы использовался брегговский резонатор. Получено излучение с длиной волны 4,5 мм мощностью 15 МВт при К.д.д. 3%.

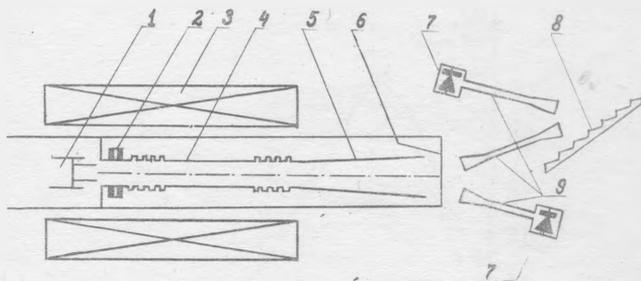
Освоение релятивистской высокочастотной электроники коротковолновых диапазонов связывается в настоящее время главным образом с мазерами и лазерами на свободных электронах (МСЭ и ЛСЭ). В этих приборах используется индуцированное излучение потока

^{✳)} Институт прикладной физики АН СССР (г. Горький).

электронно-осцилляторов, перемещающихся с релятивистской поступательной скоростью. Вследствие эффекта Доплера частота излучения ω может во много раз превышать частоту колебаний частиц. В диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых волн одной из наиболее перспективных разновидностей МСЭ является мазер на циклотронном авторезонансе (МЦАР) /1/. Благодаря близости к условиям авторезонанса (фазовая скорость волны близка к скорости света $v_{ph} \approx c$ и выполнено условие циклотронного резонанса $\omega(1 - v_{ph}/v_{ph}) \approx \omega_H$; эффект авторезонанса впервые описан в /2/) в МЦАР большое доплеровское преобразование частоты колебаний ω/ω_H совместимо с высоким электронным к.п.д. /1/.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при реализации МСЭ с высокоэнергичными электронными пучками, является создание в них достаточно эффективной системы обратной связи. Как было показано теоретически в /3/ и экспериментально в /4/, эта проблема может быть решена при использовании цилиндрических резонаторов, у которых зеркалами служат отрезки металлического гофрированного волновода (брэгговские зеркала и брэгговские резонаторы).

В настоящем сообщении представлены результаты исследования МЦАР с брэгговским резонатором (рис. 1), проведенного в совместном эксперименте ИФР АН СССР и ФИАН СССР.

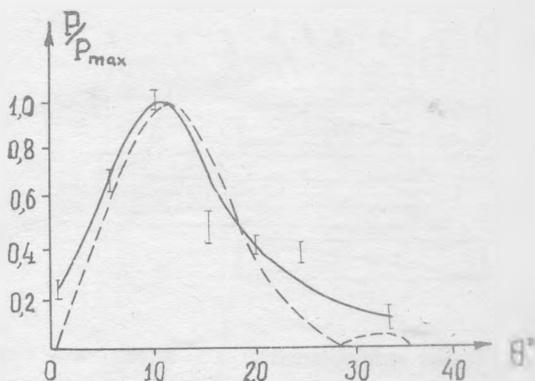


Р и с. 1. Схема эксперимента: 1 - катод, 2 - медные разрезные кольца, 3 - соленоид, 4 - резонатор с брэгговскими зеркалами, 5 - выходной волновод и коллектор электронов, 6 - окно вывода излучения, 7 - детекторы, 8 - эшелетт, 9 - приемные рупоры

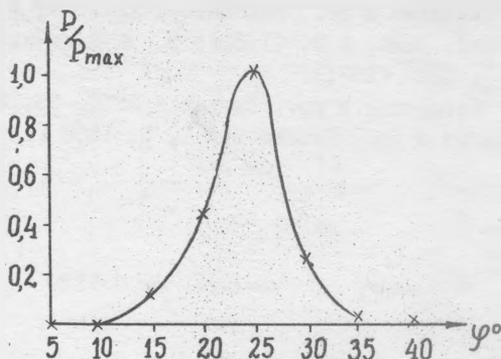
В данном эксперименте электронный пучок напряжением 500–700 кВ и током 0,5 – 2,0 кА формировался в коаксиальном диоде с магнитной изоляцией. Для регулировки тока использовался двойной катод, в котором изменялось положение внутреннего катода относительно внешнего. В диоде и рабочем пространстве генератора создавалась импульсное однородное магнитное поле напряженностью ~ 10 кЭ. Накачка вращательной скорости частиц β_{\perp} осуществлялась перед входом в пространство взаимодействия, где на расстоянии ларморовского шага электронов $2\pi v_{\parallel}/\omega_H$ друг от друга были установлены два медных кольца, имевших по одному узкому радиальному разрезу (рис. 1). Регулировка величины β_{\perp} осуществлялась в пределах 0–0,25 путем изменения временного сдвига электронного импульса относительно импульса магнитного поля.

В качестве электродинамической системы генератора, как и в [4], использовался брегговский резонатор в виде цилиндрического волновода кругового сечения с двумя гофрированными участками (рис. 1). Измеренная дифракционная добротность резонатора для рабочей моды H_{21} составляла 2000.

Согласно расчетам, опирающимся на теорию МЦАР [1], для тонкого трубчатого электронного потока, в котором отсутствует разброс скоростей, а вращательная скорость частиц равна $\beta_{\perp} = 0,25$,



Р и с. 2. Диаграмма направленности излучения МЦАР (сплошная линия) в сравнении с расчетной диаграммой для волны H_{21} (пунктир)



Р и с. 3. Зависимость мощности, отраженной от эшелетта (в (-I)-ю пространственную гармонику), от угла падения волны на эшелетт

стартовый ток генератора должен составлять 300 А, а при превышении порога в 2 раза к.п.д. 4%.

В соответствии с расчетом в эксперименте возбуждалась мода H_{21} , что доказано на основании диаграммных (рис. 2) и частотных измерений с помощью эшелетта (рис. 3; угловая ширина (-I)-го дифракционного максимума определялась в основном апертурами приемного рупора и эшелетта). Длина волны излучения равнялась 4,5 мм, что соответствовало преобразованию частоты колебаний $\omega/\omega_H = 4,5$. Мощность излучения составляла 15 МВт при к.п.д. 3%. Импульсы излучения имели длительность до 30 нс. При токах ниже расчетного стартового тока генерация не наблюдалась.

Поступила в редакцию
31 декабря 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. М. И. Петелин, Изв. ВУЗов - Радиофизика, 17, 902 (1974);
В. Л. Братман и др., в кн. Релятивистская высокочастотная электроника, изд. ИФ АН СССР, Горький, 1979 г.
2. А. А. Коломенский и др., ДАН СССР, 145, 1259 (1962); В. Я. Давыдовский, ЖЭТФ, 43, 886 (1962).

3. Н. Ф. Ковалев и др., Резонатор. Авт. св. № 720591 от 14.08.78, Булл. КДИО, № 9, (1980); В. Л. Братман и др., Письма в ЖТФ, 7, 1320 (1981).
4. И. Е. Ботвинник и др., Письма в ЖЭТФ, 35, 418 (1982); И. Е. Ботвинник и др., Письма в ЖТФ, 8, 1386 (1982).