

09; 12

© 1992

ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
НА ОБЪЕМНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ

А.А. Андриянчик, А.П. Апанасевич,
В.П. Афанасенко, В.Г. Барышевский,
Д.А. Бесман, Р.Ф. Зуевский,
А.Н. Каминский, М.Г. Лившиц,
В.А. Ярмолкевич

В ряде работ [1-4] исследовалась дифракция волн СВЧ-диапазона на искусственных периодических средах. В качестве дифракционных решеток использовались, как правило, плоские или одномерно-периодические объемные структуры, составленные из металлических или диэлектрических брусков различных сечений. В [5] теоретически и экспериментально исследовалась динамическая дифракция в геометрии Брэгга в 3-см диапазоне волн на плоской двумерной решетке и были получены частотные спектры обратного отражения.

В настоящей работе описана экспериментальная установка для дифракционных исследований в СВЧ-диапазоне и приведены результаты первых экспериментов по наблюдению дифракции 2-мм излучения на объемной решетке в геометрии Лауэ для различных отражающих плоскостей.

Экспериментальная установка

Для проведения дифракционных исследований в миллиметровом диапазоне была создана автоматизированная установка, блок-схема которой приведена на рис. 1.

Генератор излучения (ГИ) 2-мм диапазона ГИ-161 имеет выходную мощность до 4 мВт и рабочий диапазон частот 129-142 ГГц (длины волн 2,3-2,1 мм). Паразитная девиация частоты не превышает 5 МГц. Направленный пучок СВЧ-излучения формируется пирамидальной рупорной антенной (РА). Контроль мощности генератора осуществляется измерителем мощности (ИМ), на который отвлекается 10% мощности.

Приемник (П) излучения с аналогичной РА построен по гетеродинамической схеме. Гетеродин (ГТ) собран на диоде Ганна. Излучение ГТ поступает на опорный вход смесителя (СМ). Сигнал промежуточной частоты (ПЧ) проходит через трехкаскадный усилитель УПЧ с полосой пропускания от 10 до 1500 МГц и общим коэффициентом усиления 70 дБ при $f_{ПЧ} = 500$ МГц. Мощность ГТ выбиралась по максимуму отношения сигнала к шуму на ПЧ. Для визуального контроля и настройки установки по сигналу ПЧ служит анализатор спектра (АС). Для повышения чувствительности системы регистрации

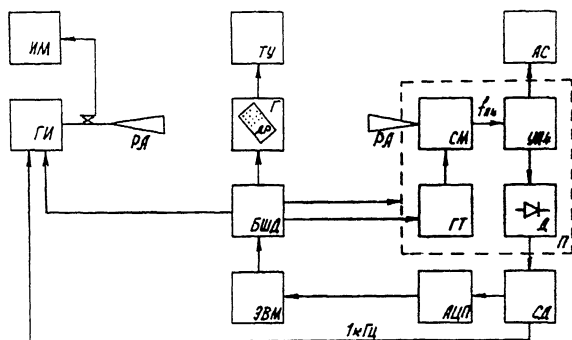


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

используется синхронное детектирование (СД) с импульсной модуляцией на частоте 1 кГц. С этой целью ГИ работает в режиме внешней модуляции прямоугольными импульсами. Выходной сигнал с СД оцифровывается с помощью 12-разрядного АЦП и поступает в ЭВМ. Чувствительность приемного тракта составляет $\sim 10^{-12} \text{ В} \times \text{кГц}^{-1/2}$.

Блок приемника, обозначенный на схеме пунктирной линией, размещен на подвижной тележке, поворот которой относительно оси гониометра (Г) обеспечивает угол обзора до 180° . Для автоматического сканирования дифракционной решетки, расположенной на гониометре, и приемника служит блок шаговых двигателей (БШД), управляемый от ЭВМ. Относительная точность установки углов в обоих случаях не хуже 0,5%. С помощью БШД осуществляется также управление выходной мощностью ГИ (до 30 дБ) и частотой ГТ в необходимом диапазоне. Для визуального контроля поворота дифракционной решетки используется телеустановка (ТУ).

Результаты эксперимента

Для проведения первых экспериментов была изготовлена объемная дифракционная решетка из тонких диэлектрических нитей диаметром $\Delta = 0.4 \pm 0.1 \text{ мм}$ (рис. 2). Нити изготовлены из теллурического стекла с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 22$ и тангенсом потерь $\text{tg} \delta \approx 5 \cdot 10^{-2}$. Расстояние между нитями $h = 5 \pm 0.1 \text{ мм}$. Размеры решетки по осям X, Y и Z составляют 70, 110 и 100 мм соответственно.

Эксперимент проводился на двух различных семействах плоскостей с индексами Миллера (0, 1, 0) и (1, 1, 0) (рис. 2). Угловое положение дифракционного максимума определяется из условия Вульфа-Брэгга [6]:

$$|\vec{k}| = |\vec{k}_z|, \quad 2d \sin \varphi_{\text{Бр}} = \lambda, \quad (1)$$

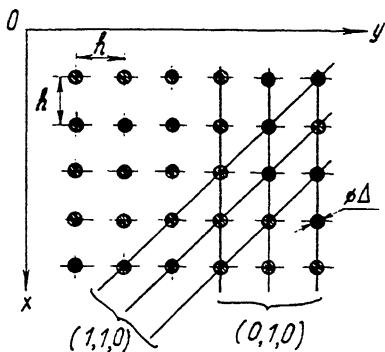
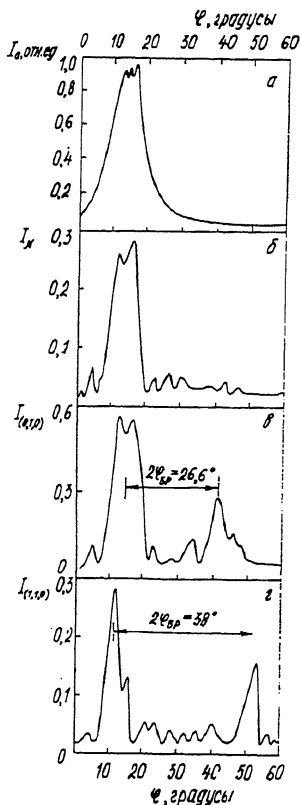


Рис. 2. Дифракционная решетка из диэлектрических нитей.

Рис. 3. Угловые распределения:

а - диаграмма направленности, б - пучок проходит по нормали к решетке, в - дифракция на плоскостях $(0, 1, 0)$, г - дифракция на плоскостях $(1, 1, 0)$.



где \vec{k} и \vec{k}_T - волновые векторы прошедшей и дифрагированной волн в среде, λ - длина волны излучения, d - расстояние между отражающими плоскостями, ψ_{Br} - угол Брэгга. Угол между прошедшей и дифрагированной волнами равен удвоенному углу Брэгга.

Первоначальная юстировка экспериментальной установки проводилась следующим образом. С помощью гелий-неонового лазера рупорные антенны ГИ и П выставлялись в одной плоскости и соответствующим образом ориентировались относительно оси гониометра. Далее была снята диаграмма направленности (ДН) в отсутствие решетки. На рис. 3 (а) представлена типичная картина ДН длине волны генератора $\lambda = 2.3$ мм, выходной мощности 300 мкВт, $f_{пч} = 500$ МГц, расстоянии от ГИ и П до оси гониометра - 30 и 60 см соответственно. Угловая ширина ДН на полувысоте составляет 6° . Эта величина получена с учетом того, что ось гониометра, относительно которой происходит поворот приемника, не совпадает с положением рупора генератора.

Затем на гониометр устанавливалась дифракционная решетка, при этом нити были параллельны оси вращения. Падающее излучение

имело ζ - поляризацию (вектор электрического поля направлен вдоль нитей). На рис. 3, б представлено угловое распределение излучения при прохождении пучка по нормали к решетке (вдоль оси OX). Амплитуда проходящего пучка составляет $\sim 30\%$ от падающего (в отсутствие решетки). Дифрагированные волны при этом отсутствуют.

Далее решетка поворотом на угол $\varphi_{бр}$ ориентировалась в условия дифракции, соответствующие плоскостям (0, 1, 0) и затем (1, 1, 0). Полученные дифракционные картины приведены на рис. 3, в, г. В этих распределениях отчетливо наблюдаются дифракционные пики, находящиеся на расстоянии $2\varphi_{бр}$ от прошедшего пучка.

Удвоенные углы Брэгга составляют для рассматриваемых плоскостей $26,6^\circ$ и 38° . Как видно из распределения (рис. 3, в), максимум мощности прошедшей волны в два раза превышает соответствующую величину вдали от условий дифракции (рис. 3, б). Этот факт может быть объяснен проявлением эффекта Бормана, хорошо известного в оптике рентгеновских лучей и заключающегося в аномальном прохождении излучения вблизи точного выполнения условий дифракции в геометрии Лауэ [6]. Отметим, что дифракция на плоскостях (1, 1, 0) происходит в более сложной геометрии, так как для выбранной длины волны условия (1) для плоскостей (1, 1, 0), (1, 3, 0) и (3, 1, 0) различаются по углу падения на решетку всего на несколько градусов, что меньше полуширины ДН. С этим фактом может быть связана большая угловая направленность прошедшей и дифрагированной волн в этой геометрии.

Полученные угловые распределения хорошо соответствуют ожидаемой дифракционной картине для случая дифракции Лауэ. Высокая интенсивность дифракционных пиков и проявление эффекта Бормана свидетельствует о динамическом характере дифракции излучения мм-диапазона на объемной решетке, набранной из тонких диэлектрических нитей. Кроме самостоятельного интереса, подобные исследования можно рассматривать в качестве модельных для изучения процессов, происходящих в лазерах на свободных электронах мм-диапазона, использующих объемные периодические структуры [7].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Шестопалов В.П., Литвиненко Л.Н., Масалов С.А., Сологуб В.Г. Дифракция волн на решетках. Изд. Харьк. ун-та, 1973. 287 с.
- [2] Богданов Ф.Г., Кеванишвили Г.Ш., Симашвили З.И., Цагарейшвили О.П. // Радиотехника и электроника, 1985. Т. 30. В. 10. С. 1879-1884.
- [3] Богданов Ф.Г., Кеванишвили Г.Ш., Мерикакри В.В., Никитин И.П. // Радиотехника и электроника, 1991. Т. 36. В. 1. С. 48-52.
- [4] Mok S.L., Chambers W.G., Parker T.J., Costley A.E. // Infrared Phys. 1979. V. 19. N 4. P. 437-446.

- [5] Francescangeli O., Melone S., De Leo R. // Phys. Rev. A. 1989. V. 40. N 9. P. 4988-4996.
- [6] Пинскер З.Г. Рентгеновская кристаллооптика. М.: Наука, 1982. 392 с.
- [7] Барышевский В.Г., Дубовская И.Я., Феранчук И.Д. // Весті АН БССР. 1988. № 1. С. 92-97.

Поступило в Редакцию
2 августа 1992 г.