

## **Исследование СВЧ поглощающих покрытий в миллиметровом диапазоне длин волн**

Целью работы являлось исследование эффективности поглощающих СВЧ энергию покрытий из различных веществ для возможного применения в мощных ЭВП СВЧ, в том числе, гиротронах в диапазоне частот 130 – 180 ГГц. В качестве активных материалов использовались соединения 3 – х типов: полупроводники на основе  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ; изоляторы в виде окислов с поверхностной металлизацией частиц –  $Y_2O_3 - Re$ ;  $Al_2O_3 - Re$ ; сплавы, например, традиционные поглотители СВЧ типа альсифера  $Al - Si - Fe$ . Поскольку покрытия в дальнейшем предполагалось наносить на внутриламповые детали, для достижения хорошей адгезионной и когезионной прочности, а так же обеспечения требуемого теплоотвода нами выбран диапазон толщин покрытий  $15 \div 170$  мкм. С этой же целью в данной работе был применен плазменный способ формирования покрытий непосредственно из порошкообразных материалов [1] взамен традиционной ручной технологии нанесения поглощающих СВЧ покрытий с использованием органических связующих веществ [2]. В качестве материалов подложки применялись безкислородная медь и нержавеющая сталь в виде дисков диаметром 60 мм и толщиной 2 мм. Подложка предварительно подверглась абразивно – струйной обработке порошками окиси алюминия для получения необходимой шероховатости.

Предполагалось, что кроме традиционного механизма поглощения СВЧ энергии, реализуемого в покрытиях на основе сплава альсифер, в покрытиях на основе металлизированных окислов  $Y_2O_3$  и  $Al_2O_3$  электромагнитные колебания будут затухать за счет многократного отражения и ослабляться при прохождении тонких 50-100 Å металлических пленок на поверхности диэлектрических частиц, а в покрытиях на основе полупроводников – поглощаться на дефектах.

На рис.1 представлены зависимости поглощающих свойств указанных покрытий путем измерения коэффициентов отражения СВЧ сигнала в диапазоне исследуемых частот. Из приведенных данных видно:

-эффективность поглощения СВЧ энергии в покрытиях на основе альсифера слабо зависит от толщины в диапазоне 20-160 мкм и не превышает 5%;

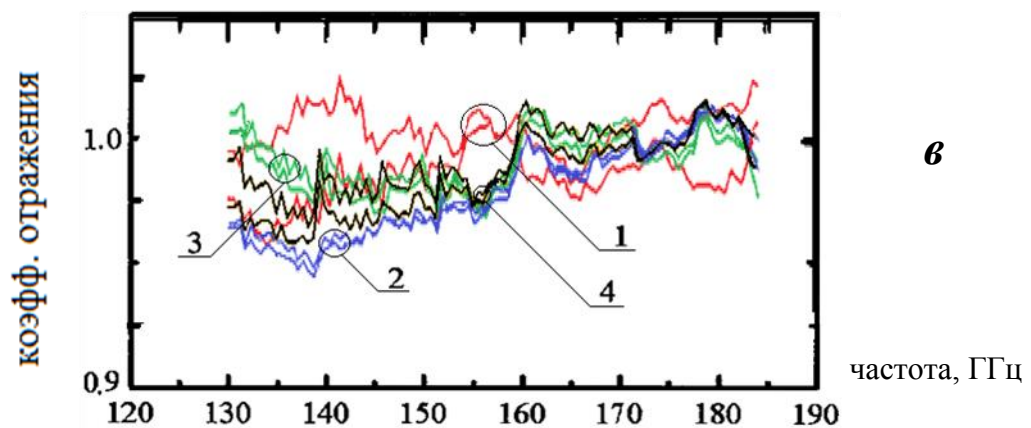
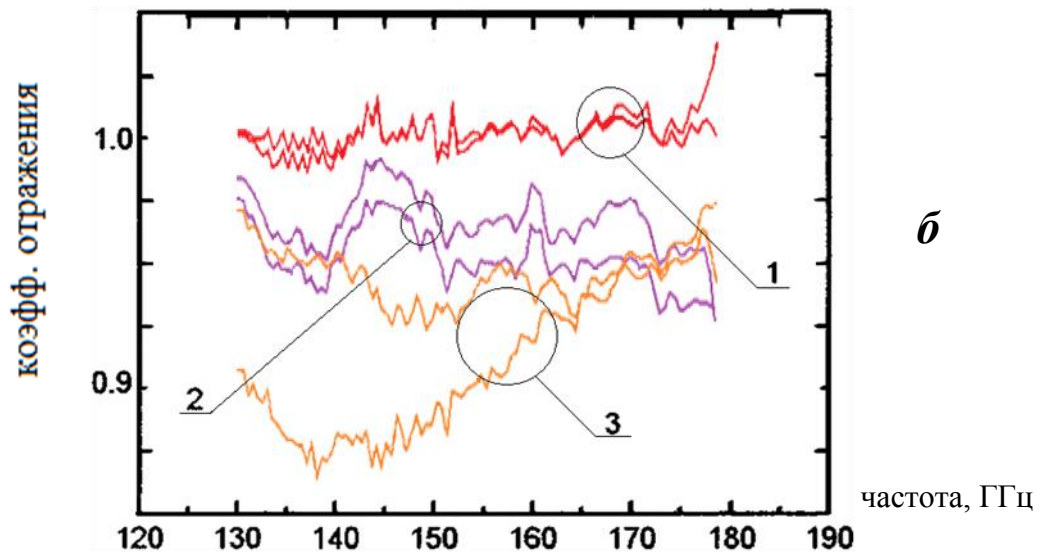
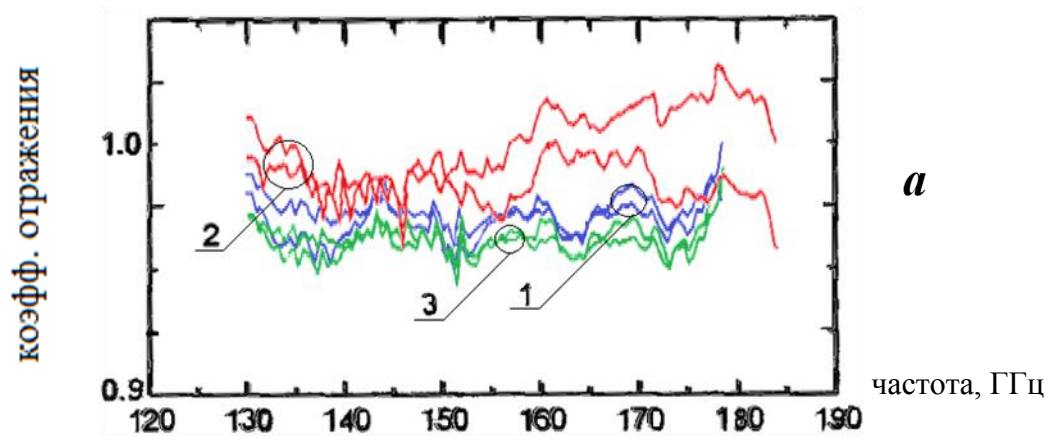
-для покрытий на основе металлизированной  $Y_2O_3$  поглощение существенно зависит от толщины и при 170 мкм достигает 13,5% на частотах 140-150 ГГц;

-для покрытий на основе  $ZrO_2$  поглощение существенно зависит от толщины и частоты и при 100 мкм достигает 55% на частотах 150 - 175 ГГц;

- для покрытий на основе  $TiO_2$  поглощение зависит от толщины и при 15 мкм достигает 15% во всем диапазоне исследуемых частот 130 - 180 ГГц.

Интересно отметить, наблюдаемое усиление отраженного сигнала (коэффициент больше 1.0) для образцов с тонким покрытием на основе  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  и металлизированных окислов  $Y_2O_3$  и  $Al_2O_3$ . Возможно – это аппаратурная методическая ошибка. Однако, на покрытиях из

сплава альсифер этот эффект обнаружен только на образцах прошедших водородный отжиг, в процессе которого наблюдается окисление кремния и алюминия до  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .



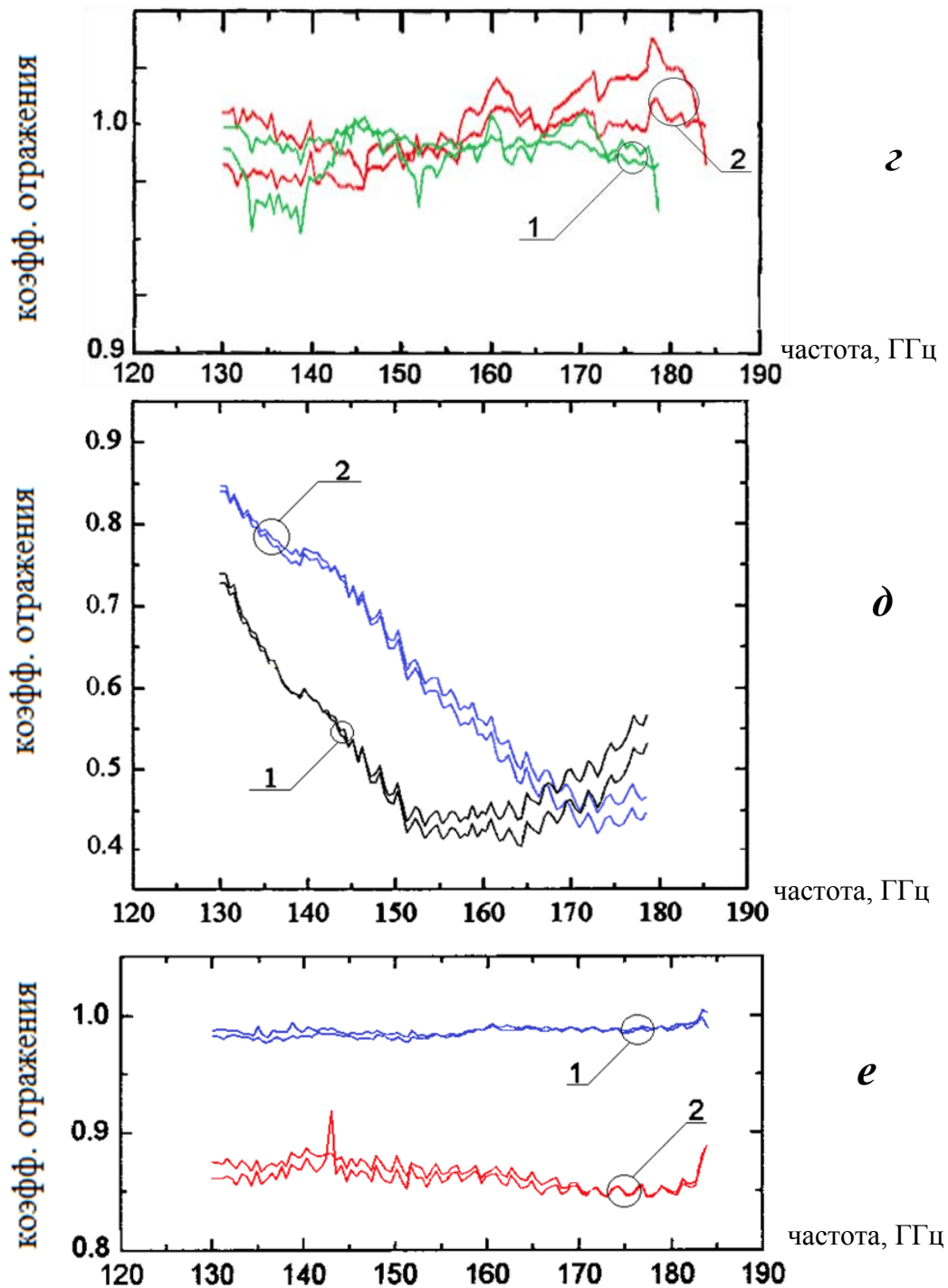


Рисунок 1

Зависимость коэффициента отражения СВЧ сигнала от частоты для различных образцов.

- а - альсифер: 1 – покрытие 20 мкм, 2 – 60 мкм (отжиг в  $H_2$ ), 3 – 160 мкм;  
 б -  $Y_2O_3 - Re$ : 1 – 20 мкм, 2 – 120 мкм, 3 – 170 мкм; в -  $Al_2O_3 - Re$ : 1 – 15 мкм, 2 – 30 мкм, 3 – 20 мкм (подложка нерж.сталь), 4 – 40 мкм; г -  $ZrO_2$ : 1 – 15 мкм, 2 – 15 мкм (отжиг в  $H_2$ ); д -  $ZrO_2$ : 1 – 100 мкм, 2 – 100 мкм; е -  $TiO_2$ : 1 – 15 мкм, 2 – 100 мкм

Учитывая достаточно жесткие требования к термоциклическим нагрузкам элементов прибора с СВЧ поглощающим покрытием, нами проведены испытания образцов реальных деталей гиротрона с имитацией следующих технологических процессов:

- пайка дрейфа - подъем температуры в течение 40 мин. до 830°C, выдержка 30 мин., подъем температуры до 870°C в течение 5 -7 мин, выдержка 1,5 – 2 мин., остывание 1,5 часа;

- пайка блока резонатора - подъем температуры до 740°C в течение 120 мин., выдержка 50 мин., подъем температуры до 780°C в течение 15 мин., выдержка 3 мин., остывание 4 часа до 200°C, остывание до комнатной температуры 1,5 часа;

- пайка пораболы - подъем температуры до 660°C в течение 120 мин., выдержка 45 мин., подъем температуры до 710°C за 10 мин., выдержка 3 мин., остывание 3,5 часа до 200°C, остывание 1,5 часа до комнатной температуры;

- отжиг блока резонатора - подъем температуры до 650°C в течение 120 мин., выдержка 30 мин., остывание до 200°C в течение 120 мин., остывание до комнатной температуры в течение 1,5 часов.

Разрушений и отслаиваний покрытий на медных подложках не обнаружено. На основании проведенных исследований можно рекомендовать изготовление элементов с поглощающим СВЧ покрытием для реальных приборов.

#### Библиографический список

1. Ильин В.Н. СВЧ поглощающие покрытия миллиметрового диапазона длин волн / В.Н. Ильин, Ю.А. Потапов, В.А. Смирнов, С.С. Дроздов // Научно-техническая конференция «Электронные приборы и устройства нового поколения»: сборник материалов конференции (Саратов, 14-15 февраля 2002 г.). – С. 75.
2. Ирюшкина И.Ф. Материалы для внутривакуумных поглотителей СВЧ энергии / И.Ф. Ирюшкина, Н.И. Воробьева // Обзор по электронной технике. – Москва: ЦНИИ «Электроника». – 1988. – Сер. 6 – Вып. 9 (1415).