

УДК 535.341.08: 621.317.3.32

ПОГЛОЩАЮЩЕЕ ПОКРЫТИЕ В ТЕРАГЕРЦОВОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА

А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков, В.Б. Залесский

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск

ABSORBING COATING IN THE TERAHERTZ PART OF SPECTRUM

A.K. Esman, V.K. Kuleshov, G.L. Zykov, V.B. Zalesski

B.I. Stepanov Institute of Physics of NAS Belarus, Minsk

Исследовано поглощение электромагнитного излучения в частотном диапазоне 35-55 ТГц многослойным покрытием, верхний слой которого содержит массив пирамид субмикронных размеров, расположенных в строго геометрическом порядке по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Показано, что предложенная структура обеспечивает потери на отражение -39,5 дБ на резонансной частоте 42,3 ТГц и позволяет получить изменение температуры чувствительного слоя 3 мК при плотности мощности входного излучения, равной 0,1 Вт/м².

Ключевые слова: поглощающая структура, многослойное покрытие, массив пирамид, термочувствительность.

Absorption of electromagnetic radiation in the frequency range of 35 to 55 THz by the multilayer coating, in which the top layer contains an array of pyramids arranged in a strictly geometric pattern in two mutually perpendicular directions is investigated. It is shown that the proposed structure provides a return loss better than 39.5 dB at the resonance frequency of 42.3 THz and a change of temperature of the sensitive layer of 3 mK at the input power density of radiation of 0.1 W/m².

Keywords: absorbing structure, multi-layer coating, the array of pyramids, thermal sensitivity.

Введение

Практическая востребованность терагерцовых (ТГц) приборов как гражданского, так и в военного назначения стимулирует дальнейшее развитие работ в данном направлении. Одной из актуальных проблем при разработке приемников изображений и преобразователей излучения в ТГц спектральном диапазоне является создание современных высокоэффективных поглощающих покрытий. Решение этой задачи идет как по пути создания новых материалов, так и совершенствования уже известных, которые одновременно обладали бы коэффициентами: поглощения близким к единице, а отражения – стремящимся к нулю. Особенность исследований в этом направлении главным образом связана с тем, что получение таких материалов происходит обычно в рамках закономерностей, достаточно полно неизученных ранее. Одним из возможных путей достижения желаемого результата является использование многослойных покрытий или градиентных слоев [1]–[5].

Цель настоящего исследования - изучение использования дисперсионных элементов, выполненных в виде массива пирамид, расположенных соответствующим образом на поверхности поглощающего многослойного покрытия, позволяющих снизить коэффициент отражения падающего электромагнитного излучения в приборах нового поколения ТГц-ой техники.

1 Описание поглощающей структуры

Нами предложена оригинальная поглощающая структура [6], фрагмент которой содержит

три слоя хрома 3, расположенных на подложке кремния 4, размером 2,4×2,4×1,95 мкм, между которыми находятся диэлектрические слои 2 из двуокиси кремния (рисунок 1.1). Верхний диэлектрический слой 1 поглощающей структуры выполнен в виде пирамиды, высота которой составляла 0,75 мкм. Расстояние между её основанием и первым ближайшим металлическим слоем варьировалось от 300 до 900 нм, а расстояния между последовательно расположенными первым, вторым и третьим металлическими слоями составляли соответственно 625 и 100 нм. Толщина диэлектрического слоя между третьим металлическим слоем и подложкой составляла 50 нм.

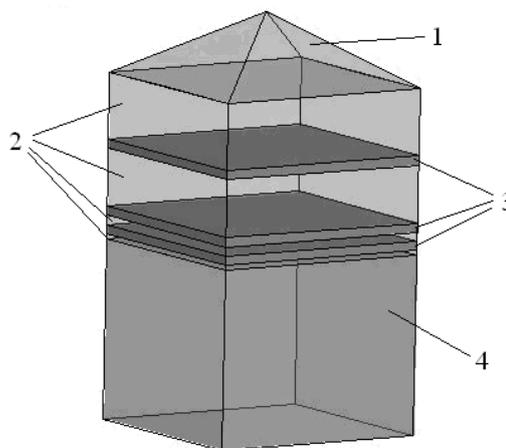


Рисунок 1.1 – Фрагмент поглощающей структуры: 1 – верхний диэлектрический слой, 2 – диэлектрические слои, 3 – металлические слои, 4 – подложка

2 Результаты расчета параметров и характеристик поглощающей структуры

Для расчета ожидаемых практически значимых параметров и характеристик приведенной структуры в частотном диапазоне от 35 ТГц до 55 ТГц использовались пакеты программ HFSS и Comsol Multiphysics. При компьютерном расчете электродинамических параметров и характеристик поглощающей структуры была задействована программа HFSS [7], а исследование её теплофизических свойств проводилось с помощью модуля Heat Transfer программного пакета COMSOL Multiphysics [8].

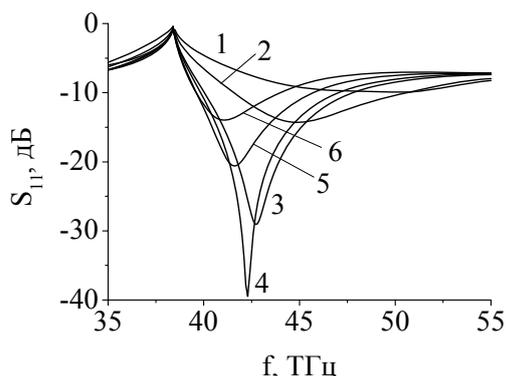


Рисунок 2.1 – Частотная зависимость потерь на отражение поглощающей структуры для толщины диэлектрического слоя между основанием пирамиды и первым металлическим слоем: 300 (1), 500 (2), 675 (3), 725 (4), 800 (5) и 900 (6) нм

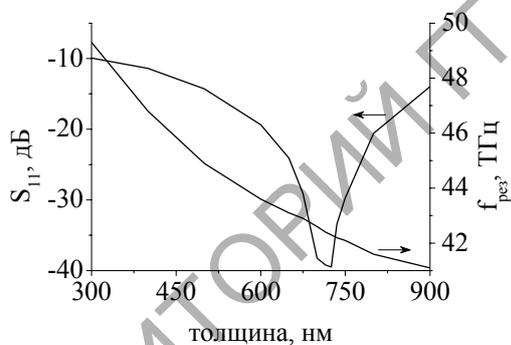


Рисунок 2.2 – Зависимость потерь на отражение и резонансной частоты поглощающей структуры от толщины диэлектрического слоя между основанием пирамиды и первым металлическим слоем

При поступлении входного электромагнитного излучения на поверхность верхнего диэлектрического слоя происходит интерференционное поглощение, состоящее в наложении прямой и отраженной волн и обеспечивающее его минимальное отражение. Рассчитанные частотные зависимости потерь электромагнитного излучения на отражение (S_{11}) рассматриваемой поглощающей структуры для различных по толщине диэлектрических слоев между основанием пирамиды и первым металлическим слоем приведены на рисунке 2.1. При толщине этого

слоя, равной 725 нм, потери на отражение электромагнитного излучения достигают минимального значения и составляют $-39,5$ дБ на резонансной частоте $f_{рез} = 42,3$ ТГц (рисунок 2.2). Варьируя толщиной указанного слоя поглощающей структуры можно изменять её резонансную частоту (рисунки 2.1, 2.2).

Компьютерные исследования теплофизических свойств поглощающей структуры показывают, что изменение температуры во всех её металлических слоях практически одинаково при воздействии входного излучения. На рисунке 2.3 приведена зависимость изменений температуры в поглощающей структуре с оптимальной толщиной диэлектрического слоя, равной 725 нм между основанием пирамиды и первым металлическим слоем, от плотности мощности падающего излучения. Временные зависимости изменений температуры рассматриваемой поглощающей структуры показаны на рисунке 2.4. Установившиеся значения температуры (по уровню 0,9) в оптимизированной поглощающей структуре при разных значениях плотности мощности падающего входного излучения достигаются за время, равное $\sim 0,6$ секунды (рисунок 2.4).

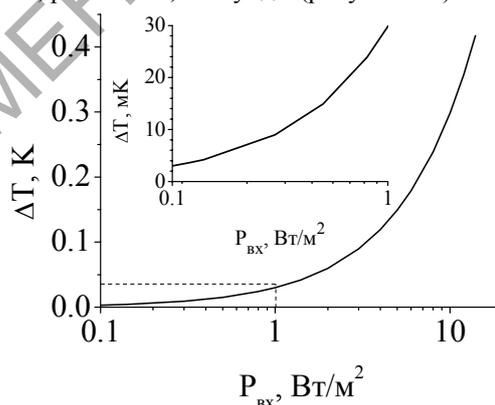


Рисунок 2.3 – Зависимость изменений температуры поглощающей структуры от плотности мощности входного излучения. На вставке – ее увеличенный фрагмент

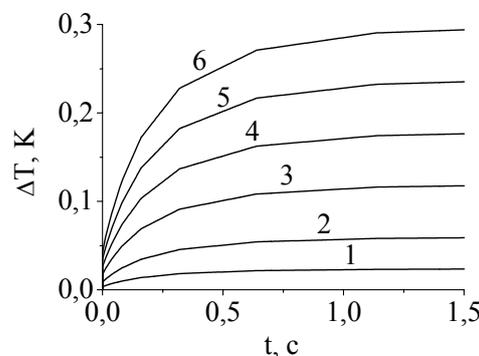


Рисунок 2.4 – Временная зависимость изменений температуры поглощающей структуры для плотности мощности входного излучения: 0,8 (1), 1 (2), 2 (3), 4 (4), 6 (5) и 8 (6) Вт/м²

Заключение

Проведенный компьютерный эксперимент показал, что разработанная интегральная поглощающая структура позволяет уменьшить коэффициент отражения электромагнитного излучения в спектральном диапазоне 35–55 ТГц до –39,5 дБ за счет использования дисперсионных элементов, выполненных в виде массива пирамид, и оптимизации толщин диэлектрических слоев. Показано, что изменение температуры чувствительного слоя в 3 мК можно достичь при плотности мощности входного излучения, равной 0,1 Вт/м².

Применение такого поглощающего многослойного покрытия, например в преобразователях солнечной энергии в электричество и приборах тепловизионной техники, позволит увеличить их коэффициент полезного действия, а в датчиках температуры и устройствах измерения энергии – точность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Reflectivities of light-absorptive coatings within visible-wavelength range* / К.А. Moldosanov [et al.] // *Proceeding of SPIE*. – 2000. – Vol. 4093. – P. 181–192.
2. *Особенности поглощения ИК-излучения в тонких полиимидных структурах и микроболометрический приемник на их основе* / А.А. Жуков [и др.] // *Прикладная физика*. – 2002. – № 4. – С. 157–161.
3. *Калашников, Е.В.* Исследование совместного воздействия высокопористых потоков

мелкодисперсных частиц, плазмы и коротковолнового излучения на оптические материалы при термоциклировании в вакуумных условиях / Е.В. Калашников, С.И. Рачулик // *Оптический журнал*. – 2008. – Т. 75, № 12. – С. 73–79.

4. *Жилин, А.А.* Метаматериалы – новое направление в материаловедении / А.А. Жилин, М.П. Шепилов // *Физика и химия стекла*. – 2010. – Т. 36, № 5. – С. 657–702.

5. *Структурные превращения и образование нанокристаллитов кремния в плёнках SiOx* / В.Я. Братусь [и др.] // *Физика и техника полупроводников*. – 2001. – Т. 35, Вып. 7. – С. 854–860.

6. *Светопоглощающее многослойное покрытие* : пат. 15113 Респ. Беларусь, МПК G 02B 5/22, В 82В 1/00, G 03С 1/00 / А.К. Есман, В.К. Кулешов; заявитель ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси». – № а 20100183; заявл. 09.02.10; опубл. 30.12.11 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2011. – № 6. – С. 162.

7. *Банков, С.Е.* Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С.Е. Банков, А.А. Куршин. – М.: ЗАО «НПП “Родник”», 2009. – 256 с.

8. *Curing simulation of composites coupled with infrared heating* / S. Nakouzi [et al.] // *International Journal of Material Forming*. – 2010. – Vol. 3, Suppl. 1. – P. 587–590.

Поступила в редакцию 11.06.12.