

УДК 621.315.592

Особенности поглощения ИК-излучения в тонких полиимидных структурах и микроболометрический приемник на их основе

А. А. Жуков, А. Е. Здобников, С. Н. Клемин, В. В. Тарасов,
Л. А. Филатов, Ю. С. Четверов
ОАО «ЦНИИ «ЦИКЛОН»»; «ГУП НПП «ПУЛЬСАР»», Москва, Россия

Исследовано поглощение ИК-излучения в диапазоне 200—4000 см⁻¹ в полиимидных пленках толщиной 0,65—1,9 мкм с тонкими функциональными покрытиями — титаном, нитридом кремния, алюминием. Структура на основе полиимида толщиной 1,3—1,4 мкм обеспечивает поглощение до 85 % ИК-излучения в области 720—1250 см⁻¹. На основе разработанной технологии получения полиимидных пленок изготовлены и исследованы образцы микроболометрических линеек. Рассчитанное значение обнаружительной способности микроболометрической линейки составляет $4 \cdot 10^7$ см Гц^{1/2} Вт⁻¹.

В современных микроболометрических устройствах основным узлом является чувствительный элемент, позволяющий преобразовать падающее ИК-излучение в изменение электрической величины — сопротивления тонкопленочного резистора. Для создания чувствительных элементов используют многослойные структуры, в которых тонкопленочный резистор сформирован на поверхности тонкой пленки, закрепленной на перемычках над поверхностью подложки на опорах. В качестве материала пленки чаще всего применяют нитрид или оксинитрид кремния [1, 2]. В работе [5] представлены результаты исследований свойств тонких пленок (2,0—2,2 мкм) поли-N-фенилпараоксифенилпиромеллитимида с одно- и двусторонней металлизацией титаном: отражение, пропускание и поглощение. Обнаружено повышенное поглощение излучения двусторонней металлизированной пленки в диапазоне 860—1420 см⁻¹ с максимумом до 76 % в области 900—1060 см⁻¹. Однако данные для пленок меньшей толщины, их свойства и использование в качестве конструктивных элементов в микроболометрах, к сожалению, отсутствуют.

Для формирования чувствительных элементов микроболометрических линеек предложено использовать сверхтонкие (0,5—0,8 мкм) пленки N-фенилпараоксифенилполипиромеллитимида [3, 4].

Цель работы — оценка использования полиимидных пленок для формирования микроструктур чувствительных элементов болометров.

Экспериментальная часть

Объектами исследований служили модельные образцы со сформированными полиимидными покрытиями толщиной 0,65—1,9 мкм и чувствительные элементы микроболометрических линеек на их основе. Для определения вклада функциональных слоев на поверхностях полиимидных пленок и покрытий формировали слои титана или никрома (материалы резисторов), нит-

рида кремния толщиной 0,03 и 0,1 мкм или ITO (защитный материал), термостойкого адгезива толщиной 0,2–0,3 мкм и их сочетания (рис 1, а, б) и исследовали поглощение полученных структур в ИК-области спектра.

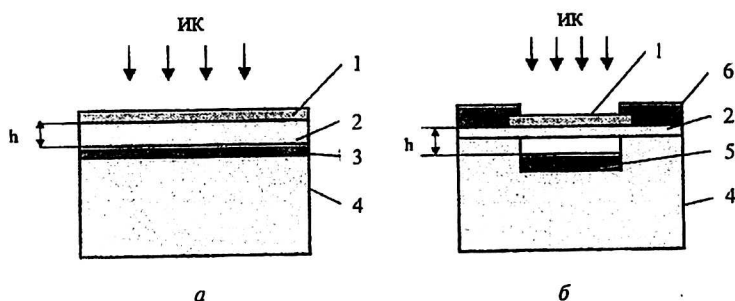


Рис. 1. Структуры для исследования поглощения ИК-излучения:

а — в полиимидных покрытиях; б — в модельном образце болометрической ячейки:
1 — чувствительный элемент; 2 — полиимидная пленка; 3, 5 — алюминиевое зеркало межсоединения; 4 — подложка; 6 — контактные площадки

Исследования поглощения проводили методами ИК-спектроскопии с помощью ИК-спектрофотометров UR-20 и SPECORD-M80 в диапазоне 200–4000 см⁻¹. Характеристики болометрических ячеек исследовали в области 720–1250 см⁻¹ на стенде, блок-схема которого приведена на рис. 2. Стенд состоит из инфракрасного облучателя ИКО-1, измерительной камеры, обеспечивающей возможность герметизации образца и изменение его температуры в диапазоне –20 ÷ +60 °С, измерительного канала, блоков питания, вакуумного поста.

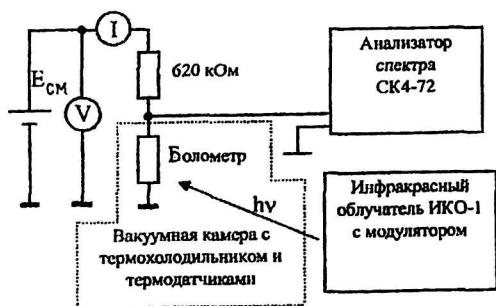


Рис. 2. Блок-схема стенда для измерений характеристик болометрических элементов

Обнаружительную способность рассчитывали по формуле

$$D^* = \frac{(U_1 - U_{ш}) \pi \sqrt{A_{эф} \Delta f}}{U_{ш} \Phi_1},$$

где D^* — обнаружительная способность, см Гц^{0,5} Вт;

U_1 — напряжение первой гармоники сигнала, В;

$U_{ш}$ — напряжение шума на той же частоте, что и сигнал, В;

$A_{эф}$ — эффективная площадь элемента, см²;

Δf — полоса частот анализатора, Гц;

Φ_1 — мощность излучения, падающего на элемент.

Обсуждение результатов

ИК-спектр поглощения пленки *N*-фенилпараоксифенилполипиромеллитимида свидетельствует о полностью прошедшей реакции имидизации и практически полностью совпадает с опубликованными результатами [5].

Для структуры, представленной на рис. 1, *a*, ситуация поглощения в ИК-области резко меняется, о чем свидетельствуют спектры поглощения, представленные на рис. 3, *a—в*.

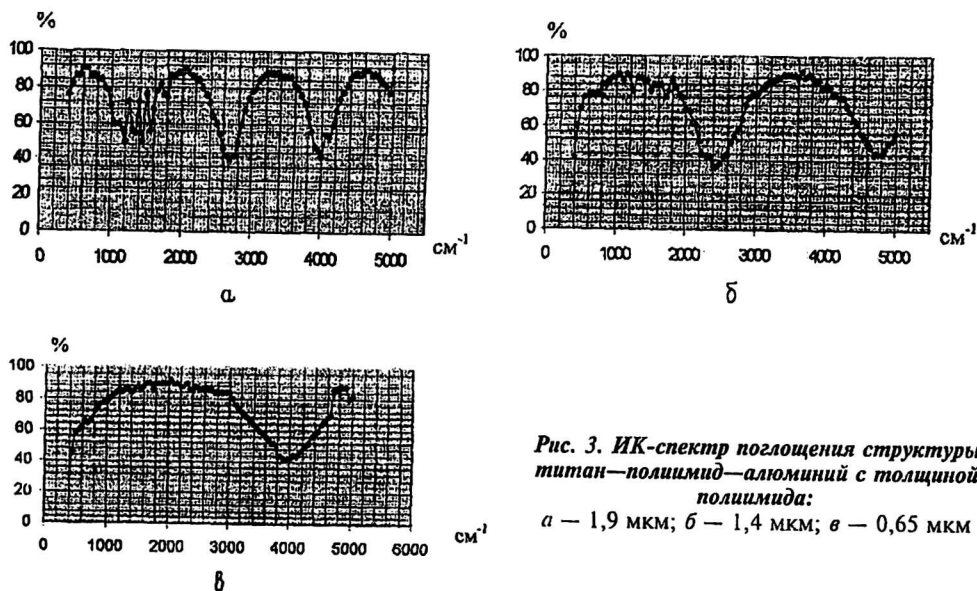


Рис. 3. ИК-спектр поглощения структуры титан—полиимид—алюминий с толщиной полиимида:

a — 1,9 мкм; *б* — 1,4 мкм; *в* — 0,65 мкм

Как видно из представленных экспериментальных результатов, в исследуемой структуре возникает интерференция, при этом положение интерференционных максимумов поглощения напрямую зависит от толщины полиимида. При уменьшении толщины полиимида с 1,9 до 0,65 мкм в диапазоне 400—5000 см⁻¹ количество максимумов поглощения снижается с расширением полосы поглощения. Толщина полиимида 1,9 мкм соответствует максимумам поглощения 600, 2000, 3300, 4600 см⁻¹, толщина 1,4 мкм — 1300 и 3600 см⁻¹, а толщина 0,65 мкм — 2000 см⁻¹. Величина поглощения ИК-излучения в максимумах составляет 85—90 %, что позволяет сделать вывод о возможности использования пленок в конструкциях микроболометров, функционирующих в нескольких областях ИК-спектра. Подобные конструкции могут быть использованы в тепловизионных устройствах с накоплением информации.

Для применения в микроболометрических ячейках оптимальная толщина полиимида покрытия в области 720—1250 см⁻¹ составляет 1,3—1,4 мкм, что обеспечивает поглощение до 85 %. При этом поглощения ИК-излучения полиимидом не наблюдается, что связано с интерференцией в структуре. Аналогичное явление характерно для металлизированных полиимидных пленок и покрытий той же толщины [5].

Исследования структур, аналогичных представленной на рис. 1, но сформированными на поверхности функциональными покрытиями на основе нитрида кремния или ИТО толщиной 0,03—0,1 мкм, показали, что при ука-

занных толщинах функциональные покрытия существенного влияния на величину поглощения не оказывают.

Полученные результаты были использованы при разработке конструкции и технологии изготовления микроструктур чувствительных элементов болометров на основе полиимидных пленок. Изготовление чувствительных элементов базируется на известных методах микрообработки и включает технологические операции формирования алюминиевых зеркал, полиимидной пленки с тонкопленочным резистором и систему межсоединений. Толщина полиимидной пленки составляет 0,8—1 мкм. Выбор этой толщины основан на анализе оптических и физико-технологических свойств полученных структур [6]. На основе разработанной технологии получения тонких полиимидных пленок получены экспериментальные образцы структур со сформированными резисторами и алюминиевой разводкой отверстиями в пленке. Минимальный размер перемычки, сформированной в пленке для ее монтажа на опорах, составляет 3 мкм, толщина полиимида 1,3—1,4 мкм.

При исследовании образцов чувствительных элементов обнаружено, что при толщине зазора между металлизированной полиимидной пленкой и зеркалом на подложке 1,8—2 мкм поглощение в структуре достигает 90 %.

В результате проведенных исследований установлено, что поглощение ИК-излучения в структуре титан—полиимидное покрытие—алюминий сильно зависит от толщины полиимида. При этом поглощения ИК-излучения полиимидом не обнаружено, что связано с возникающей в структуре интерференцией. Для изготовления микроболометрических элементов оптимальная толщина полиимидной пленки составляет 1,3—1,4 мкм, что обеспечивает поглощение до 85 % ИК-излучения в области 720—1250 см⁻¹.

На основе разработанной технологии получения тонких полиимидных пленок изготовлены и исследованы образцы микроболометрических линеек. Исследована зависимость чувствительности микроболометра от приложенного напряжения и модуляции. Рассчитанное значение обнаружительной способности микроболометрической линейки составляет $4 \cdot 10^7$ см Гц^{1/2} Вт⁻¹.

Л и т е р а т у р а

1. Леонов В. Н., Маляров В. Г., Хребтов И. А., Шаганов И. И., Феоктистов Н. А. // Оптический журнал. 1998. Т. 65. С. 18.
2. Груздева А. П., Зеров В. Ю., Коновалова О. И. // Там же. 1997. Т. 64. № 12. С. 38.
3. Бессонов М. И., Котон М. М., Кудряцев В. В., Лайус Л. А. Полиимиды — класс термостойких полимеров. — Л.: Наука, 1983. — 307 с.
4. Polyimides: Fundamentals and applications / Edited by M. Ghosh, K. Mittal. Marcel Decker Inc., New York, Basel, Hong Kong., 1996. — 891 p.
5. Жуков А. А., Здобников А. Е., Клемин С. Н., Лаврицев В. П., Тарасов В. В., Четверов Ю. С. // Прикладная физика. 2000. № 5. С. 80.
6. Жуков А. А., Лаврицев В. П., Четверов Ю. С. // Электроника и информатика — XXI век // Третья МНТК: Тез. докл. — М.: МИЭТ, 2000. С. 271.

Particularities of IR-radiation absorbing in fine polyimide structures and microbolometer detector on their base

A. A. Zhukov, A. E. Zdobnikov, S. N. Klemin, V. V. Tarasov,
L. A. Filatov, Yu. S. Chetverov
JSC CSRI "CYCLONE", SUE SPE "PULSAR", Moscow, Russia

The absorption of IR-radiation 200–4000 cm⁻¹ range of 0.65–1.9 micron thick polyimide thin-films with such functional coverings as titanium, silicon nitride, aluminium was investigated. The 1.3–1.4 micron thick polyimide structure have 85 % absorption of IR-radiation of 720–1250 cm⁻¹ range. On the base of the developed polyimide thin-film technology linear microbolometric array detectors were fabricated and investigated. Calculated value of the linear microbolometer array detectivity is 4 · 10⁷ cm · Hz^{1/2} · W⁻¹.