УДК 621.315.592

Оптические свойства в ИК-диапазоне металлизированных полиимидных пленок

А. А. Жуков, А. Е. Здобников, С. Н. Клемин, В. П. Лаврищев, В. В. Тарасов, Ю. С. Четверов
ЦНИИ "ЦИКЛОН", Москва, Россия

Методом ИК-спектроскопии исследованы свойства тонких пленок (2,0—2,2 мкм) поли-N-фенилпараоксифенилпиромеллитимида с одно- и двусторонней металлизацией титаном: отражение, пропускание и поглощение. При наличии толстого титанового покрытия с одной стороны и тонкого — с другой стороны поглощение полиимидной пленки с двусторонней металлизацией титаном увеличивается в два раза по сравнению с поглощением односторонне металлизированной пленки. Обнаруженное повышенное поглощение излучения двусторонней металлизированной пленки в диапазоне 860—1420 $см^{-1}$ с максимумом до 76 % в области 900—1060 $см^{-1}$ объясняется интерференцией волн в структуре.

Основой современных устройств ИК-техники (тепловизоры, сканеры и др.) является чувствительный элемент, преобразующий падающее ИК-излучение в электрический сигнал. Поскольку исполнение таких элементов методами микрообработки позволяет значительно снизить массогабаритные и стоимостные характеристики устройств, основные усилия исследователей направлены на выбор материалов, удовлетворяющих ряду специфических требований: теплопроводности, поглощающей способности в выбранном диапазоне длин волн, термостойкости и технологичности [1—3].

В настоящей работе предпринята попытка исследовать некоторые характеристики металлизированных полиимидных пленок: поглощение, отражение и пропускание в диапазоне длин волн 860—1420 $см^{-1}$.

Выбор полиимида в качестве объекта исследования обусловлен рядом ценных свойств, присущих этому материалу: полиимидные пленки и покрытия обладают высокими диэлектрическими и механическими параметрами, выдерживают температурные воздействия до ≈573 К, а технология их формирования и микрообработок хорошо освоена в процессах изготовления многослойных печатных плат и интегральных схем [4, 5].

Исследованию характеристик полиимидных пленок методами ИК-спектроскопии посвящено значительное количество работ [4, 6], однако систематические данные о свойствах металлизированных полиимидных пленок в ИК-диапазоне не обнаружены.

Пленки поли-N-фенилпараоксифенилпиромеллитимида толщиной 2,0—2,2 мкм получали из растворов полиамидокислоты в N,N′-диметилформамиде на технологических подложках удалением последних после синтеза полимера. Мономеры и растворитель перед синтезом полиамидокислоты подвергали очистке известными методами. Раствор полиамидокислоты фильтровали. Отливку пленок производили центрифугированием при угловой скорости ротора 1500—1600 $мин^{-1}$ с последующей имидизацией при температуре 580—593 К в течение 1 ч.

Полученные пленки покрывали титаном различной толщины. Для исследований подготавливали три типа образцов: без металла и с одно- и двусторонней металлизацией. Металлизацию пленок осуществляли термовакуумным

испарением при остаточном давлении в камере не более $(1—1,5)\cdot10^{-5}$ торр. Непосредственно перед металлизацией пленки подвергали стандартным процедурам обработки. Удельное поверхностное сопротивление титановых пленок составляло 30—32 и 173—175 Ом/□.

Экспериментальные образцы исследовали методами ИК-спектроскопии с помощью ИК-спектрофотометров UR-20 и SPECORD-M80. Определение поглощения, пропускания и отражения в экспериментальных образцах проводили по методике, изложенной в работе [7]. Удельное поверхностное сопротивление металлизации оценивали четырехзондовым методом на установке Microprobe, количество измерений составляло не менее 5. Толщину полиимидных пленок оценивали с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4.

На рис. 1 представлен спектр поглощения исследуемой полиимидной пленки, полученной из раствора. Спектр носит типичный для полипиромеллитимида характер, в целом совпадает с опубликованными ранее данными для промышленных пленок марки ПМ и содержит полосы, описанные в [5], как характерные для полностью имидизированного полимера: ($см^{-1}$) 1779 (симметричные, C=0 колебания имида), 1730 (асимметричные, C=0 колебания), 1355 (колебания CN-связи), 725 (деформационные колебания имидного цикла). Полос, характерных для амидных групп: 1660 (C=0, амид I), 1550 (CNH, амид II), а также для карбоксильных групп: 1318 (C=0), 910 (OH, внеплоскостное колебание), в спектре не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии в составе пленки полипиромелитамидной кислоты и, соответственно, о практически полностью завершенной стадии имидизации при синтезе полимера.

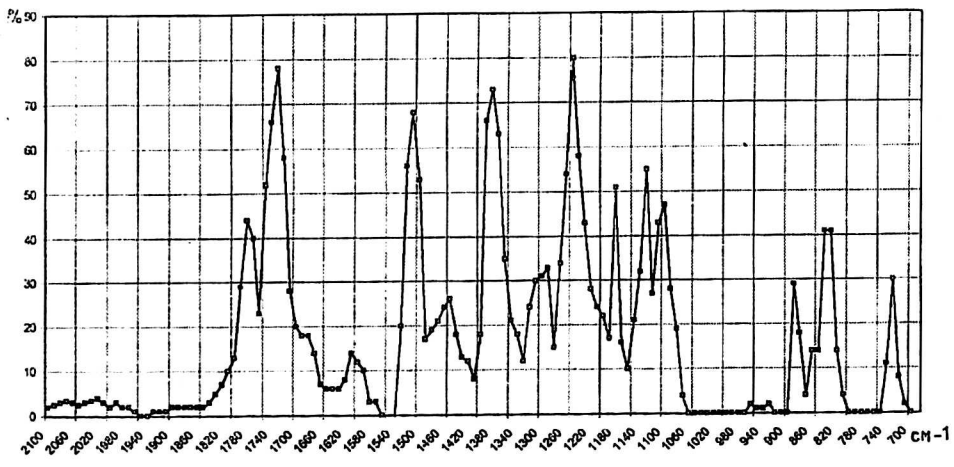


Рис. 1. Спектр поглощения (%) полиимидной пленки, полученной из раствора полипиромелитамидной кислоты в диметилформамиде

На рис. 2 *а*, *б* представлены спектры поглощения, отражения и пропускания (%) полиимидных пленок толщиной 2—2,2 мкм со сформированным титановым покрытием с удельным поверхностным сопротивлением 30—32 Ом/□ (см. рис. 2, *а*) и 173—175 Ом/□ (см. рис. 2, *б*). Зависимости отражения, про-

пускания и поглощения от длины волны для образцов с односторонней металлизацией практически идентичны; они различаются лишь по абсолютным значениям. Для образца с удельным поверхностным сопротивлением титана 30—32 Ом/□ характерно значительное отражение (82—94 %), поглощение, напротив — невелико и составляет не более 14,5 %.

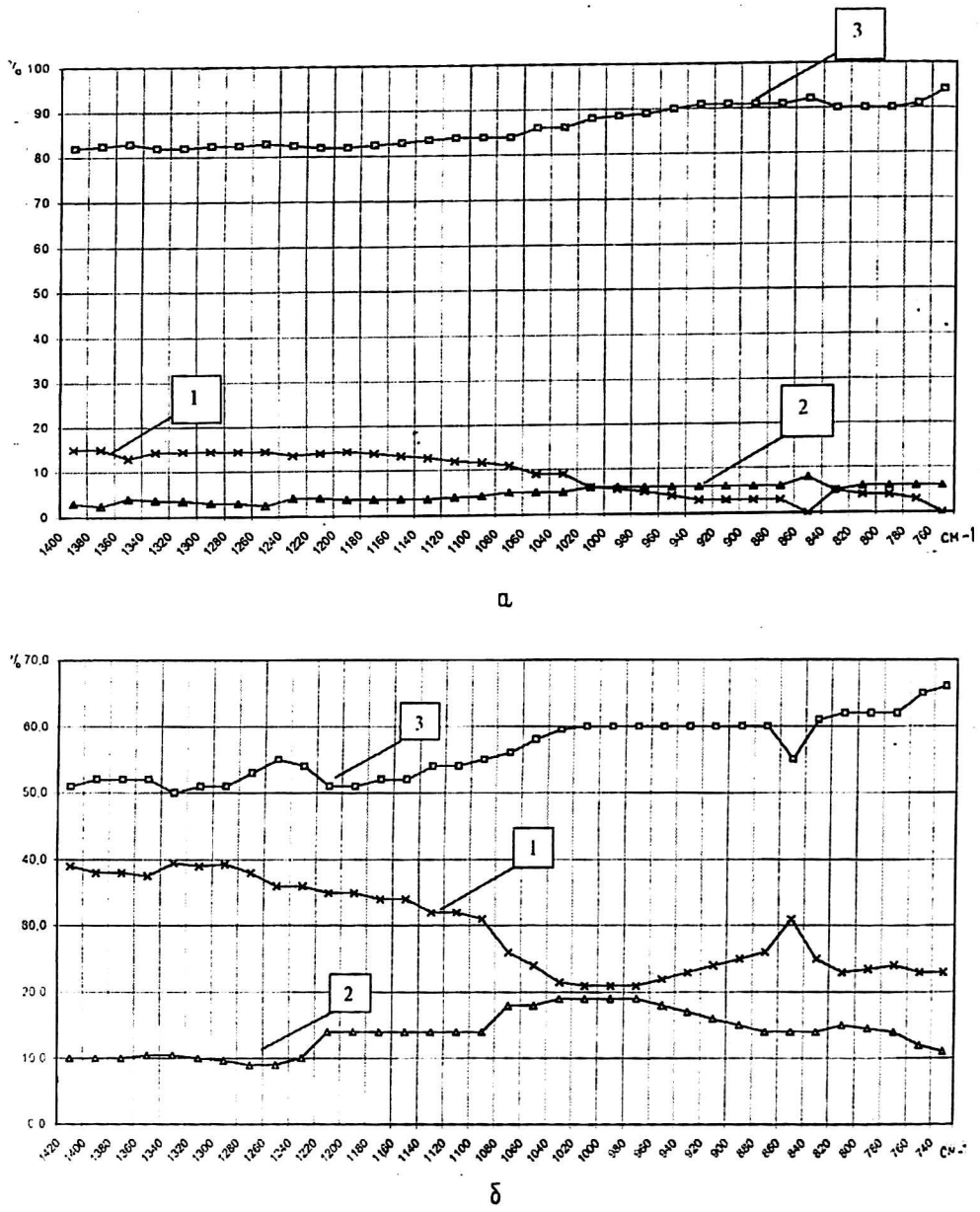


Рис. 2. Спектры поглощения (1), пропускания (2), отражения (3) (%) металлизированной полиимидной пленки:

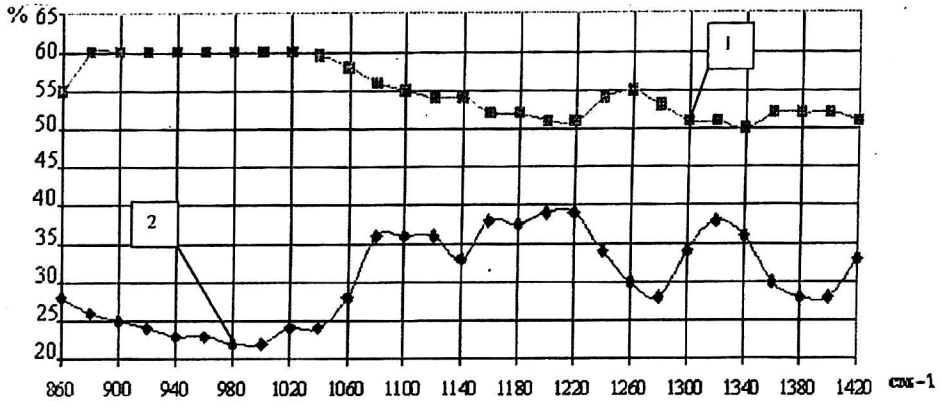
а — с удельным поверхностным сопротивлением титана 30—32 Ом/□;

б — с удельным поверхностным сопротивлением титана 173—175 Ом/□

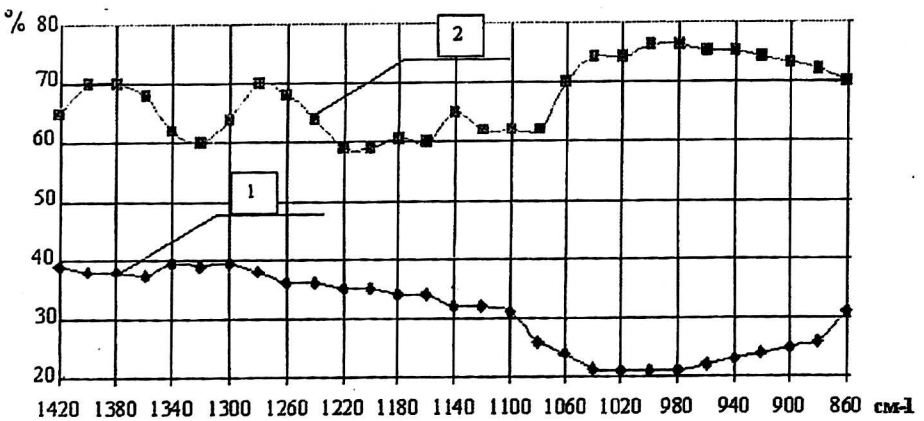
Для образца с удельным поверхностным сопротивлением титана 173—175 Ом/□ отражение значительно ниже и составляет 51—62 %, поглощение соответственно возрастает по сравнению с более толстой пленкой титана до значений 21—36 %.

Поглощение полиимидной пленки с двусторонней металлизацией исследовали по предложенной выше методике. На образцах полиимидных пленок с металлизацией 173—175 Ом/□ с обратной стороны формировали пленку титана с удельным поверхностным сопротивлением 30—32 Ом/□.

Варианты спектров поглощения и отражения образцов с двусторонней и односторонней металлизацией титаном с удельным поверхностным сопротивлением 173—175 Ом/□ представлены на рис. 3 *а*, *б*. Измерения проводили со стороны титанового покрытия с удельным поверхностным сопротивлением 173—175 Ом/□.



а



б

Рис. 3. Спектры отражения (%) полиимидной пленки с односторонней (1) и двусторонней (2) металлизацией титаном (а, б)

Сравнительный анализ представленных спектров показывает, что при наличии толстого титанового покрытия поглощение пленки с двусторонней металлизацией увеличивается в два раза по сравнению с односторонней.

Выводы

Методом ИК-спектроскопии исследованы свойства 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 $см^{-1}$. При наличии толстого титанового покрытия поглощение пленки с двусторонней металлизацией увеличивается в два раза по сравнению с односторонне металлизированной пленкой. По-видимому, наблюдаемое высокое поглощение структуры связано с явлением интерференции излучения, аналогичным явлению в интерферометре Фабри-Перо.

Литература

1. *Леонов В. Н., Маляров В. Г., Хребтов И. А., Шаганов И. И., Феоктистов Н. А.* Оптические характеристики микроболометрических элементов для неохлаждаемых инфракрасных матриц// Оптический журнал. 1998. Т. 65. С. 18—22.

2. *Ieromínek H., Renaud M., Swart N. R., Picard F. et al.* Micromachined VO_2-based uncooled IR bolometric detector arrays integrated CMOS readoot electronics//SPIE. 1996. V. 2882. P. 111—120.

3. *Груздева А. П., Зеров В. Ю., Коновалова О. И. и др.* Болометрические и шумовые свойства элементов на основе пленок диоксида ванадия для неохлаждаемых инфракрасных матриц// Оптический журнал. 1997. Т. 64. № 12. С. 38—42.

4. *Бессонов М. И., Котон М. М., Кудрявцев В. В., Лайус Л. А.* Полиимиды — класс термостойких полимеров. — Л.: Наука, 1983. — 307 с.

5. *Гончарова Т. С.* Полиимидные пленки в качестве межслойных изолирующих и пассивирующих слоев ИС//Зарубежная электронная техника. 1989. № 8. С. 53—82.

6. *Tsimpris C. W., Mayhan K. G.* Synthesis and Characterization of Poly (p-phenylene pyromellitamic acid)//J. Polym. Soi. 1973. V. 11. P. 1151—1171.

7. *Richards P. L.* Bolometers for infrared and millimeter waves//J. Appl. Phys. 1994. № 76(1), 1 July. P. 1—24.

Optical features of metallized polyamide films in IR range

A. A. Zhukov, A. E. Zdobnikov, S. N. Klemin, V. P. Lavrishchev, V. V. Tarasov, J. S. Tchetverov

Authors represent Moscow Central Research Institute "Cyclone", Russia

The method of IR spectroscopy was used to examine optical features of thin (2,0–2,2 μm) poly-N-fenilparaocsifenilpiromellitymide films with one- and two-sided titanium metallization as absorption, reflection and transmission. Polyimide films having thick titanium coat on the one-side and thin coat on the other one show twofold higher absorption in comparison with the absorption capacity of the films with one sided metallization. Higher level of absorption of IR light by the two-sided metallized films in the 860—1420 $см^{-1}$ range with maximum up to 76 % in the of 900—1060 $см^{-1}$ range can be explained by the waves interference at the structure.