

УДК 541.64:542.954

ХИМИЧЕСКАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК: ПОЛУЧЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССА¹

© 2007 г. Е. Л. Вечеркина*, [С. К. Кудайкулова], Р. М. Исаков*, Б. А. Жубанов*,
В. Войтекунас**, J. M. Abadie**

*Институт химических наук им. А.Б. Бектурова

050010 Алматы, Республика Казахстан, ул. Ч. Валиханова, 106

**University Montpellier 2 LEMP/MAO, Place Eugène Bataillon 34095 Montpellier Cedex 05, France

Поступила в редакцию 27.03.2006 г.

Принята в печать 05.10.2006 г.

Рассмотрен процесс образования металлизированных полииimidных пленок *in situ*, а именно щелочной гидролиз поверхности пленок, хелатирование модифицированной поверхности ионами металлов и их химическое восстановление с образованием металлического слоя. Исходные полииimidные пленки получены методом полива на стеклянную подложку реакционных растворов, приготовленных поликонденсацией диангидрида трицикло-(4,2,2,0^{2,5})дец-7-ен-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты и 4,4¹-диаминодифенилоксида в среде N-метил-2-пирролидона при 160°C. Установлено, что оптимальный гидролиз поверхности пленок достигается в водно-спиртовых щелочных растворах. Максимальный обмен ионов щелочных металлов происходит за счет образования более устойчивого металл-лигандного комплекса полиамидокислоты, при этом скорость хелатирования зависит от природы металла. Химическое восстановление металла протекает быстро, однако его механизм зависит от pH среды. При отжиге металлизированных пленок наблюдается имидизация полиамидокислоты, а также рост металлических зерен на поверхности материала с образованием металлической поверхности с хорошими оптическими свойствами и электропроводностью.

ВВЕДЕНИЕ

Металлизированные полимерные материалы представляют все возрастающий интерес. Одними из перспективных материалов для металлизации являются ПИ, обладающие высокой термостойкостью и небольшим коэффициентом термического расширения [1, 2].

Существует ряд методов металлизации пленок ПИ [3], которые предполагают, например, гомогенное добавление солей или комплексов серебра в раствор преполимера с последующей отливкой пленки; возможна также сверхтекучая импрегнация соединений металла в полииimidную пленку. Пленки, получаемые таким способом, отжигают при высоких температурах (в течение 5–7 ч не ниже 300°C). Во время процесса происходит диффузия металла к поверхности пленки. Однако это приводит к тому, что металлический слой не об-

ладает гомогенной структурой. Исследования в области оптимизации условий получения пленок с гомогенными свойствами результатов не дало. К тому же указанные методы не пригодны для промышленных полииimidных пленок.

Известны и методы, основанные на формировании металлического слоя серебра на поверхности пленки ПИ [4]. Однако это является сложной задачей, поскольку серебро обладает крайне плохой адгезией к полииimidной поверхности. Для увеличения адгезии необходимо изменить поверхность химическими или физическими методами (плазмохимическое травление, ионная и электронная бомбардировка, фотолитическая обработка). Они достаточно травмируют поверхность пленок, в то время как адгезия повышается незначительно.

Перспективно применение металлизированных пленок ПИ в качестве высокоотражающих материалов для космических технологий, регистрирующих систем в гамма-лучевых телескопах, широкомасштабных по развертке радиоантенн

¹ Авторы признательны международному научно-техническому центру за финансовую поддержку (грант K-1117).

E-mail: labsp@ics.scinet.kz (Вечеркина Елена Леонидовна).

для космических целей, а также для получения материалов адаптивных и эластичных оптических устройств [4, 5]. Так как ПИ обладают хорошими диэлектрическими свойствами, это дает возможность применять их металлизированные образцы в микроэлектронике [6].

В настоящей работе представлен принципиально новый метод металлизации пленок ПИ путем химической импрегнации.

Задачей исследования является разработка оптимальной методики получения посеребренных пленок ПИ с хорошими свойствами наиболее удобным и простым способом. В качестве металла брали серебро, обладающее лучшими оптическими и проводящими свойствами; полимерная основа – полииimidные пленки на основе диангидрида трицикло-(4,2,2,0^{2,5})-дец-7-ен-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты (аддукта бензола и малеинового ангидрида (далее АБ) и 4,4'-диаминодифенил оксида (ДАФО)).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы

Ацетат серебра, реагент (“Acros Organics”), ацетонитрил, безводный, чистый для анализа (“Carlo Erba”), гидроксид калия (“Prolabo”) использовали без дополнительной обработки; диангидрид трицикло-(4,2,2,0^{2,5})-дец-7-ен-3,4,9,10-тетракарбоновой кислоты получали из бензола и малеинового ангидрида по методике [7] и очищали перекристаллизацией из пропионового ангидрида; изопропанол (ИПС), безводный, 99.8%, чистый для анализа (“Acros Organics”), использовали без дополнительной перегонки; ДАФО, безводный, 99.9% (“Acros Organics”), очищали вакуумной перегонкой; пиридин, чистый для анализа (“Carlo Erba”), использовали без дополнительной очистки.

Получение полииimidных пленок

Синтез полииимида на основе АБ проводили в трехгорлой колбе, снабженной мешалкой и трубкой для ввода инертного газа [8]. В N-метил-2-пирролидоне растворяли 13.7 г (0.05 моля) диангидрида, 10.0 г диамина и 0.4 г (5 моля) пиридина в качестве катализатора. Реакционную массу перемешивали 15 мин при 100°C, затем за 20 мин нагревали до 165°C и выдерживали в течение 4 ч.

Реакционный раствор разбавляли N-метил-2-пирролидоном до концентрации 7%, отливали на стеклянную подложку и выдерживали при 200°C в течение 3 ч.

Приготовление металлизированных полииimidных пленок

Пленку с предварительно обезжиренной поверхностью помещали на 20 мин для набухания в ацетонитрил и подвергали щелочному гидролизу в растворе 0.2 М KOH в смеси ИПС вода (20 : 1). Процесс объемного гидролиза ПИ исследовали на пленках толщиной 4 мкм, отлитых из реакционных растворов ПИ. Гидролиз изучали ИК-Фурье-спектроскопией (Nicolet 5700 FT-IR). Хелатирование осуществляли в 3%-ных растворах соли ацетата серебра, нитратов никеля или кобальта. Кинетику хелатирования исследовали методом термогравиметрии на приборе “Mettler Toledo TGA/STDA851e”. Восстановление металла проводили в водном растворе тетрагидробората натрия с последующим отжигом образца при 180°C в течение 4 ч.

Потенциометрическое титрование выполняли на приборе “Mettler Toledo MP 220” путем определения количества ионов калия их нейтрализацией 1 N раствором соляной кислоты. Структуру восстановленных пленок оценивали по изображениям, полученным на сканирующем электронном микроскопе LEO F360 (бывший Cambridge), совмещенном с рентгеновским анализатором EDS Oxford 151300.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получение металлизированных пленок и исследование их гидролиза

Алициклические полииимины, будучи термостойкими и функционально активными полимерами, синтезируют с использованием мономера АБ.

Поликонденсация АБ с ДАФО, как известно, является обратимой реакцией и протекает двухступенчато: на первой стадии образуется полiamидокислота (ПАК), которая циклизуется на второй стадии в полииимид по реакции дегидратации. Очевидно, что конечный полимер является функционально активным и может быть переведен в форму ПАК путем щелочного гидролиза.

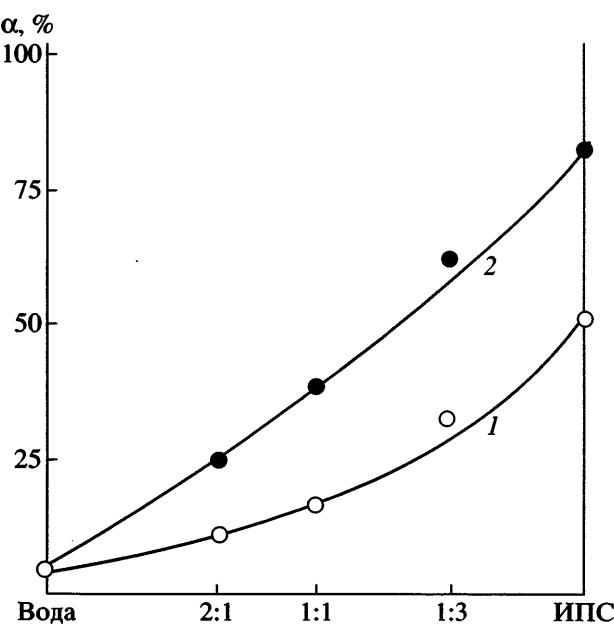
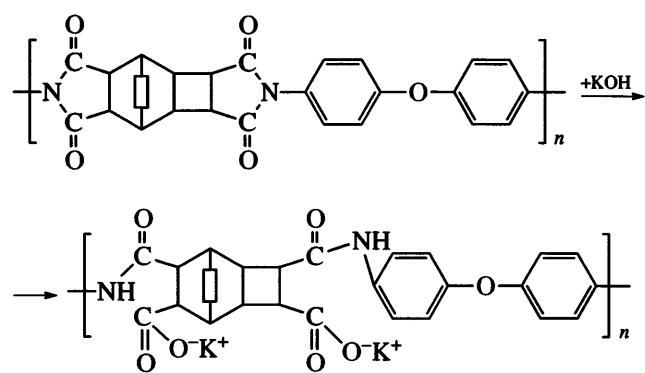


Рис. 1. Зависимость степени гидролиза α полиимидной пленки в растворе KOH от содержания изопропилового спирта в гидролизующей смеси при времени гидролиза 20 (1) и 40 мин (2).

Кроме того, пленки специально не отжигали после отлива, так как это понижает количество групп ПАК, необходимых в дальнейшем для хелатирования металлами.

Вместе с тем для формирования кулоновски-заряженной поверхности пленок требуется направленный щелочным гидролизом поверхностных слоев полиимida, приводящий к раскрытию имидного цикла и возникновению заряженных карбоксилат-анионов:



С целью изучения влияния различных факторов на процесс объемного гидролиза пленки подвергали обработке 0.1 и 0.2 N водными растворами KOH. Были проанализированы ИК-Фурье спектры пленок (данные не приводятся), которые

показали, что степень раскрытия имидного цикла и образования калиевой соли ПАК пропорциональны концентрации щелочи. Так, за 20 мин в 0.1 N растворе KOH степень гидролиза составляет 7.5%, а в 0.2 N растворе — 10.5%.

Известно, что натриевые и калиевые соли ПАК растворимы в воде. В связи с этим при более длительной экспозиции пленок в растворах щелочей (более 1 ч) происходит уменьшение массы полимера, что обусловлено растворением или "смытым" поверхностного гелеобразного слоя соли ПАК. Для сохранения активного слоя соли ПАК на поверхности пленки в работе предложено использование органического растворителя, в частности ИПС, в котором эта соль нерастворима. Следует, однако, отметить, что гидролиз ПИ в чистом спиртовом и водно-спиртовых растворах щелочи протекает неадекватно. На рис. 1 представлена зависимость степени гидролиза, полученная данными ИК-Фурье-спектроскопии, от состава гидролизующей смеси и времени экспозиции. Видно, что гидролиз достигает более высоких степеней с увеличением содержания ИПС в гидролизующей смеси. На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что максимальная концентрация солеобразной структуры ПАК достигается в растворах щелочи в смеси с большим содержанием ИПС.

Зависимость интенсивности полос имидных циклов и солевых групп ПАК от времени и состава гидролизующего раствора, полученная на основе анализа ИК-спектров образцов, представлена на рис. 2. По изменению отношений интенсивности полос 1780 см⁻¹ (C=O-имида) и 1420 см⁻¹ (карбоксилат-анион) к интенсивности полосы 1240 см⁻¹ (-C—O—C—аминного компонента), которая остается без изменений, судили о степени гидролиза пленок. Как следует из рисунка, наряду с ростом интенсивности полосы поглощения карбоксилат-аниона (1780 см⁻¹) наблюдается адекватное понижение интенсивности полосы имидной составляющей, что свидетельствует о раскрытии имидного цикла. Это также подтверждает увеличение степени гидролиза пленок в гидролизующих растворах с более высоким содержанием спирта.

Приведенные выше данные об образовании активного слоя соли ПАК в результате гидролиза получены на тонких пленках толщиной 25 мкм.

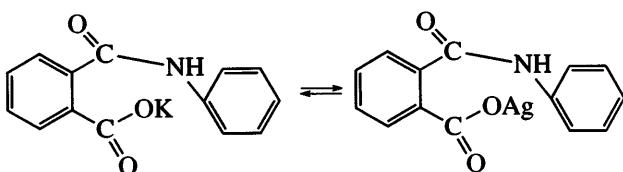
Для модификации поверхностного слоя реальных пленок ПИ толщиной 50–150 мкм необходимо проведение количественных методов по определению содержания калия в пленках, гидролизованных в концентрированных растворах щелочей (до 10 мас. %), а также выявление корреляции с проведенными ИК-спектроскопическими исследованиями [9].

Процесс образования соли ПАК был также изучен методом потенциометрического титрования по определению расхода KOH в течение гидролиза (табл. 1). Степень гидролиза рассчитывали по расходу ионов калия. За 20–25 мин достигается максимальная степень гидролиза, при которой сохраняется верхний гидролизованный слой пленки, далее этот слой становится рыхлым и смывается. Расчет по данным потенциометрического титрования показал, что оптимальная степень для гидролиза составляет 40 мас. %. Из табл. 1 видно, что в первые 20 мин гидролиз протекает интенсивно, далее наблюдается его замедление. Кажущееся замедление обусловлено достижением равновесия между двумя процессами: образованием соли ПАК и ее последующим растворением.

Хелатирование полииimidных пленок

С целью изучения хелатирования полииimidных пленок ионами металлов были проведены исследования на модельных соединениях. В качестве низкомолекулярного аналога моделируемого полимерного лиганда брали N-фенилфталаниловую кислоту (ФАК) – продукт реакции ДАФО с 2 молями фталевого ангидрида.

Моделирование процесса хелатирования пленок ПИ металлами осуществлено последовательным переводом ФАК в серебряную соль по схеме



О структуре комплексного соединения ФАК-ионы серебра судили на основании анализа данных ИК-спектроскопии (рис. 3). При сопоставлении спектров ФАК и ее соли с калием обнаружено понижение интенсивности полос поглощения 1720 (--C=O карбоксила) и 1240 cm^{-1} ($-\text{OH}$ карбок-

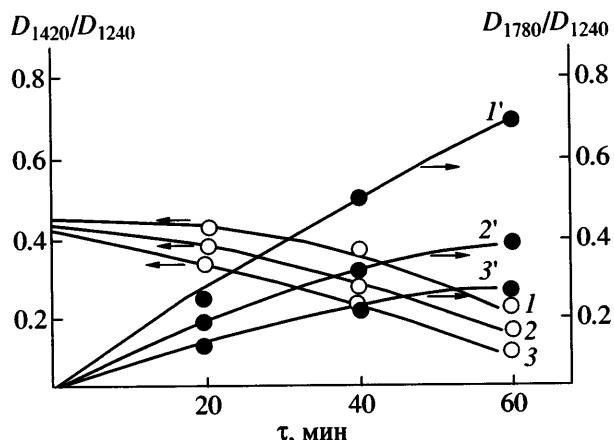


Рис. 2. Изменение отношений оптических плотностей D_{1420}/D_{1240} (1–3) и D_{1780}/D_{1240} (1'–3') в ИК-спектрах пленок ПИ, гидролизованных в 0.1 N растворах KOH от времени экспозиции пленки. 1, 1' – спиртовый раствор щелочи; 2, 2', 3, 3' – смесь изопропанол : вода 1 : 1 (2, 2') и 1 : 2 (3, 3').

сила) и появление полос поглощения 1590 и 1380 cm^{-1} , характеризующих наличие карбоксилата-аниона.

Получение солей ФАК с серебром, медью и железом проводили переводом калиевой соли ФАК в соответствующую соль (ионный обмен). В табл. 2 также приведены расчетные и экспериментально найденные данные элементного анализа синтезированных комплексных солей ФАК с ионами меди и серебра. Но на их основании можно сделать вывод о том, что ФАК образует с серебром комплексное соединение состава $\text{Ag}^+ : \text{FAK}^- = 1 : 1$ и $\text{Cu}^{2+} : \text{FAK}^- = 1 : 2$.

Также из ИК-спектров видно, что соединение ФАК с серебром представляет собой солевую форму, о чем свидетельствует наличие характер-

Таблица 1. Изменение содержания ионов калия в пленке ПИ на основе АБ и ДАФО (толщина 25 мкм) в процессе гидролиза в 0.02 N KOH в смеси ИПС : вода (20 : 1)

| Время, мин | Содержание K | | Степень гидролиза, % |
|------------|--------------|----------|----------------------|
| | мас. % | мг-экв/г | |
| 2.5 | 1.6 | 0.43 | 11 |
| 5 | 1.9 | 0.49 | 12 |
| 10 | 3.2 | 0.83 | 20 |
| 20 | 5.9 | 1.53 | 37 |
| 23 | 6.2 | 1.61 | 40 |
| 30 | 7.0 | 1.80 | 42 |

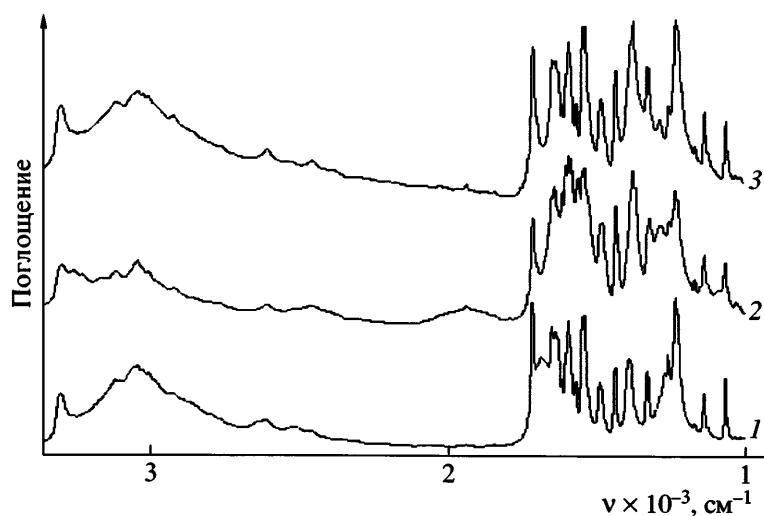


Рис. 3. ИК-Фурье спектры модельных соединений: 1 – ФАК, 2 – калиевая соль ФАК, 3 – серебряная соль ФАК.

ных полос поглощения группы COO^- , присутствующих в ИК-спектре калиевой соли ФАК.

Область полос поглощения связей ν_{NH} и ν_{OH} 3270–3000 cm^{-1} практически остается без изменений, поэтому вероятность координации серебра с атомом азота минимальна. Вместе с тем несколько понижается интенсивность полосы 1648 cm^{-1} по сравнению с этой же полосой в спектре калиевой соли, что может быть обусловлено структурными изменениями связей в солевом фрагменте.

Восстановление хелатированных полиимидных пленок

Полиимидные пленки, хелатированные катионами серебра, восстанавливали растворами боргидрида натрия [10]. Для стабилизации NaBH_4 в среде воды (предотвращения гидролиза) наряду с

водными использовали водно-спиртовые растворы различных концентраций. При погружении пленок в восстанавливающие растворы на поверхности пленок появлялся металлический блеск. О качестве полученных пленок судили визуально, по электропроводности, спектрам отражения, а также по данным рентгеноструктурного анализа.

Восстановление хелатированных пленок $\text{PI}-\text{Ag}^+$ протекает без образования промежуточных и побочных продуктов. Однако в различных условиях образуются серебряные пленки разного вида. При погружении свежеприготовленной пленки в 0.1%-ный водно-спиртовый раствор NaBH_4 происходит быстрое восстановление, пленка становится серебристо-синей.

Хелатированные серебром пленки ПИ были также подвергнуты действию хлорида и бромида

Таблица 2. Данные элементного анализа ФАК и ее комплексных солей с медью и серебром

| Кислота | Элементный анализ, % (найдено/вычислено) | | | | |
|---------------------|--|------------|--------------|--------------|--------------|
| | C | H | N | O | M |
| ФАК | 69.6 69.7 | 4.5 4.6 | 5.8 5.8 | 19.8 19.9 | — — |
| Соль ФАК с медью | 63.3 61.8 | 5.3 | Не определен | Не определен | 10.7 11.7 |
| Соль ФАК с серебром | 48.6 48.3 | 2.9 2.8 | 4.1 4.0 | 13.2 13.8 | 31.0 31.0 |

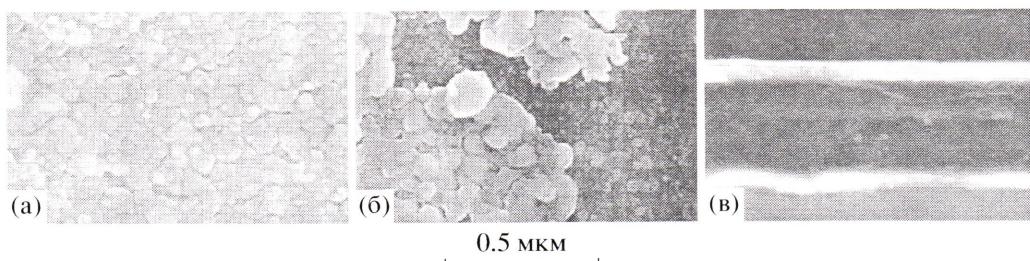


Рис. 4. СЭМ-изображения верхнего металлического слоя посеребренной полииimidной пленки (а), подслоя (б), а также ПИ-пленки в разрезе (в).

натрия. В результате воздействия этих реагентов пленки становились мутно-белыми и мутно-светло-желтыми. Это свидетельствует об образовании галогенидов серебра в пленках ПИ. Действие света вызывало мгновенную реакцию разложения галогенидов с восстановлением серебра. При химическом восстановлении пленки AgCl образуется серебряное покрытие с проводимостью до 1000 Ом/см.

Процесс восстановления гетерогенный, что ограничивает диффузию борогидрида натрия и катионов металла вглубь хелатированной пленки полииимида. Так можно избежать влияния ионов на свойства получаемых пленок. На этой стадии в результате формирования частиц металла образуется металлический слой, причем с обеих сторон пленки. В начале восстановления на поверхности пленки появляются небольшие кристаллы серебра, которые растут за счет восстановления ионов серебра, дифундирующих на поверхность по системе пористых каналов. В результате возникают островки металлического слоя, которые растут и, соединяясь, образуют сплошной металлический слой (рис. 4).

Морфология поверхностного слоя металлизированных образцов являетсяnanoструктурированной, но не однородной по объему поверхностного слоя. Так, внешний слой представляет собой плотноупакованные зерна металла размером около 50 нм (рис. 4а). В поверхностном слое зерна имеют размер 8–10 нм и распределены островками между матричной основой полииимида (рис. 4б). Как видно на рис. 4в, существует строгий градиент распределения металла по объему пленки с максимальным содержанием металла во внешнем слое.

Термическая обработка улучшает физические характеристики материала не только путем пони-

жения количества нециклизованных амидокислотных групп и перевода их в имидный цикл, но и перераспределением металла в матрице. Как следует из данных табл. 3, после отжига количество нециклизованных имидных групп уменьшается и термическая устойчивость пленок ПИ повышается. В то же время количество серебра незначительно снижается, поскольку происходит миграция металлического серебра из внутреннего слоя к внешнему. Концентрация серебра на поверхности пленки с повышением температуры отжига возрастает, и это приводит к поверхностному высеребриванию пленки.

Физические характеристики металлизированных полииimidных пленок

Металлизированные пленки ПИ получали со сплошным (двух- или односторонним) слоем металла, импрегнированным в структуру ПИ-основы. Полученные образцы обладали выраженным металлическим блеском. Оптические характеристики пленки ПИ, покрытой серебром, показывали 80–97%-ное отражение относительного серебряного зеркала в видимой и

Таблица 3. Влияние отжига на свойства пленок ПИ

| Температура отжига, °C | Количество нециклизованных имидных групп, % | Температура разложения, °C | Содержание серебра в пленке, мас. % (по данным ТГА) |
|------------------------|---|----------------------------|---|
| Без отжига | 6.4 | 375 | 9.4 |
| 180 | 1.7 | 385 | 8.7 |
| 220 | 1.1 | 392 | 8.6 |
| 260 | 1.0 | 396 | 8.2 |
| 300 | 0.4 | 405 | 7.3 |

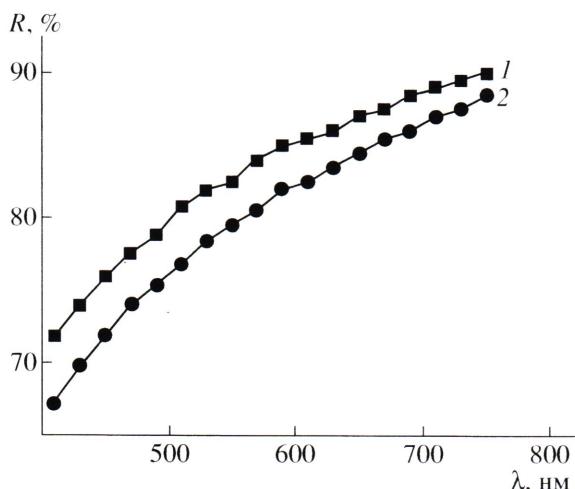


Рис. 5. Зависимость от длины волны степени отражения R посеребренных пленок ПИ после отжига при 180°C : 1 – вакуумное напыление серебра на пленку, 2 – химически посеребренная пленка ПИ.

ИК-областях. На рис. 5 представлены оптические характеристики двух пленок ПИ, покрытых серебром путем вакуумного напыления и методом химической металлизации. Видно, что их кривые отражения имеют практически одинаковый характер. Стоит отметить, что такие зависимости отражения от длины волны аналогичны отражению чистых металлов [11].

Было измерено поверхностное электрическое сопротивление образцов, которое составило $0.1\text{--}10 \Omega$ в диапазоне от -25 до $+200^{\circ}\text{C}$ в зависимости от природы металла. Также двусторонне металлизированные пленки исследованы на объемные диэлектрические характеристики с использованием покрытия в качестве обкладки конденсатора. Получены следующие характеристики: диэлектрическая постоянная 3.9; тангенс угла диэлектрических потерь 0.0019; объемное диэлектрическое сопротивление $1 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{м}$; пробивное напряжение 210 кВ/мм; диэлектрическая емкость 70–100 пФ на 1 см^2 (в зависимости от толщины пленки).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследован процесс металлизации полиимидных пленок и подобраны оптимальные условия проведения щелочного гидролиза, хелатирования в водных растворах солей металла, восстановления в водном растворе боргидрида

натрия с образованием металлического слоя. Показано, что получаемый металлический слой плотно импрегнирован на полимерную основу за счет того, что процесс химической металлизации протекает *in situ* в поверхностном слое ПИ. Представленный метод металлизации не травмирует поверхность пленки, является достаточно простым, а получаемые данным способом пленки обладают высокими поверхностными электрическими и оптическими характеристиками [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудайкулова С.К., Исаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Батырбеков Е.О., Курбатов А.П., Ахметов Т.З., Abadie M., Жубанов Б.А. Полимеры специального назначения. Алматы: Print-S, 2006.
2. Блинов Г.А., Валюнин М.М., Грушевский А.М. // Электронная техника. Сер. Микроэлектронные устройства. 1982. Вып. 3.
3. Burger R.W., Gerenser L.J. // Metallized Plastics / Ed. by Mittal K.L. New York: Plenum Press, 1992. V. 3.
4. Wong C.P. // Polymers for Electronic and Photonic Applications. Boston: Acad. Press, 1994.
5. Ghosh M.K., Mittal L. // Polyimides: Fundamental Aspects and Technological Applications. New York: Marcel Dekker, 1996.
6. Жуков А.А., Здобников А.Е., Клемин С.Н., Лаврищев В.П., Тарасов В.В., Четверов Ю.С. // Тез. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения. Москва, 2000.
7. Жубанов Б.А., Кравцова В.Д., Бекмагамбетова К.Х. // Высокомолек. соед. Б. 2003. № 4. С. 669.
8. Kudaikulova S., Musapirova Z., Sarieva R., Abilova M., Iskakov R., Zhubanov B., Abadie M.J.M. // Eur. Chem. Tech. J. 2004. V. 6. P. 11.
9. Stephans L.E., Myles A., Thomas R.R. // Langmuir. 2000. V. 16. № 10. P. 4706.
10. Мальцева Н.Н., Каин В.С. Борогидрид натрия. Свойства и применение. М.: Наука, 1985.
11. Мастеров Ю.А., Саксонов Ю.В. Серебро, сплавы и биметаллы на его основе. М.: Металлургия, 1976.
12. Prikhodko O., Kudaikulova S., Abadie M.J.M. // Eur. Chem. Tech. J. 2004. V. 6. P. 31.

Chemical Metallization of Polyimide Films: Preparation and Mechanism of the Process

E. L. Vecherkina^a, S. K. Kudaikulova, R. M. Iskakov^a,
B. A. Zhubanov^a, V. Voitekunas^b, and J. M. Abadie^b

^a Bekturov Institute of Chemical Sciences, Academy of Sciences of Kazakhstan,
ul. Valikhanova 106, Almaty, 050010 Kazakhstan

^b University Montpellier 2 LEMP/MAO, Place Eugene Bataillon 34095 Montpellier Cedex 05, France
e-mail: labsp@ics.scinet.kz

Abstract—The formation of metallized polyimide films *in situ*, namely, the alkaline hydrolysis of film surfaces, chelation of the modified surface with metal ions, and their chemical reduction giving rise to a metal layer, has been investigated. Initial polyimide films are cast from reaction solutions on a glass substrate. The solutions are prepared through the polycondensation of dianhydride of tricyclo[4.2.2.0^{2,5}]dec-7-ene-3,4,9,10-tetracarboxylic acid and 4,4'-diaminodiphenyl oxide in N-methyl-2-pyrrolidone at 160°C. It has been shown that alkaline water-alcohol solutions are optimal media for the hydrolysis of the film surface. The maximal exchange of alkali metal ions is achieved through formation of a more stable metal-ligand complex of poly(amido acid), with the chelation rate depending on the nature of a metal. The metal reduction proceeds rapidly; however, the mechanism of this process depends on the pH of a medium. The annealing of metallized films results in the imidization of poly(amido acid) and in the growth of metal grains on the material surface to yield a metal layer with good optical properties and high conductivity.