

УДК 541.6.678

Н. Р. Прокопчук, профессор;
Э. Т. Крутько, доцент;
А. А. Мартинкевич, аспирант

О НЕКОТОРЫХ НОВЕЙШИХ ДОСТИЖЕНИЯХ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИИМИДОВ

The article contains a short review of the most recent literature in the field of polyimide application. A concept of purposeful regulation of properties of polyimide materials worked out by the authors is presented.

Полиимиды, обладая уникальным комплексом эксплуатационных характеристик (отличные деформационно-прочностные свойства, высокая термостойкость и термостабильность, устойчивость к действию ионизирующих излучений), широко используются в различных областях новых технологий: микро- и радиоэлектронике, аэрокосмической технике и многих других.

Полиимиды используют для получения пленок и волокон [1-11], связующих для композиционных материалов (например, P13N, PMR-15) [12,13], адгезивов и пассивирующих покрытий [14,15]. Покрытия из полиимидов имеют хорошую прозрачность, отличную устойчивость к воздействию излучений высоких энергий в широком диапазоне температур, что обуславливает их использование для изготовления солнечных рефлекторов и жидкокристаллических индикаторов [16-18] и других оптоэлектронных устройств [19,20].

Возможность применения полиимидов в качестве материалов, обладающих сверхтрибологическими свойствами, показана авторами [21]. Широкое применение нашли полиимидные материалы и в качестве высокоэффективных осмотических и газоразделительных мембран [24-28].

Благодаря высокой термостабильности, хорошим изолирующим свойствам и низкой диэлектрической проницаемости, высокой адгезионной прочности к различным диэлектрическим субстратам, превосходной химической стабильности, полиимидные материалы незаменимы в микроэлектронике при производстве полупроводниковых приборов, интегральных схем, модулей микрочипов для компьютеров, телекоммуникаций и др. [29-32]

Возможность создания светочувствительных полиимидных композиций обуславливает их особую перспективность для применения в новых областях техники. В научной и патентной литературе по-

следних лет имеются многочисленные сведения о способах создания фоточувствительных полиимидных композиций и об использовании их в современной микроэлектронике [33-40].

Полиимиды обладают высокой радиационной стойкостью при выдержке в электронном потоке высоких энергий. Так, благодаря использованию полиимидов для экранирования α -частиц, которые являются составной частью космического излучения, излучаются керамикой и рядом других неорганических материалов, таких, как наполнители в герметиках, можно резко снизить число сбоев в устройствах памяти высокой плотности. В этой области применения полиимидный фоторезист имеет преимущество также и в том, что им можно избирательно покрывать лишь чувствительные части устройства. Рисунки светочувствительного полиимида можно получать прямо на требуемых сегментах, исключив дополнительные стадии процесса фотолитографии [41-44].

Полиимидные покрытия способны значительно замедлять электромиграцию и эффективно препятствовать коррозии. Тонкие полиимидные покрытия могут также уменьшать повреждение открытых схем, действуя в роли буфера при последующих термических нагрузках. Покрытые полиимидом устройства имеют меньшие токи утечки, более устойчивы к механическим повреждениям и химическим воздействиям по сравнению с изделиями с обычной пассивацией.

Полиимиды можно использовать в качестве герметиков, например, для повышения эксплуатационных характеристик силовых устройств или тонкопленочных гибридных схем, работающих в условиях повышенной влажности, заменяя ими нанесенные из газовой фазы оксид или нитрид кремния.

По мере увеличения плотности интегральных схем все больше усложняется достижение и поддержание достаточной планаризации с неорганическими диэлектриками (ПХФСС ИТФСС, SiO_2). Полиимид отлично заменяет последние, поскольку он обладает высокой чистотой, обеспечивает хорошую планаризацию, имеет относительно низкую диэлектрическую постоянную и коэффициент диэлектрических потерь, высокую термостойкость и коэффициент термического расширения, мало отличающийся от такового для алюминия.

Полиимидные материалы используют в тонкопленочных магнитных и термических печатных головках. В печатных монтажных платах полиимиды применяют в качестве материала подложки (полиимидные многослойные и гибкие печатные платы), в жидкокристал-

лических индикаторах – в качестве ориентирующего слоя для цветных фильтров [45-48].

Таким образом, одним из условий успешного развития новых технологий является создание новых полиимидных материалов с улучшенными свойствами.

Как известно, существует классификация, согласно которой ароматические полиимиды в зависимости от химического строения элементарного звена делятся на 4 группы, при этом за основу такой классификации взяты наличие или отсутствие «шарнирных» атомов или групп атомов между ароматическими ядрами и их положение относительно имидных циклов [43, 49].

Цель наших исследований заключалась в следующем: предложить параметр, количественно характеризующий геометрию макромолекул полиимидов, через энергию межмолекулярных взаимодействий связать его с комплексом свойств полиимидного материала и получить в результате цепь количественных корреляций: химическая природа фрагментов макромолекулы – конформационный параметр K – энергия межмолекулярных взаимодействий $E_{м.в.}$ – свойства материала.

Нами были получены волокна из полиимидов различного химического строения.

В табл. 1 приведены структуры диаминового и диангидридного фрагментов макромолекул и соответствующие им условные обозначения.

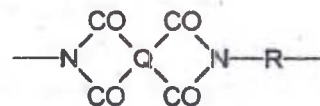
Формование монофиламентных нитей осуществлялось на специальном стенде по мокрому способу. Концентрация полиамидокислоты (ПАК) в ДМФА составляла 15 % мас., характеристическая вязкость – 1,4-1,8 дЛ/г. В качестве осадительной ванны (20 °С) использовался этиленгликоль для ароматических полиимидов и смесь этиленгликоля с водой для циклоалифатических полиимидов. Пластификационная ванна – вода при 50 °С. Фильтрная вытяжка составляла 500%, пластификационная вытяжка выбиралась максимальной экспериментально достижимой (100-300%). Полученные таким образом ПАК-нити подвергали имидизации путем ступенчатого подъема температуры до 360-400 °С в токе азота.

Механические свойства полученных нитей исследовали на приборе УМИВ-3 (Россия) (диаметр мононитей составлял 40-50 мкм, зажимная длина образца - 25 мм, скорость растяжения 5 мм/мин, испытания проводились на воздухе при 25 °С.) Термические свойства исследовали на приборе MOM OD-103 (Венгрия) (навески по 100 мг, шкала весов — 100 мг, конечная температура 1000 °С, скорость подъема температуры составляла 5 °С/мин). Энергию межмолекулярных

взаимодействий рассчитывали по методу, предложенному профессором Прокопчуком [50]. Величины периодов идентичности вдоль полимерной цепи определяли с помощью рентгеноструктурного анализа.

Таблица 1

Структуры и условные обозначения фрагментов макромолекул



	>Q<		-R-
ПМ		Б	
т-ЦГ		пФ	
ц-ЦГ		ДФО	
ДФО		ДФМ	

В полиимидах, особенно ориентированных, какими являются предельно вытянутые волокна, всегда реализуется наиболее вытянутая конформация макромолекул. Нами были построены наиболее вытянутые конформации макромолекул полиимидов с использованием известных значений длин химических связей и валентных углов. Для количественной характеристики их изогнутости и свернутости нами предложен конформационный параметр [51]:

$$K = \frac{L_k - C}{C} * 100\% \quad (1)$$

На рис. 1 приведены проекции на плоскость некоторых из построенных нами конформаций макромолекул полиимидов различного химического строения. В табл. 2 приведены определенные нами значения периодов идентичности (C , Å), контурных длин полимерных цепей в пределах периода идентичности (L , Å) и конформационного параметра (K , %).

Таблица 2

Геометрические параметры фрагментов полиимидных макромолекул

Полиимид	L, Å	C, Å	K, %
ПМ-пФ	12,35	12,35	0
ПМ-Б	16,57	16,57	0
ПМ-БФ	35,86	32,8	9,3
пм-ДФО	35,72	31,45	11,4
ДФО-пФ	35,17	34,53	1,9
Т-ЦГ-пФ	29,38	23,85	23,2
Ц-ЦГ-пФ	29,9	21,48	39,2
ДФО-ДФО	46,26	42,64	8,5
т-ЦГ-ДФО	41,43	24,59	68,5
ц-ЦГ-ДФО	41,55	23,04	79,8
т-ЦГ-Б	37,46	27,78	34,8
т-ЦГ-ДФМ	40,49	25,07	61,5

Из представленных в табл. 2 и на рис. 1 данных видно, что конформационный параметр минимален для бесшарнирных ароматических полиимидов. В этом случае он равен нулю, т.е. такие полиимиды имеют конформацию жесткого стержня. Введение "шарнира" в диангидридный фрагмент вызывает появление изгибов цепи, однако свернутость макромолекул остается очень небольшой, о чем свидетельствуют низкие значения параметра К. Наличие "шарнира" в диаминоном фрагменте повторяющегося звена макромолекулы приводит к конформациям со значительно большей свернутостью. К еще более свернутым конформациям и, соответственно, к еще большим значениям К ведет переход от ароматического диангидридного фрагмента к циклоалифатическому. Здесь следует обратить внимание на рост конформационного параметра при переходе от диангидридного фрагмента на основе транс-циклогександиангидрида к диангидриднему фрагменту на основе цис-циклогександиангидрида. Наибольших значений конформационный параметр достигает в том случае, когда макромолекулярная цепь содержит циклоалифатический диангидридный фрагмент и "шарнир" в диаминоном фрагменте.

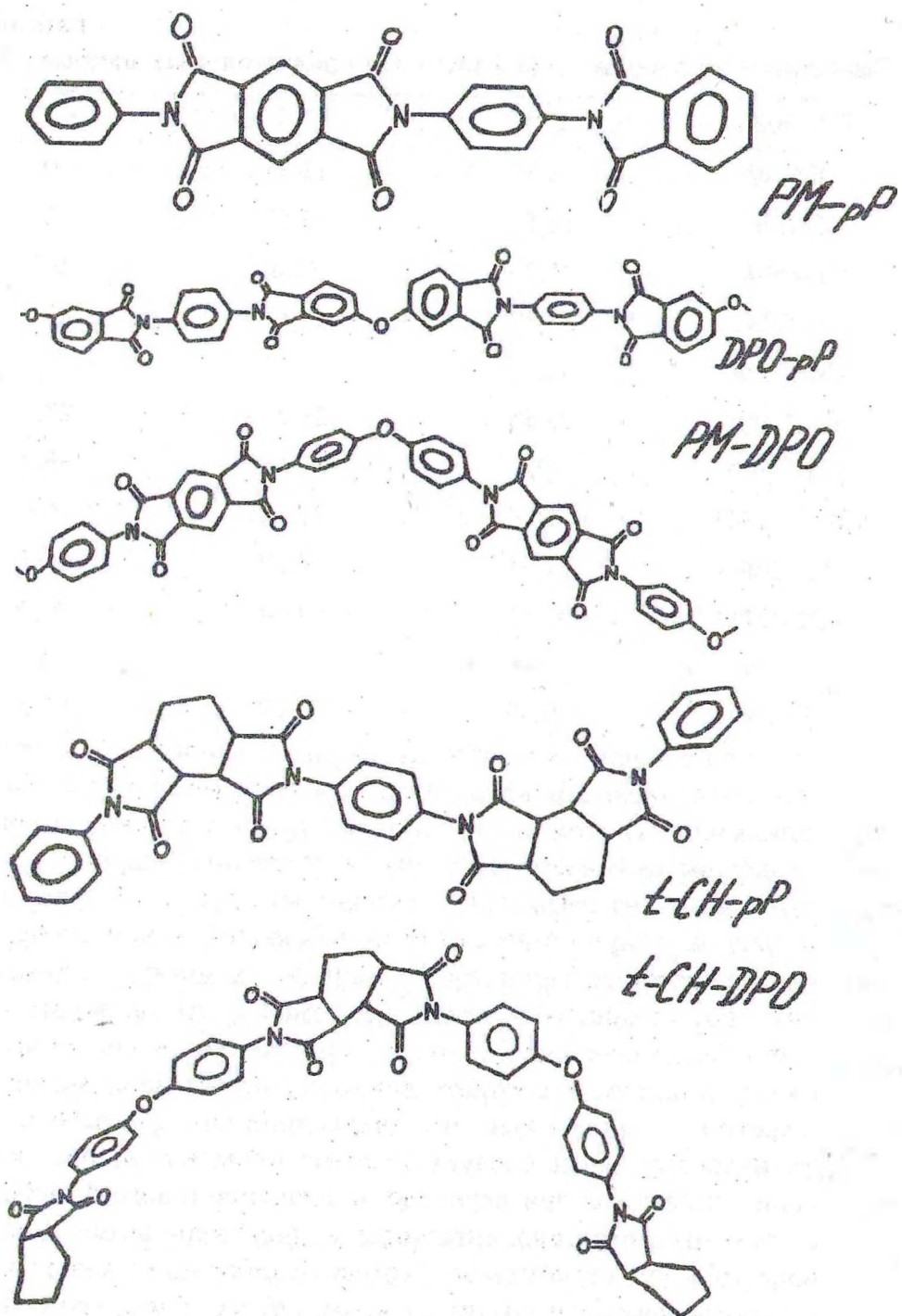


Рис. 1. Проекция конформаций макромолекул полиимидов на плоскость

В реальном материале отдельные макромолекулы не изолированы друг от друга, между ними всегда есть определенные межцепные взаимодействия, энергия которых зависит как от химической природы звеньев макромолекул, так и от плотности упаковки этих макромолекул, от расстояний между взаимодействующими атомами и группировками атомов соседних макромолекул. Расстояние между взаимодействующими атомами и группами атомов соседних макромолекул зависит от конформации макромолекулярных цепей, которую и характеризует предложенный нами конформационный параметр.

И действительно, как видно из рисунков 2 и 3 между конформационным параметром K и энергией межмолекулярных взаимодействий $E_{м.в.}$ в пределах класса полиимидов (полностью ароматических и содержащих циклоалифатические диангидридные фрагменты) существует четкая корреляция.

В свою очередь, комплекс механических свойств материала в значительной степени определяется энергией межмолекулярных взаимодействий [52 – 54]. С ростом $E_{м.в.}$, как видно из рисунков 4 и 5, увеличиваются прочность и модуль упругости и падает эластичность.

Конформационный параметр и энергия межмолекулярных взаимодействий влияют и на такие важные с точки зрения технологии параметры, как растворимость полиимидов в полярных апротонных растворителях и их способность размягчаться без деструкции. К этому способны полиимиды со значениями параметра $K > 50\%$ и, соответственно, $E_{м.в.} < 20$ кДж/моль, например полиимиды т-ЦГ-ДФО, ц-ЦГ-ДФО, т-ЦГ-ДФМ.

Выше было показано, насколько существенно влияет строение исходных мономеров на конформационное строение макромолекулярной цепи. Нам впервые удалось не просто констатировать факт такого влияния, но и охарактеризовать его количественно, предложив для этого конформационный параметр K . Очевидно, что конформационное строение макромолекул определенным образом влияет на надмолекулярную организацию материала, плотность упаковки и взаимное пространственное расположение полярных групп соседних макромолекул и самих макромолекул в целом. Надмолекулярная организация, в свою очередь, – один из факторов, влияющих на уровень энергии межмолекулярных взаимодействий в материале. При этом вторым фактором является химическая природа звеньев макромолекул.

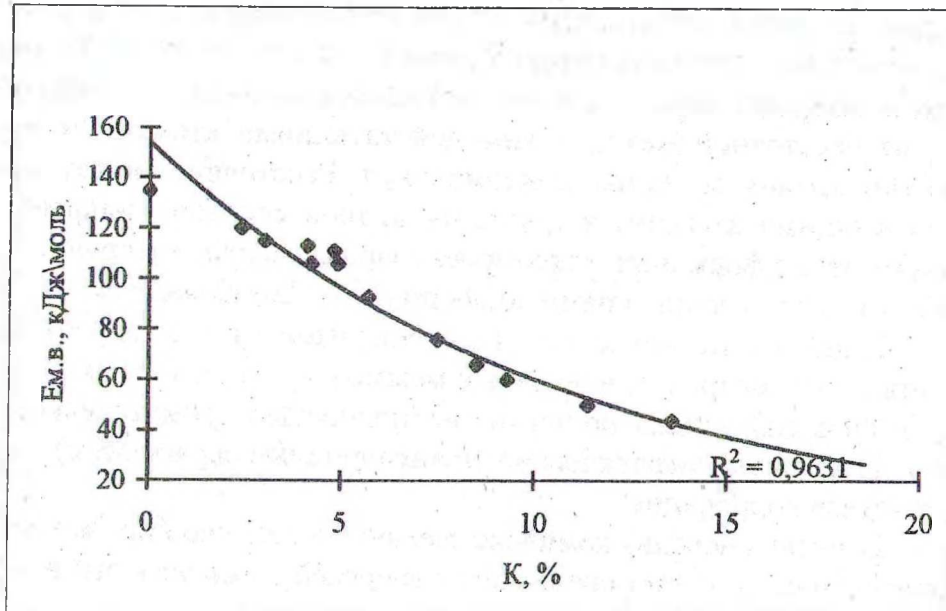


Рис.2. Корреляция $E_{m.v.}=f(K)$ для ароматических полиимидов

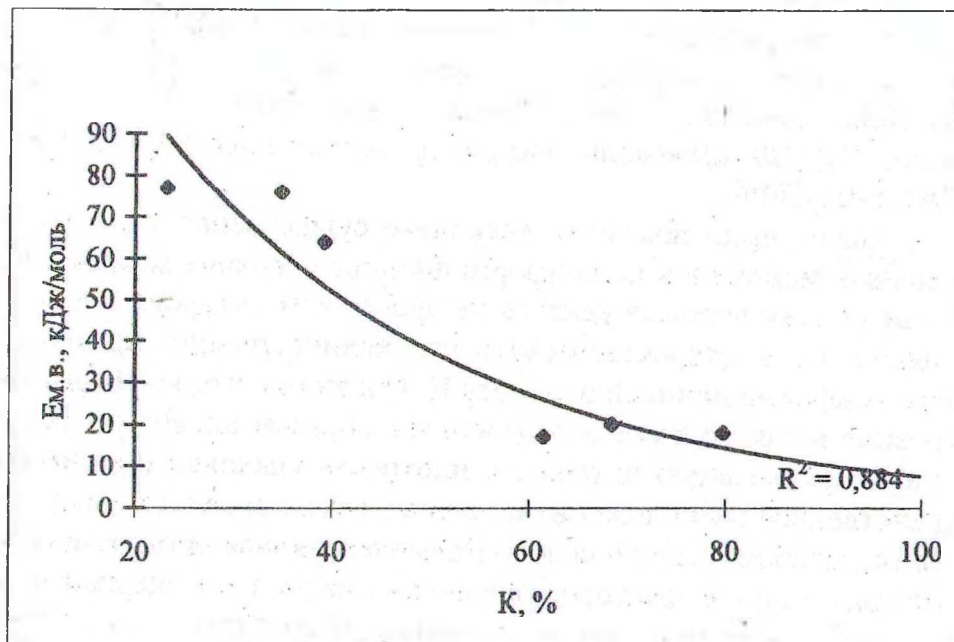


Рис.3. Корреляция $E_{m.v.}=f(K)$ для полиимидов с циклоалифатическим фрагментом

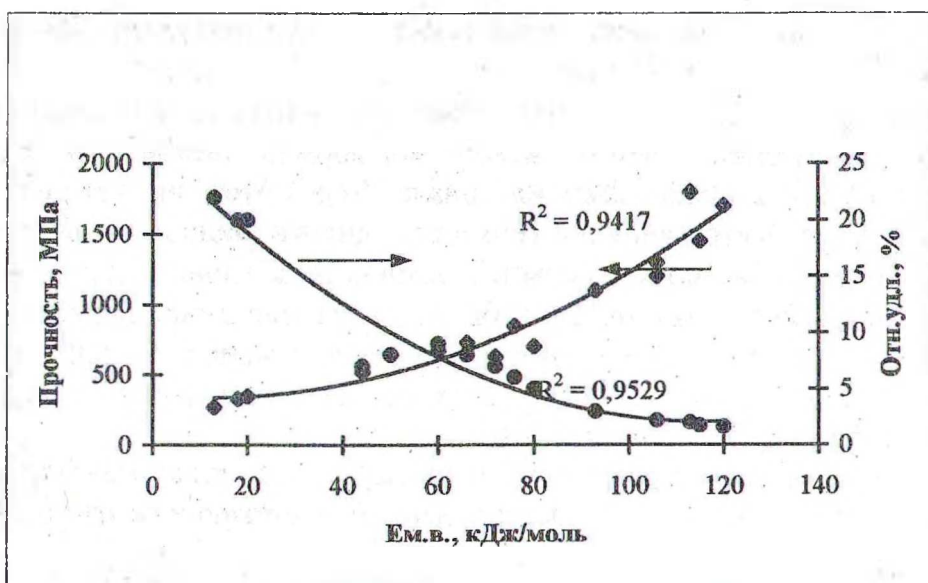


Рис. 4. Зависимость прочности и относительного удлинения при разрыве от энергии межмолекулярных взаимодействий

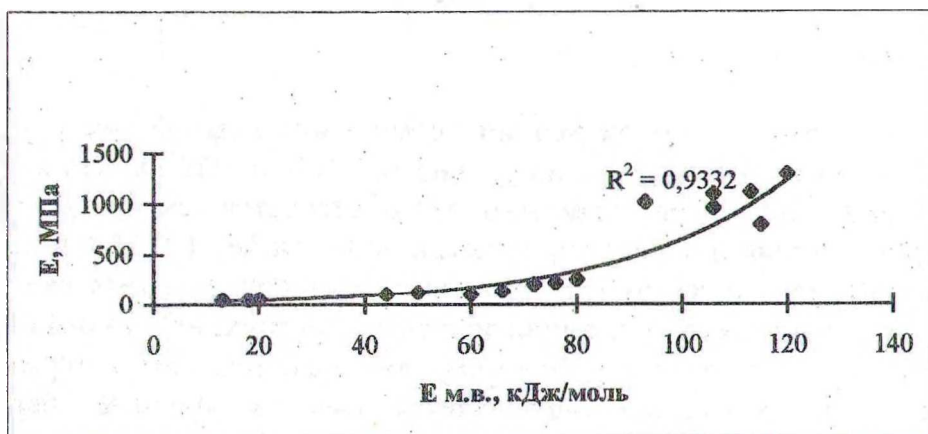


Рис. 5. Зависимость модуля упругости от энергии межмолекулярных взаимодействий

Макромолекулы полиимидов содержат большое число полярных групп и ароматических колец. В соответствии с этим по длине цепи в макромолекулах реализуется частичное полисопряжение, что создает предпосылки для сильнейших межмолекулярных взаимодействий, по энергии сравнимых с энергиями химических связей. Корректность наших выводов подтверждается тем, что между конформационным параметром K и энергией межмолекулярных взаимодействий $E_{м.в.}$ существует четкая корреляция, причем не только для ароматических

полиимидов, но и для полиимидов с циклоалифатическими фрагментами макромолекулярной цепи.

Энергия межмолекулярных взаимодействий ($E_{м.в.}$) в полиимидах является связующим звеном между конформационным строением макромолекулы и свойствами материала. Через этот энергетический параметр проявляется влияние геометрии диангидридного и диаминоного фрагментов макромолекулы полиимида на комплекс деформационно-прочностных свойств, способность к размягчению и растворению в полярных апротонных растворителях и, в меньшей степени, на термическую и термоокислительную устойчивость материала и другие эксплуатационные характеристики.

Количественно прочность, например, с энергией межмолекулярных взаимодействий связана уравнением, вытекающим из уравнения Журкова:

$$\sigma = \gamma^{-1} (E_0 + E_{м.в.} - RT \ln(\tau/\tau_0)) \quad (2)$$

При постоянных условиях испытаний:

$$RT \ln(\tau/\tau_0) = const. \quad (3)$$

Значения энергии активации термоокислительной деструкции E_d для полиимидов находятся на уровне 140-160 кДж/моль, что характерно и для полиамидов (возможно, это объясняется тем, что степень имидизации полиамидокислоты никогда не достигает 100 % и в полиимидном материале всегда есть некоторая часть полиамидных звеньев, с которых и начинается термоокислительная деструкция). Таким образом, уникальность исключительно высоких механических и термических свойств полиимидов определяется высоким уровнем энергии межмолекулярных взаимодействий в них.

Высокие значения формоустойчивости и модуля упругости полиимидных материалов, характеризующие согласованную работу всех макромолекулярных цепей, также определяются $E_{м.в.}$ – сильные межмолекулярные взаимодействия препятствуют проскальзыванию макромолекулярных цепей друг относительно друга и линейный полиимидный материал ведет себя как система, содержащая определенное количество межцепных сшивок.

Таким образом, нами установлена цепь количественных корреляций «химический состав – строение – энергия межмолекулярных взаимодействий – комплекс эксплуатационных характеристик». Она позволяет, не синтезируя новых полиимидов, по значениям длин хи-

мических связей и валентных углов в исходных мономере моделировать, в том числе и с помощью компьютера, конформационное строение соответствующих макромолекул, рассчитывать конформационный параметр K , на его основе определять энергию межмолекулярных взаимодействий, а по ее значению в конечном итоге прогнозировать многие свойства полиимидного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bureau Jean-Marc, Drognet Jean-Paul // *Plast.Eng.* – 36 (Polyimides). – 1996. –P. 743-757.
2. A.A. Martsinkevich, N.R. Prokopchuk, E.T. Krutko. Thermal Stabilization of Polypyromellitimide Films // *Macromolecular Symposia* – 148. – 1999. –P.483-487.
3. Мартинкевич А.А., Прокопчук Н.Р., Крутько Э.Т., Шостак Л.М. Способы повышения огнестойкости полиимидных материалов // *Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности: Сб. докл. Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 20-22 окт. 1999г. / БГТУ. – Мн., 1999:С.123-126.*
4. Прокопчук Н.Р., Мартинкевич А.А., Крутько Э.Т., Шостак, Бобровский А.П., Панфиленко А.К. Термостабилизация полипиромеллитимидных пленок // *Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности: Сб. докл. Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 27-28 окт. 1998г. / БГТУ. – Мн., 1998:С.174-176.*
5. A.A. Martsinkevich, N.R. Prokopchuk, E.T. Krut'ko, Marc J.M. Abadie. Pyromellitimide Modified with Phosphorus-Containing Compounds // *5th European Technical Symposium on Polyimides & High Performance Functional Polymers. Montpellier - France; Proceedings.* –1999.
6. M.A. Atwan, E.T. Krutko, N.R. Prokopchuk, A.A. Martsinkevich, I.M. Zharsky. Thermal and Mechanical Properties of Metal-Containing Polypyromellitimides // *International Conferences on Polymer Characterization "POLYCHAR-8" USA. Program and Book of Abstracts –2000. – P. O-11.*
7. A.A. Martsinkevich, E.T. Krutko, N.R. Prokopchuk, I.M. Zharsky. Methods of increasing fire resistance of polyimide materials // *International Conferences on Polymer Characterization "POLYCHAR-8" 2000. USA. Program and Book of Abstracts. –2000. –P. P-17.*
8. Н.Н. Hawtari, E.T. Krutko, N.R. Prokopchuk, I.M. Zharsky, A.A. Martsinkevich. Regulation of Conformational Structure, Intermolecu-

- lar Interactions and Properties of Polyimides // International Conferences on Polymer Characterization "POLYCHAR-8". USA. Program and Book of Abstracts. – 2000. – P. O-37.
9. Мартинкевич А.А., Прокопчук Н.Р., Крутько Э.Т. Влияние межмолекулярных взаимодействий на свойства модифицированного полидифенилоксидпиромеллитимида // Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений. Тезисы докладов Девятой международной конференции молодых ученых / КГТУ. – Казань, 1998. – С. 77.
 10. N.R. Prokopchuk, E.T. Krut'ko, A.A. Martsinkevich, A.P. Bobrovsky, A.K. Panfilenko. A Polyimide Composition for Orienting Coatings of Liquid-Crystal Displays with STN-Effect // 5th European Technical Symposium on Polyimides & High Performance Functional Polymers. Proceedings. Montpellier – France. –1999.
 11. A.A. Martinkevich, E.T. Krut'ko, N.R. Prokopchuk. Correlation of intermolecular interaction energy and properties of cross-linked polybiphenyloxidpyromellitimide // Polymer Degradation and Stability – 64. –1999. –P. 55-58.
 12. T.T. Serafini, P. Delrigns and G.R. LighSey // J. Appl. Polym. Sci. –16. – 1972. – P. 905.
 13. T.L. St. Clair and R.A. Jewell // Nate. Samle Technol. Conf. Ser. –8. – 1976. – P.82.
 14. Sroog, Cyrus E. Polyimide Sinthesis and industrial applications // Appl. High Temp. Polym [Proc.Conf.]. Meeting Date – 1997. –P. 99-122.
 15. Sroog, Cyrus E. Manufacturing methods for polyimides // Plast. Eng. (Macromolecular Design of Polymeric Materials). –1997. –P. 713-730.
 16. Li, Shengzhu. Transparent polyimides // Huaxue Shijie –36. –(8). – 1995. – P. 397-402.
 17. Li, Faming, Saritski, Edvard P., Chen, Jyh-Chien, Yoon, Yeocheol, Harris, Frank W., Cheng, Stephen Z.D. // ACS Symp.Ser. – 6721. (Photonic and optoelectronic Polymers), – 1997. – P. 2-15.
 18. Li, Baozhong; He, Tianbai; Ding, Mengxian // Gaofenzi Cailiao Kexue Yu Gongcheng, – 14. – (1). 1998. – 1- 4.
 19. Feger, Claudius; Franke, Hilmar // Plant. Eng. –36. (Polyimides). – 1996. – P. 759-814.
 20. Jen, Kauang Yu. Polyimides Containing High-temperature Aromatic Heterocyclic // NLO Functional Groups and Recent Development of Their Application in Electronics. –53. – (4). –1995. – P. 377-384.

21. Patent: 05648451 USA. MKI⁶ C08G 73.
22. S. Strathmann, W. Schumann and P.E. Gruber // *Org. Coat. Plast. Chem. Preprints* –34. – (1). –1975.—P.487.
23. A. Walch, H. Lukas, A. Klimmer and W. Plusch // *J. Polym. Sci. Polym. Lett. Ed.* –12. –1974. –P. 697.
24. Qi, Xiwang, Chen Cuixian, Jiang, Wejun. Polyimide – a new type of membrane material // *Huagong Jinzhan* – (5). –1995. –P. 24-28.
25. Okamoto, Ken-ichi. Sorption and diffusion of water vapor in polyimide films // *Plant. Eng.* –36. (Polyimides). –1996. –P. 265-278.
26. Tsujita Yoshiharu, Yoshimizu Hiroaki. Gas-permeable polyimide membrane // *Shinsozai* –7. – (5). –1996. - P. 13-17.
27. Yoshimizu Hiroako, Tsujida Yoshiharu. Gas permeability of rigid polyimide films // *Kobunshi Kako* –45. – (2). –1996. - P.80-87.
28. Yamada Y., Furukawa W., Kimura R. Properties and applications of silicone containing polyimide // *Kabunshi Kako* –46. – (2). –1997. – P. 50-59.
29. C.F. Murphy, R. Kodpani and Peterson. Evaluation of nonhermetic coatings for MCM applications through HAST // *Jn. MCM Conf.* – 1994. –P. 338-343.
30. Evaluation of Polymeric Coatings for MCM Applications // *IEEE Transactions on components, packaging and manufacturing technology* – part B. –Vol.18. – № 4. –Nov.1995. –P. 658-664.
31. Lautenberg, William J.; Auman, Brian C.; Butera, Joseph R.; Goff David L.; Lazaridis, Chirstina N.; Seiler, Henry K.; Labadie, Jeff W. // *Proc. SPIE – Jnt. Soc. Opt. Eng.* –2575. (Multiship Modules). –1995. –P. 501-506.
32. Abadie, Marc J.M. Photosensitive polyimides synthesis and applications // *Roum. Chem. Q. Rev.* –3. – (3). –1995. –P.229-246.
33. Patent: 056682448 USA. MKI⁶ C08G 73.
34. Asano Masaya, Hiramoto Hiroo. Photosensitive Polyimides. // Editor(s): Horie Kazuyuki, Yamashita Takashi. / Technomic: Lancaster. – 1995. - P. 121-152.
35. JP 2712621 B2 980216. MKI⁶ C08G 73.
36. Feng Wei, Li Zuobang, Zhu Purun, Wang Lixin, Li Fang. Recent progress in photosensitive polyimides // *Gongneng Gaofenzi Xuebao* – 9(1). –1996. –P. 125-136.
37. Features and applications of PIMEL, ester type photosensitive polyimide // *J. Photopol. Sci. Technol.* – 9(2). –1996. –P. 309-314.

38. Isobe Akira, Shinohara Masahide. Application of photosensitive polyimides: mask saving process for buffer coating // *J. Photopol. Sci. Technol.* –9(2). –1996. –P. 315-322.
39. Omote Tashiniko. Photosensitive polyimides: molecular design and synthesis // *Plast. Eng. (N.Y.)* –36. (Polyimides). –1996. –P. 121-149.
40. Culver Robbyn. Photosensitive polyimides in semiconductor manufacturing // *Solid state technol.* –40(11). –1997. –P. 151-152.
41. Marek Miroslav, Bednar Bohumil. Polyimides for microelectronics // *Plasty Kauc.* –33(1). –1996. –P. 9-14.
42. Gaudette Joanne, Palka Agnes, Sciukas Vincent, Neukaus Herbert. // *Proc. Int. Electron. Packag. Conf. Int. Electr. Pack. Society: Wheaton. III.* –1995. P.21-31.
43. М.М. Котон. Роль ароматических полиимидов в современной науке и технике // *ЖПХ.* –68(5). –1995. –С. 822-826.
44. Harris, Frank W., Li Fuming, Lin, Sheng Hsien, Chen Jyn Chien, Cheng, Stephen Z.D. // *Macromol. Symp.* –122. (International Symposium on Polycodensation, Related Processes and Matirials, 1996), -- 1997. –P. 33-38.
45. K. Saito, S. Harada, A. Saiki, T. Kimura, T. Orubo and K Mukai. A Novel Planer Multilayer Interconnection Technology Utilizing Polyimide // *IEEE Trans.* –PHP-9.17 –6. –1973.
46. W. Yoda and H. Hiramoto. New Photosensitive High Temperature Polymers for Electronics Applications // *J. Macromol. Sci.-Chem.* – A21. (13 and 14), --1984. –P.1641.
47. A. Endo and T Yada. Thermal and Physical Properties and Etching Characteristic of PI Films // *J. Electro-Chem. Soc.* –1985. –P.132-155.
48. K.Moriya, T. Osaki and K. Katsura, High-Density Polyimide Dielectric and Electroplating Conductor // *34th Electronic Component Conf.* –1984. –P.82.
49. Бессонов М.И., Котон М.М., Кудрявцев В.В., Лайус Л.А. Полиимиды – класс термостойких полимеров. Л.: Наука, 1983.
50. Прокопчук Н.Р. Метод изучения межмолекулярных взаимодействий в аморфной фазе полимерного материала // *Доклады АН БССР.* –26(21). –1982. –С. 1020-1023.
51. Martsinkevich A.A., Abadie Marc J.M., Prokopchuk N.R., Krut'ko E.T. Regulation of Conformational Structure, Intermolecular Interactions and Properties of Polyimides // *5th European Technical Symposium on Polyimides & High Performance Functional Polymers. Proceedings. Montpellier – France.* –1999.

52. Мартинкевич А.А., Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. Роль межмолекулярных взаимодействий в формировании механических и термических свойств полипиромеллитимидных пленок // Сб. Труды БГТУ. Химия и химическая технология. Мн., 1998.-С.20-28.
53. Martinkevich A.A., Prokopchuk N.R., Krut'ko E.T. The influence of the structure of the dianhydride fragment on intermolecular interactions in linear polyimides and their properties // Polymer Degradation and Stability –66. –1999. –P.1-4.
54. Мартинкевич А.А., Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. Корреляция энергии межмолекулярных взаимодействий и свойств структурированного полидифенилоксидпиромеллитимида // Весці НАН Беларусі. Сер. хімічных навук. 1999. №2.-С.85-88.

УДК 66.095.265

Э. Т. Крутько, доцент;
 Д. А. Дроздова, аспирант;
 Н. Р. Прокопчук, профессор;
 Марк Ж. Абади, профессор,
 Университет Монтпелье-2,
 Франция

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПОЛИИМИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – ОСНОВА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Photosensitive polyimides are used as insulation and protection layers for microelectronics. We describe the photopolymerization of the compositions based on poly-(4,4'-diphenyloxide)-pyromellitic acid (PAA), partially esterified by the acrylic monomers.

В последние годы исследованиям в области синтеза полиимидов и создания композиционных материалов на их основе уделяется пристальное внимание ученых многих стран мира (США, Япония, Франция, Германия, Индия, Китай, Россия, Республика Беларусь и др.). Это объясняется уникальностью свойств (высокая термическая стабильность, отличные механические и электрические характеристики) этого класса высокотермостойких полимеров, обуславливающих возможность создания на их основе материалов, незаменимых в различных областях современной техники, в том числе и микроэлектронике.

Технология создания больших (БИС) и сверхбольших (СБИС) интегральных схем с использованием полиимидов в качестве меж-