

P O L I M E R Y

MIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY CHEMII, TECHNOLOGII I PRZETWÓRSTWU POLIMERÓW

EUGENIA GRABIEC^{1)*}, EWA SCHAB-BALCERZAK^{1)*}, MARIA CZAJA²⁾, SABINA BODYL²⁾,
ŁUKASZ GROBELNY¹⁾, MAŁGORZATA KURCOK³⁾

Nowe aromatyczne poliamidoimidy — synteza oraz właściwości termiczne i fotoluminescencyjne^{**)}

Streszczenie — Otrzymano nowe aromatyczne poliamidoimidy (PAI) na drodze wysokotemperaturowej polikondensacji uprzednio zsyntetyzowanych we własnym zakresie kilku różnych diamidodibezwodników i trzech rozmaitych diamin: 1,5-diaminonaftalenu, 4,4'-(heksafluoroizopropylideno)dianiliny bądź 2,6-diaminoantrachinonu. Budowę chemiczną uzyskanych PAI potwierdzono metodami FT-IR i NMR oraz analizą elementarną. Badane poliamidoimidy charakteryzują się dużą odpornością termiczną zarówno w atmosferze azotu, jak i powietrza oraz wysoką temperaturą zeszklenia mieszczącą się w przedziale 220—265 °C. Ocena właściwości optycznych i fotoluminescencyjnych PAI w roztworze *N*-metylopirolidonu-2 wykazała, że emitują one, w zależności od struktury, światło o długości fali z przedziału 405—572 nm.

Słowa kluczowe: aromatyczne poliamidoimidy, synteza, budowa chemiczna, fotoluminescencja, stabilność termiczna.

NEW AROMATIC POLYAMIDEIMIDES — SYNTHESSES AND THERMAL AND PHOTOLUMINESCENT PROPERTIES

Summary — New aromatic polyamideimides (PAI) were synthesized by high temperature polycondensation from diamidedianhydrides (formerly prepared by us) and diamines: 1,5-diaminonaphthalene, 4,4'-(hexafluoro-isopropylidene)-dianiline or 2,6-diamineanthraquinone. Chemical structures of PAI obtained (Fig. 1) were confirmed by FTIR (Fig. 2) and NMR (Fig. 3) methods and by elemental analysis. Polyamideimides studied showed high thermal stability both in nitrogen or air atmosphere as well as high glass transition temperature in the range 220—265 °C (Table 1). An evaluation of optical and photoluminescent properties of PAI in NMP solutions (Fig. 4 and 5) showed that they emit the light of wavelength in the range 405—572 nm, dependently on the structure.

Key words: aromatic polyamideimides, synthesis, chemical structure, thermal stability, photoluminescence.

Poliimidy (PI) od kilkudziesięciu już lat zajmują szczególne miejsce w świecie nauki a także w wielu dziedzinach nowoczesnych technologii [1—6]. Znaczenie to zawdzięczają swoim unikatowym właściwościom,

¹⁾ Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze.

²⁾ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec.

³⁾ Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, Oddział Zamiejscowy Farb i Tworzyw, ul. Chorzowska 50A, 44-100 Gliwice.

^{*)} e-mail: grabiec@cchp-pan.zabrze.pl, ewabalce@cchp-pan.zabrze.pl

^{**)} Artykuł zawiera treść wystąpienia w ramach Konferencji Naukowej „Materiały polimerowe POMERANIA-PLAST”, Kołobrzeg, 23—25 maja 2007 r.

takim jak duża stabilność termiczna, mała wartość stałej dielektrycznej, znaczna odporność chemiczna oraz zespół korzystnych cech mechanicznych i termomechanicznych.

Badania nad związkami wielkocząsteczkowymi dotyczą m.in. metod otrzymywania nowych produktów o założonych właściwościach np. luminescencyjnych [7–9]. Materiały do zastosowań wykorzystujących zjawisko fluorescencji, oprócz zdolności do emisji światła, powinny cechować się również stabilnością termiczną i odpornością na promieniowanie [10]. Ze względu na wspomniane wymagania PI, pomimo znanych trudności związanych z ich przetwórstwem, stanowią wielce obiecujące tworzywo używane w urządzeniach luminescencyjnych.

Dużym wyzwaniem dla naukowców jest zaprojektowanie takiej budowy makrocząsteczki poliimidu, aby uzyskany materiał charakteryzował się zrównoważonymi cechami, czyli wykazywał określone właściwości fluorescencyjne w połączeniu z dobrą rozpuszczalnością i jednocześnie był łatwy w przetwórstwie z zachowaniem stabilności termicznej. Wiele grup badawczych na całym świecie próbuje rozwiązać ten problem w różny sposób. Jednym z takich sposobów ominięcia braku rozpuszczalności PI jest zastosowanie dwustopniowej metody polikondensacji, czyli najpierw przygotowanie powłoki polimerowej z poliamidokwasu (PAA) i następnie poddanie jej termicznej imidyzacji. Metodę tę wykorzystali S. M. Pyo i in. [11] oraz H. K. Park i in. [12], otrzymując poliimidy z grupami bifurylowymi emitujące światło niebieskie lub niebieskozielone. Jednakże wadę takiego dwustopniowego sposobu postępowania stanowi emisja lotnych produktów ubocznych procesu imidyzacji a także niestabilność PAA podczas przechowywania [13]. Korzystniejszym, z tego względu wariantem jest jedno-stopniowa synteza PI z zastosowaniem monomerów zawierających odpowiednie elementy strukturalne wpływające na poprawę rozpuszczalności produktu końcowego. Jednym z powszechnie wykorzystywanych sposobów jest wprowadzenie do łańcucha polimeru uelastyczniających mostków amidowych, eterowych, grup fluorowych bądź też grup typu „cardo” [13–15]. C. Hamciuk i in. [13] uzyskali rozpuszczalne, emitujące niebieskie światło polieteroimidy z grupami heksafluoroizopropylenowymi na podstawie diamin z ugrupowaniem oksadiazolowym oraz poliamidoeteroimidy z grupami fenylochinosalinyowymi [16].

Badano również właściwości luminescencyjne poliimidów zawierających grupy perylenowe [17–21], fluorenowe [14, 15, 22] oraz naftalenowe [23].

PI z grupami antracenyowymi a także te, w skład których wchodzi jednocześnie grupy akrydynowe, antracenyowe oraz fluorenowe emitujące światło o barwie żółtopomarańczowej, stosuje się jako materiały do urządzeń elektroluminescencyjnych (ELDs) [14, 24]. Badania dotyczące PI o właściwościach luminescencyjnych koncentrują się na zjawisku emisji przez te polimery światła

określonej długości jak również na podniesieniu wydajności ich luminescencji [10, 16].

Celem naszej pracy była — wciąż aktualna — synteza nowych aromatycznych polimerów z grupy poliamidoimidów (PAI) charakteryzujących się dużą stabilnością termiczną i dobrą przetwarzalnością oraz ocena wpływu budowy chemicznej na ich właściwości luminescencyjne.

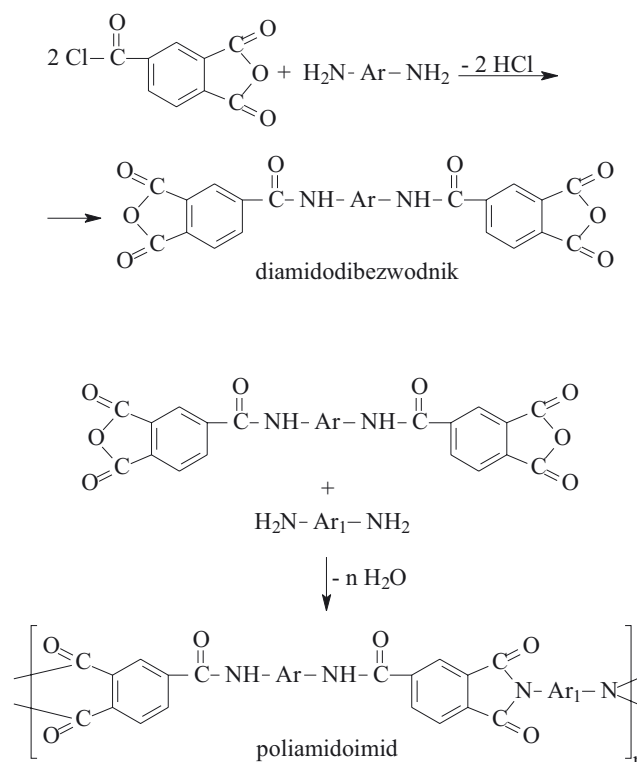
CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Substraty wyjściowe do otrzymywania diamidodibezwodników — 4,4'-(1,3-fenylo-dioksy)-diaminę (Aldrich), 4,4'-metyleno-bis(2,6-dimetyloanilinę) (Aldrich) oraz 4,4'-metyleno-bis(2,6-diizopropylloanilinę) (Aldrich) — stosowano bez dodatkowego oczyszczania; eter 4,4'-diaminofenyłowy (Merck) oczyszczano na drodze krystalizacji z wody wobec węgla aktywnego. Chlorek bezwodnika trimelitowego (TMACl) (Aldrich) użyto bez dodatkowego oczyszczania.

Diaminy wykorzystane w polikondensacji, mianowicie 1,5-diaminonaftalen (Aldrich), 2,6-diaminoantrachinon (Aldrich) i 4,4'-(heksafluoro-izopropylideno)dianilina (Aldrich) również stosowano bez dodatkowego oczyszczania.

Rozpuszczalniki: aceton (POCh) oczyszczano w wyniku destylacji a *N*-metylopirolidon-2 (NMP) i *o*-dichlorobenzen (Aldrich) użyto bez dodatkowego oczyszczania.



Schemat A. Przebieg dwuetapowej syntezy poliamidoimidów
Scheme A. Course of two-stage synthesis of polyamideimides

Synteza diamidodibezwodników i poliamidoimidów

Diamidodibezwodniki otrzymywano w reakcji TMAcI z diaminami — 4,4'-(1,3-fenylo-dioksy)diaminą, 4,4'-metyleno-bis(2,6-dimetyloaniliną) oraz 4,4'-metyleno-bis(2,6-diizopropylloaniliną) — przebiegającej w temperaturze wrzenia acetonu w obecności pirydyny [25].

Syntezę PAI prowadzono metodą wysokotemperaturowej polikondensacji wymienionych uprzednio diamin z szeregiem uzyskanych diamidodibezwodników w mieszaninie NMP z *o*-dichlorobenzenem w stosunku objętościowym 4:1 w temp. 175 °C w ciągu 4 h w atmosferze azotu (por. schemat A). Produkty wytrącano metanolem, oczyszczano techniką ekstrakcji metanolem w aparacie Soxhleta i suszono w suszarce próżniowej w temp. 100 °C.

Metody analizy poliamidoimidów

— Badania spektroskopowe PAI obejmowały: rejestrację widm ¹H NMR (spektrometr „Varian UNITY Inova” 300 MHz, USA, rozpuszczalnik DMSO-d₆, wzorzec TMS), FT-IR (spektrometr „FT-IR4 FTS 40A” firmy BIO-RAD, próbki w postaci pastylek z KBr) i UV-Vis (spektrometr „Jasco V570 UV-V-NIR”, próbki w postaci roztworu w NMP o stężeniu 10⁻⁵ mol/dm³) oraz ocenę

właściwości luminescencyjnych (spektrometr „Fluorolog 3.12 Spex”, USA, próbki w postaci roztworu w NMP).

— W analizie elementarnej stosowano analizator „Vario EL III” firmy Elementar.

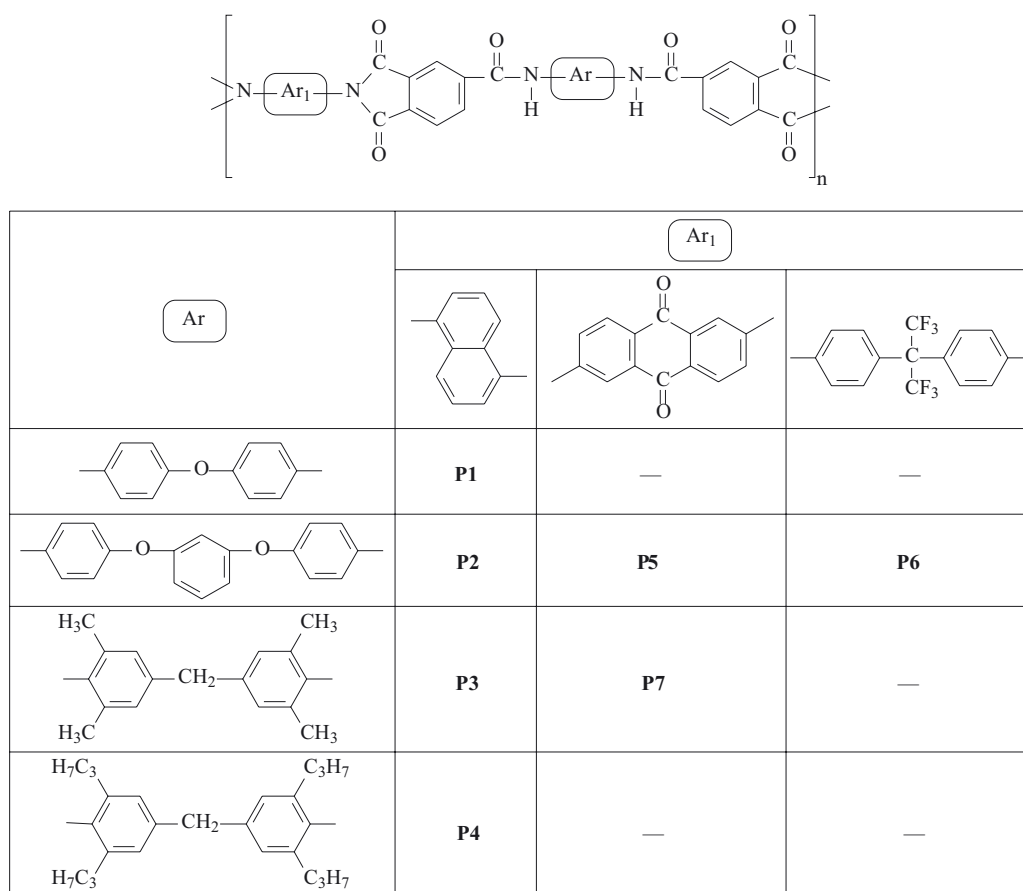
— Temperaturę zeszklenia (*T*_g) oznaczano metodą DSC za pomocą aparatu „DSC 2010” firmy TA Instrument w atmosferze azotu, stosując szybkość ogrzewania 20 °C/min.

— Stabilność termiczną badano metodą analizy termogravimetrycznej (TGA) w atmosferze azotu i powietrza przy użyciu derywatografu „STA 625 Polymer Labs Thermal Analyzer” z szybkością ogrzewania 20 °C/min.

— Lepkość zredukowaną określano przy użyciu wiskozymetru Ubbelohde’a w temp. 25 °C (stężenie roztworu w NMP 0,2 g polimeru w 100 ml rozpuszczalnika).

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Otrzymane przez nas poliamidoimidy stanowią grupę polimerów, która dzięki obecności pierścienia imidowego zachowuje doskonale właściwości termiczne oraz wykazuje dobrą rozpuszczalność, zwiększoną na skutek wprowadzenia grupy amidowej. Dodatkowo, w celu dalszego polepszenia rozpuszczalności, w strukturę cząsteczki polimerów wbudowywano mostki etero-



Rys. 1. Budowa syntetyzowanych poliamidoimidów

Fig. 1. Structures of polyamideimides synthesized

we lub podstawniki metylowe. Budowę badanych PAI wraz z symbolami próbek przedstawia rys. 1.

Budowa chemiczna

Budowę poliamidoimidów potwierdzono metodami FT-IR i ^1H NMR oraz analizy elementarnej. Poniżej podano wyniki odnoszące się do poszczególnych próbek PAI wraz z ich charakterystyką spektroskopową UV-Vis.

P1: FT-IR (cm^{-1}): 1780, 1720, 1665, 1364, 725. ^1H NMR (ppm) 7,09 (d, ArH, 4H), 7,71 (d, ArH, 4H), 7,76 (d, ArH, 2H), 7,84 (d, ArH, 2H), 7,87 (d, ArH, 2H), 8,01–8,63 (m, ArH, 6H), 10,52 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 71,64/67,94; H 3,30/3,83; N 8,35/8,50. UV-Vis (nm): 261, 277. Wydajność 95 %.

P2: FT-IR (cm^{-1}): 1780, 1723, 1666, 1363, 725. ^1H NMR (ppm): 6,65 (d, ArH, 4H), 6,74 (d, ArH, 4H), 7,13 (dd, ArH, 2H), 7,37 (d, ArH, 1H), 7,40 (d, ArH, 1H), 7,69 (dd, ArH, 2H), 7,71 (d, ArH, 2H), 7,85 (d, ArH, 1H), 7,88 (d, ArH, 1H), 8,00 (d, ArH, 1H), 8,03–8,62 (m, ArH, 4H), 10,52 (s, NH, 2H). ^{13}C NMR (ppm): 107,66; 112,22; 119,04; 133,08; 123,41; 124,25; 126,31; 127,67; 128,73; 130,53; 130,66; 131,81; 133,74; 133,92; 134,12; 134,47; 140,17; 151,99; 158,32; 163,11; 166,41; 166,55. Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 72,05/68,77; H 3,43/3,89; N 7,35/7,59. UV-Vis (nm): 291. Wydajność 98 %.

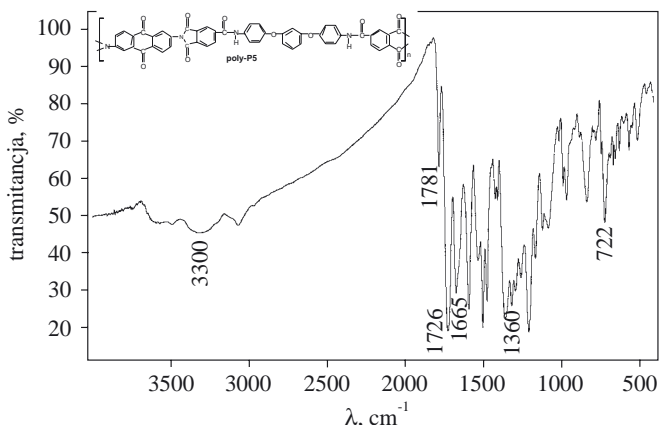
P3: FT-IR (cm^{-1}): 1781, 1722, 1662, 1363, 730. ^1H NMR (ppm): 2,23 (s, CH_3 , 12H), 3,88 (s, CH_2 , 2H), 7,04 (s, ArH, 4H), 7,69–7,75 (m, ArH, 6H), 8,01 (d, ArH, 2H), 8,16 (d, ArH, 2H), 8,54 (dd, ArH, 2H), 9,98 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 74,57/71,73; H 4,45/4,70; N 7,73/7,53. UV-Vis (nm): 262, 288. Wydajność 93 %.

P4: FT-IR (cm^{-1}): 1781, 1725, 1665, 1365, 731. ^1H NMR (ppm): 1,1 (d, CH_3 , 24H), 3,12 (q, CH, 4H), 4,05 (s, CH_2 , 2H), 7,14 (s, ArH, 4H), 7,25 (dd, ArH, 2H), 7,72 (d, ArH, 2H), 8,03 (d, ArH, 2H), 8,12–8,63 (m, ArH, 6H), 9,96 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 76,05/74,48; H 5,78/6,19; N 6,60/6,33. UV-Vis (nm): 262, 288. Wydajność 70 %.

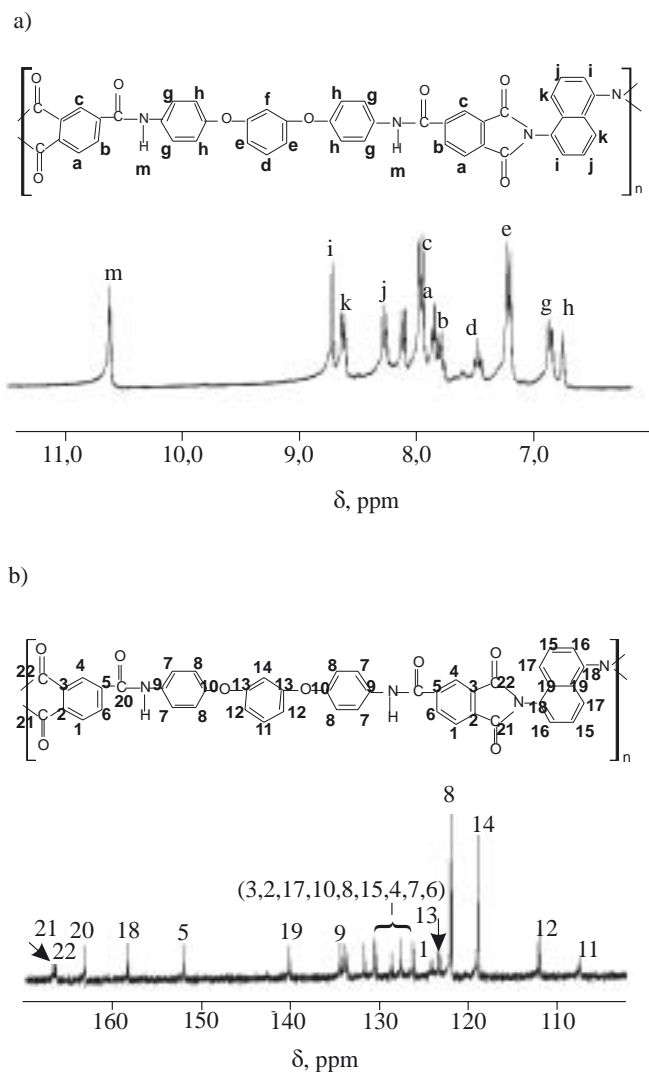
P5: FT-IR (cm^{-1}): 1781, 1726, 1665, 1360, 722. ^1H NMR (ppm): 6,72 (d, ArH, 1H), 7,12 (d, ArH, 2H), 7,37 (d, ArH, 2H), 7,42 (d, ArH, 2H), 7,76 (d, ArH, 1H), 7,85 (d, ArH, 2H), 7,93 (d, ArH, 4H), 8,02 (d, ArH, 2H), 8,15 (d, ArH, 2H), 8,28 (d, ArH, 2H), 8,36 (d, ArH, 4H), 10,68 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 71,23/69,76; H 3,11/3,35; N 6,65/6,56. UV-Vis (nm): 299, 331, 368. Wydajność 90 %.

P6: FT-IR (cm^{-1}): 1781, 1724, 1666, 1373, 723. ^1H NMR (ppm): 6,59 (d, ArH, 1H), 6,71 (d, ArH, 4H), 7,10 (d, ArH, 2H), 7,34 (d, ArH, 2H), 7,38 (d, ArH, 4H), 7,59 (d, ArH, 1H), 7,69 (d, ArH, 2H), 7,83 (d, ArH, 4H), 8,12 (d, ArH, 4H), 8,43 (d, ArH, 2H), 8,46 (d, ArH, 2H), 8,54 (d, ArH, 2H), 10,66 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 65,25/64,04; H 3,01/3,33; N 5,97/6,00. UV-Vis (nm): 268. Wydajność 92 %.

P7: FT-IR (cm^{-1}): 1780, 1725, 1665, 1363, 728. ^1H NMR (ppm): 2,21 (s, CH_3 , 12H), 3,85 (s, CH_2 , 2H), 7,03 (s, ArH,



Rys. 2. Widmo FT-IR poliamidoimidu P5
Fig. 2. FTIR spectrum of P5 polyamidoimide



Rys. 3. Widma (a) ^1H NMR i (b) ^{13}C NMR poliamidoimidu P2
Fig. 3. ^1H NMR (a) and ^{13}C NMR (b) spectra of P2 polyamidoimide

4H), 8,13 (d, ArH, 2H), 8,17 (d, ArH, 2H), 8,20 (dd, ArH, 2H), 8,41 (dd, ArH, 1H), 8,46 (dd, ArH, 1H), 8,49—8,57 (m, ArH, 4H), 9,98 (s, NH, 2H). Analiza elementarna (% obl./% ozn.): C 73,11/70,49; H 4,00/4,29; N 6,96/6,61. UV-Vis (nm): 280, 333, 370. Wydajność 90 %.

We wszystkich zarejestrowanych widmach FT-IR stwierdzono obecność pasm absorpcji charakterystycznych dla pierścienia imidowego odpowiadających drganiom rozciągającym grupy karbonylowej ($\text{C}=\text{O}$) — ok. 1780 (asymetryczne) i ok. 1726 cm^{-1} (symetryczne), drganiom CN — 1360 cm^{-1} , a także drganiom deformacyjnym pierścienia imidowego — ok. 730 cm^{-1} . Pasma pojawiające się przy ok. 1668 oraz przy ok. 3340 cm^{-1} wiążą się z obecnością ugrupowania amidowego — przypisuje się je drganiom rozciągającym grupy karbonylowej i drganiom wiązania CN . Rysunek 2 przedstawia przykładowe widma FT-IR próbki PAI P5.

W widmach ^1H NMR (rys. 3, próbka P2) pojawia się sygnał w przedziale 9,96—10,68 ppm charakterystyczny dla protonu grupy amidowej oraz sygnały w przedziale 6,55—8,62 ppm odpowiadające protonom aromatycznym.

Sygnały pochodzące od atomów węgla grup karbonylowych pierścienia imidowego występują przy 166,41 i 166,55 ppm, natomiast charakterystyczne dla atomów węgla grup karbonylowych w układzie amidowym pojawiają się przy 163,1 ppm (rys. 3b).

Wartości liczbowe odpowiadające procentowej zawartości azotu i wodoru obliczone na podstawie przyjętego wzoru sumarycznego „meru” i wyznaczone doświadczalnie w analizie elementarnej pozostają w zadowalającej zgodności. Różnice w przypadku udziału węgla wynoszą 1,21—3,7 % i są spowodowane trudnościami w spalaniu omawianego typu termoodpornych polimerów [26].

Zarówno widma FT-IR, jak i NMR oraz wyniki analizy elementarnej potwierdzają założoną budowę chemiczną otrzymanych poliamidoimidów.

Właściwości poliamidoimidów

Większość zsyntetyzowanych przez nas PAI rozpuszcza się w DMSO i NMP oraz, po podgrzaniu, w *m*-krezolu i pirydynie. Lepkość zredukowana (η_{red}) polimerów mieści się w przedziale 0,28 dl/g (próbka P4)—0,69 dl/g (próbka P6).

Badania metodą termogravimetryczną (TGA) dowiodły znacznej stabilności termicznej otrzymanych polimerów. Wyniki zestawiono w tabeli 1. Początek rozkładu (T_d) jest obserwowany w przedziale temperatury 352—442 °C w azocie oraz 334—409 °C w powietrzu; wyjątkiem jest polimer P4 charakteryzujący się znacznie niższą wartością T_d . Pozostałość masy po ogrzaniu do 600 °C mieści się w zakresie 38—60 %.

Próbka P4 — ze względu na obecność w cząsteczce zawaad przestrzennych w postaci podstawników izopropylowych — jest wprawdzie dobrze rozpuszczalna, ale

wykazuje mniejszą odporność termiczną niż pozostałe produkty w badanej grupie polimerów.

Tabela 1. Charakterystyka termiczna poliamidoimidów^{*)}
Table 1. Thermal characteristics of polyamideimides^{*)}

Symbol polimeru	T_d , °C		$T_{10\%}$, °C		$T_{20\%}$, °C		Pozostałość w 600 °C %	T_g , °C
	w N ₂	w pow.	w N ₂	w pow.	w N ₂	w pow.		
P1	352	334	481	439	529	502	38	—
P2	389	372	455	459	492	509	42	—
P3	432	409	489	453	530	492	48	238
P4	227	212	383	373	471	432	53	—
P5	442	378	485	448	547	480	60	265
P6	419	408	492	467	537	502	58	249
P7	414	404	495	450	551	501	36	220

^{*)} T_d , $T_{10\%}$ i $T_{20\%}$ oznaczają temperaturę, w której ubytek masy próbki wynosi, odpowiednio, 5 % (początek rozkładu), 10 % i 20 %; T_g — temperatura zeszklenia określona metodą DSC.

Temperaturę zeszklenia (T_g) otrzymanych poliamidoimidów zarejestrowano w przedziale 220—265 °C; obserwowana duża różnica pomiędzy T_g a temperaturą początku rozkładu (T_d) pozwala na termiczne przetwarzanie uzyskanych polimerów [14].

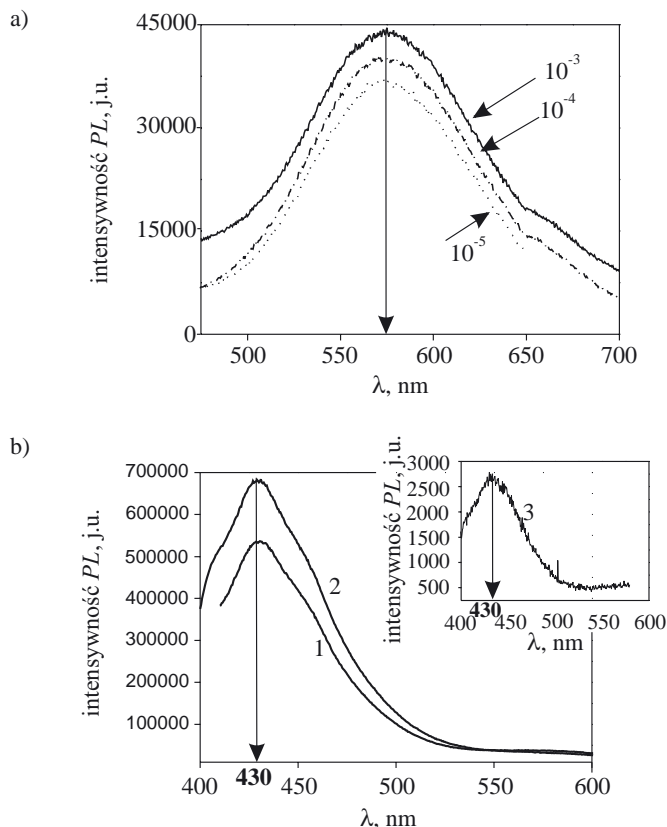
Badania absorpcyjne UV-Vis polimerów w roztworze NMP w większości przypadków wykazały obecność w widmach absorpcyjnych dwóch pasm absorpcji z maksimum przypadającym przy ok. 262 i ok. 290 nm. Dodatkowe pasma absorpcji ($\lambda = 330$ i 370 nm) pojawiają się w widmach polimerów P5 i P7.

Kolejnym etapem naszej pracy była ocena zdolności luminescencyjnych zsyntetyzowanych PAI. Określano wpływ stężenia i długości fali wzbudzającej (ekscytacji) na położenie maksimum pasma emisji. Ustalono, że zmiana stężenia polimeru w roztworze powoduje zmianę intensywności fotoluminescencji z jednoczesnym zachowaniem położenia wspomnianego maksimum; ilustruje to rys. 4a na przykładzie próbki P5. Wstępnie stosowano przy tym długość fali światła wzbudzenia z zakresu 300—450 nm. W przypadku badanych polimerów największą intensywność fotoluminescencji uzyskano, gdy prowadzono wzbudzenie światłem $\lambda = 367$ nm.

Rysunek 4b przedstawia widma fotoluminescencji próbki P7 w roztworze NMP otrzymane po wzbudzeniu światłem o różnej długości fali. Zaobserwowano przy tym, podobnie jak na rys. 4a, zachowanie położenia maksimum intensywności fotoluminescencji.

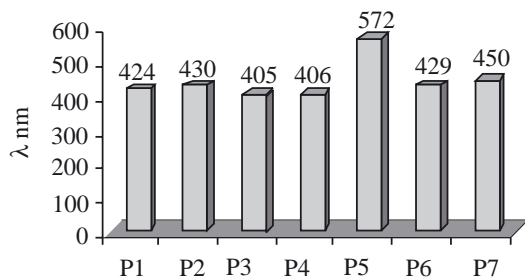
Budowa chemiczna uzyskanych przez nas PAI decydowała o położeniu maksimum pasma emisji występującego w przedziale 405—572 nm, co ilustruje rys. 5.

Próbki P3 i P4 wykazują hipsokromowe przesunięcie pasma emisji i emitują światło fioletowe, podczas gdy próbki P1, P2 oraz P6 emitują światło niebieskie. Wprowadzenie do struktury polimeru ugrupowania antrachinonowego (próbki P5 i P7) spowodowało przesuni-



Rys. 4. (a) Zależność intensywności fotoluminescencji (PL) próbki P5 od stężenia roztworu (10^{-3} , 10^{-4} lub 10^{-5} mol/l, długość fali wzбудzającej 367 nm); (b) zależność intensywności luminescencji (PL) próbki P7 od długości fali wzbudzającej (λ_{exc}): 1 — 382 nm, 2 — 367 nm, 3 — 300 nm (stężenie roztworu 10^{-4} mol/l)

Fig. 4. (a) Dependence of photoluminescence intensity (PL) of P5 sample on solution concentration (10^{-3} , 10^{-4} or 10^{-5} mol/L, excitation light wavelength 367 nm); (b) dependence of photoluminescence intensity (PL) of P7 on excitation light wavelength (λ_{exc}): (1) — 382 nm, (2) — 367 nm, (3) — 300 nm (solution concentration 10^{-4} mol/L)



Rys. 5. Wpływ budowy poliamidimidów na długość fali (λ) światła odpowiadająca maksimum pasma emisji

Fig. 5. Effect of polyamideimide structure on light wavelength (λ) related to maximum emission band

nięcie emisji w kierunku fal dłuższych — w przypadku P7 do niebieskozielonego zakresu barw [12], natomiast w przypadku P5 — do żółtego. Należy nadmienić, że jednocześnie polimery te charakteryzowały się największą intensywnością emisji światła.

PODSUMOWANIE

Otrzymano szereg nowych aromatycznych polimerów z grupy poliamidimidów charakteryzujących się bardzo dużą stabilnością termiczną i wykazujących właściwości fotoluminescencyjne. Uzyskane poliamidimidy, w zależności od chemicznej budowy łańcucha, mogą emitować światło o barwie fioletowej, niebieskiej lub żółtej.

LITERATURA

1. Sazanov Y. N.: *Russian J. Appl. Chem.* 2001, **74**, 1253.
2. Hasegawa M., Horie K.: *Prog. Polym. Sci.* 2001, **26**, 259.
3. Hałasa E.: *Polimery* 2003, **48**, 171.
4. Hałasa E.: *Polimery* 2003, **48**, 254.
5. Borycki J., Wilczek M., Kolendo A. Yu.: *Polimery* 2006, **51**, 257.
6. Borycki J., Wilczek M., Kolendo A. Yu.: *Polimery* 2006, **51**, 333.
7. Geffroy B., Roy P., Prat Ch.: *Polym. Int.* 2006, **55**, 572.
8. Iwan A., Sęk D.: *Polimery* 2005, **50**, 581.
9. Ryszkowska J., Zawadzak E., Hreniak D., Stręk W., Kurzydłowski K. J.: *Polimery* 2007, **52**, 340.
10. Kukhta A., Kolesnik E., Taoubi M., Drozdova D., Prokopchuk N.: *Synth. Met.* 2001, **119**, 129.
11. Pyo S. M., Kim S. I., Shin T. J., Park H. K., Ree M.: *Macromolecules* 1998, **31**, 4777.
12. Park H. K., Ree M.: *Synth. Met.* 2001, **117**, 197.
13. Hamciuc C., Hamciuc E., Bruma M.: *Polymer* 2005, **46**, 5851.
14. Xu S. G., Yang M. J., Bai F. L.: *Synth. Met.* 2003, **137**, 1097.
15. Son S. W., Jung S. H., Cho H. N.: *Synth. Met.* 2003, **137**, 1065.
16. Schulz B., Hamciuc E., Kopnick T., Bruma M.: *Macromol. Symp.* 2003, **199**, 391.
17. Xu S., Yang M., Cao S.: *React. Funct. Polym.* 2006, **66**, 471.
18. Ko H. C., Lim D. K., Kim S. H., Choi W., Lee H.: *Synth. Met.* 2004, **144**, 177.
19. Huang W., Yan D., Lu Q., Huang Y.: *Eur. Polym. J.* 2003, **39**, 1099.
20. Ego C., Marsitzky D., Becker S., Zhang J., Grimsdale A. C., Müller K., MacKenzie J. D., Silva C., Friend R. H.: *J. Am. Chem. Soc.* 2003, **125**, 437.
21. Thelakkat M., Pösch P., Schmidt H. W.: *Macromolecules* 2001, **34**, 7441.
22. Schab-Balcerzak E., Grabiec E., Jarząbek B., Grobelny Ł., Kurcok M., Mazurak Z.: *CEJC* 2006, **4** (nr 4), 604.
23. Pyo S. M., Kim S. I., Shin T. J., Ree M., Park K. H., Kang J. S.: *Polymer* 1998, **40**, 125.
24. Zheng S., Shi J.: *Chem. Mater.* 2001, **13**, 4405.
25. Sęk D., Schab-Balcerzak E., Grabiec E.: *Polymer* 1999, **40**, 2419.
26. Yang C. J., Janekhe S. A.: *Macromolecules* 1995, **28**, 1180.