

고분자형 산 증식제에 기초한 새로운 포토레지스트의 연구

이은주 · 정용석 · 임권택 · 정연태*
부경대학교 공과대학 화상정보공학부
(2003. 7. 19 접수)

A Novel Photoresist based on Polymeric Acid Amplifier

Eun Ju Lee, Yong Seok Jeong, Kwon Taek Lim, and Yeon Tae Jeong*
Division of Image and Information Engineering, Pukyong National University,
100 Yongdang-dong, Nam-gu, Pusan 608-739, Korea
(Received July 19, 2003)

요 약. 산에 민감한 작용기를 갖는 *tert*-butyl methacrylate(tBMA)와 산 증식 기능을 갖는 4-hydroxy-4'-*p*-styrenesulfonyloxyisopropylidene dicyclohexane(HSI)과 4-*p*-styrenesulfonyloxy-4'-tosyloxyisopropylidene dicyclohexane(STI)를 둘 다 함께 갖고 있는 공중합체를 새로운 고분자 산증식형 포토레지스트로 합성하였다. 산증식형 공중합체인 Poly(HSI-*co*-tBMA) film과 Poly(STI-*co*-tBMA) film은 산의 부재 시에는 레지스트 공칭 온도에 대하여 충분한 열적 안정성을 나타내었다. Poly(STI-*co*-tBMA) film의 감도는 tBMA homopolymer에 비교하여 2배 정도 증진되었지만, Poly(HSI-*co*-tBMA) film은 오히려 2배 정도 감도가 저하되는 결과를 나타내었다. 고분자에 도입한 이러한 산증식 기능을 갖는 그룹의 구조에 따라 광감도 증진 효과가 나르게 나타남을 확인하였다.

주제어: 포토레지스트, 고분자형 산 증식제, 열적 안정성, 광감도

ABSTRACT. Acid amplifying copolymers are synthesized by the copolymerization of *tert*-butyl methacrylate(tBMA) with acid-sensitive functional group and 4-hydroxy-4'-*p*-styrenesulfonyloxyisopropylidene dicyclohexane(HSI) or 4-*p*-styrenesulfonyloxy-4'-tosyloxyisopropylidenedicyclohexane(STI) with acid-amplifying group as novel polymeric acid amplifying photoresists. Poly(HSI-*co*-tBMA) film and Poly(STI-*co*-tBMA) film as acid amplifying photoresists show reasonable thermal stability in the absence of an acid species. Poly(STI-*co*-tBMA) film exhibits 2X higher photosensitivity, whereas Poly(HSI-*co*-tBMA) film show 2X lower photosensitivity compared with tBMA homopolymer. The attachment of acid-amplifying units to polymer backbones could provide a novel way to enhance the photosensitivity of acid-sensitive polymers depending on the structure of acid-amplifying units.

Keywords: Photoresist, Polymeric Acid Amplifier, Thermal Stability, Photosensitivity

서 론

화학 증폭(chemically amplification, CA) 개념에 기초하여 매우 높은 감도로 패턴을 생성할 수 있는 레지스트를 제조하는 것은 전자 또는 코팅 산업에서 매우 큰 중요성을 가져왔다. 화학증폭이란, 광화학적으로 생성된 산이나 염기가 촉매 작용을 하여 고분자를 변형시키는 반응을 일어나게 하여 고분자형 필름의 용해도를

변화시키는 것이다.^{1,2} 이런 화학 증폭형 포토레지스트에 산 증식제를 첨가한 산 증식형 포토레지스트는 광감도를 향상시키는 결과를 나타내었다. 지금까지 이러한 산 증식제로 이소프로필리덴 디시클로헥산올의 mono-, di-*p*-톨루엔술포산과 *p*-스티렌술포산 에스테르 유도체에 대하여 발표하였다.^{3,5} 화학 증폭형 포토레지스트에 이러한 저분자형 산 증식제를 첨가하면 광감도의 증진에는 효과가 있지만, 레지스트 층으로부터 산 증식제

자체의 증발과 산 증식제의 분해에 의하여 생성된 산의 확산 현상에 의하여 해상률이 저하되는 문제점이 발생하게 된다.⁶ 이런 점에서 우수한 해상력을 갖는 패턴을 얻기 위해서는 포토레지스트의 고분자 매트릭스 속에서 산 증식제의 이동성을 억제시키는 것이 효과적인 방법임을 착안하게 되었다. 이러한 목표를 달성하는 한 가지 편리한 방법은 산 증식제 기능을 갖는 구조를 고분자 주쇄에 공유결합으로 매어 주는 것이다. 따라서 산 증식기(acid-amplifying group)와 산에 민감한 작용기(acid-sensitive group)를 둘 다 함께 갖고 있는 공중합체를 제조하였고, 이런 고분자 사슬에 공유결합을 통하여 결합되어 있는 산 증식제 구조가 광감도 증진에 나타내는 효과를 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 이러한 예측에 근거하여 산에 민감한 작용기를 갖는 tBMA와 산 증식 기능을 갖는 HSI와 STI를 공중합 하여 새로운 고분자 산증식형 포토레지스트를 제조하였으며, 이러한 포토레지스트가 광산 발생제 존재 하에서 나타내는 광감도 증진 효과를 조사하고자 하였다.

실 험

시약 및 분석기기

합성에 사용된 시약 HSI와 STI는 분헌에 따라 합성하였다.⁵ 중합 개시제인 2,2-azobisisobutyronitrile(AIBN)과 *tert*-butyl methacrylate(tBMA)는 Junsei Chemical사에서 구입하여 AIBN은 메탄올에 재결정하여 사용하였고, tBMA는 실험하기 전, 컬럼을 통과시켜 중합금지제를 제거시킨 다음 사용하였다. 용매로 사용한 tetrahydrofuran(THF)은 CaH₂로 증류하여 사용하였고 DI-SO₃(diphenyl-4-thiophenoxyphenyl sulfonium triflate)는 (주)금호석유화학으로부터 기부 받아 더 이상의 정제 없이 사용하였다. 현상액으로 사용한 2.38 wt% tetramethylammonium hydroxide(TMAH) 수용액은 Clariant Industries(Korea) Ltd. 사에서 구입하여 사용하였다. Poly(*tert*-butyl methacrylate) (ptBMA) ($\overline{M}_w=2.15 \times 10^4$, $\overline{M}_w/\overline{M}_n=1.78$)는 벤젠에서 라디칼 중합하여 사용하였다. ¹H-NMR spectrum은 JEOL JNM-FCP 400 MHz spectrophotometer를 사용하여 측정하였고, 용매는 CDCl₃를 사용하였다. FT-IR spectrum은 BOMEM MB-100 분광계로 측정하였고, DSC/TGA 측정은 Perkin Elmer 7을 사용하여 승온 속도 10 °C/min으로 N₂ 기류 하에서 측정하였다. THF에 녹인 고분자의 분자량은 polystyrene을 기준으

로 한 calibration curve를 이용하여 GPC(Waters Alliance 2690)방법으로 측정하였다. 원소분석은 CH EA-1110 원소분석기를 사용하여 고순도의 헬륨과 산소 기류 하에서 분석하였다. 스핀 코터 SC-100을 사용하여 박막 코팅을 하였고 200 W 고압력 수은 램프의 Karl suss MJB 3 노광기를 사용하였고, 박막 두께는 Perkin Elmer사의 Lamda 40 UV Vis spectrophotometer로 간섭법을 이용하여 측정하였다.

고분자 산증식형 포토레지스트의 합성

Poly(HSI₅-co-tBMA₉₅)(P-1), HSI(0.20 g, 0.50 mmol)와 tBMA(1.35 g, 0.95 mmol)를 증류된 THF(10.5 ml)에 녹인 후 10 wt%의 AIBN(0.15 g)을 첨가하여 질소 기류 하에서 70 °C로 24시간 동안 교반하면서 중합한다. 중합이 끝난 뒤 THF를 첨가시켜 희석시키고 증류수/methanol(1:10 v/v) 혼합용매에 침전시킨다. 여과한 고분자를 진공오븐에서 상온으로 24시간 건조한 뒤 두 번 더 침전시켜 79% 수율의 흰색 분말을 얻었다. ($\overline{M}_w=1.90 \times 10^4$, $\overline{M}_w/\overline{M}_n=2.22$).

¹H-NMR(CDCl₃, δ , ppm): 7.75(d, 2H), 7.26(d, 2H), 5.57(m, 2H), 4.05(m, 2H), 3.52(m, 1H), 1.02-2.06(m, 37H). IR(KBr, v, cm⁻¹): 3540(-OH), 2979(-CH₃), 1723(C=O), 1139(-SO₂); Found: C, 66.54; H, 9.75; S, 0.41.

Poly(HSI₁₀-co-tBMA₉₀)(P-2), HSI(0.40 g, 1.00 mmol)와 tBMA(1.28 g, 0.90 mmol)를 위와 같은 방법으로 라디칼 중합하여 80% 수율의 흰색 분말을 얻었다. ($\overline{M}_w=1.25 \times 10^4$, $\overline{M}_w/\overline{M}_n=2.00$).

¹H-NMR(CDCl₃, δ , ppm): 7.74(d, 2H), 7.26(d, 2H), 5.57(m, 2H), 4.03(m, 2H), 3.52(m, 1H), 0.72-1.98(m, 37H). IR(KBr, v, cm⁻¹): 3539(-OH), 2976(-CH₃), 1722(C=O), 1138(-SO₂); Found: C, 66.68; H, 9.81; S, 0.85.

Poly(STI₅-co-tBMA₉₅)(P-3), STI(0.28 g, 0.50 mmol)와 tBMA(1.35 g, 0.95 mmol)를 위와 같은 방법으로 실험하여 88% 수율의 흰색 분말을 얻었다. ($\overline{M}_w=2.10 \times 10^4$, $\overline{M}_w/\overline{M}_n=2.49$).

¹H-NMR(CDCl₃, δ , ppm): 7.77-7.79(d, 4H), 7.26-7.33(d, 4H), 4.33(m, 1H), 3.74(m, 1H), 2.44(s, 3H), 0.63-1.81(m, 41H). IR(KBr, v, cm⁻¹): 2978(-CH₃), 1722(C=O), 1138(-SO₂); Found: C, 66.12; H, 9.45; S, 1.26.

Poly(STI₁₀-co-tBMA₉₀)(P-4), STI(0.57 g, 1.00 mmol)와 tBMA(1.28 g, 0.90 mmol)를 위와 같은 방법으로 중합하여 82% 수율의 흰색 분말을 얻었다. ($\overline{M}_w=1.35 \times$

$10^4 \cdot \overline{Mw}/\overline{Mn}$ 2.14).

$^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , δ , ppm): 7.77-7.79(d, 4H), 7.25-7.33(d, 4H), 4.31(m, 1H), 3.75(m, 1H), 2.44(s, 3H), 0.63-1.81(m, 41H). IR(KBr, v , cm^{-1}): 2978(-CH₃), 1722(C=O), 1139(-SO₂); Found: C, 66.03; H, 9.30; S, 2.12.

박막상태의 열 안정성 결정

증류한 THF 용매에 합성한 고분자 산증식형 포토레지스트를 녹여 10 wt% 용액을 만들고 여기에 광산 발생제인 DTSO₁를 5 wt% 첨가시켜 완전히 녹인 다음 스핀 코터로(2500 rpm에서 7초, 1500 rpm에서 7초) 실리콘 웨이퍼에 박막(0.23 μm)으로 코팅한다. 박막의 열적 안정성은 FT-IR spectrophotometer를 이용해 100 °C, 110 °C, 120 °C 각각의 온도에서 시간에 따른 특성 피크의 변화를 측정하여 결정하였다.

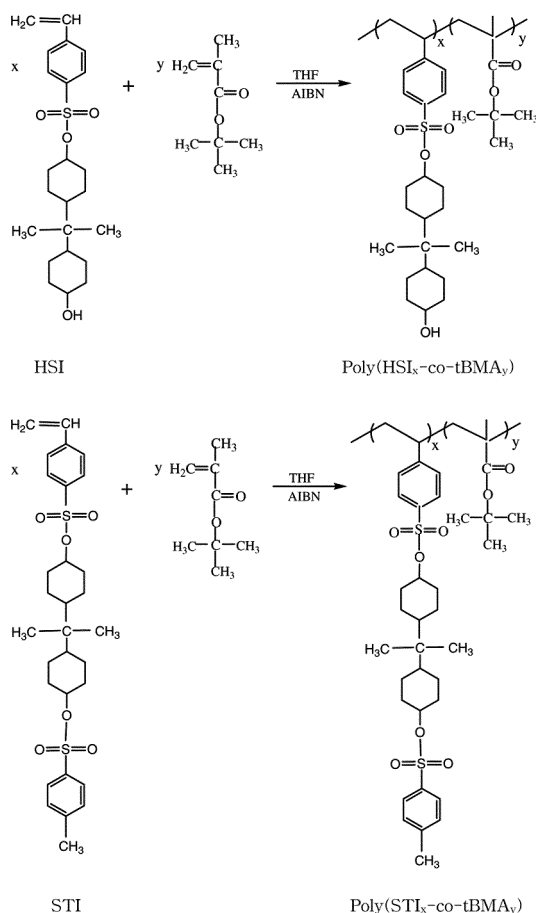
감도 결정

위와 같은 방법으로 코팅하여 0.23 μm 두께의 포토레지스트 필름을 얻은 후 70 °C에서 20분 동안 prebake를 하여 남은 용매를 제거하였다. 200 W 고압력 수은램프의 Karr suss MIB-3 노광기를 이용하여 노광을 주고, 열 반응을 촉진시키기 위해 120 °C에서 2분 동안 post-exposure bake(PEB)를 한다. PEB후 2.38 wt% TMAH 수용액으로 30초 동안 현상하고 증류수에 30초 동안 수세하였다. 건조 후에 잔존하는 박막의 두께를 측정하여 감도를 결정하였다.

결과 및 고찰

공중합체의 합성

산 증식형 포토레지스트는 감도 향상을 목적으로 화학 증폭형 포토레지스트에 저분자형 산 증식제를 첨가한다. 산 증식형 레지스트의 노광부의 광산 발생제로부터 생성된 산이 산 증식제를 분해시키는 산 촉매 역할을 하여 산 증식제로부터 2차의 산(secondary acid)인 술폰산을 생성시켜 감도를 증진시킨다.¹⁴ 이전 연구에서 합성한 저분자형 산 증식제 HIS와 STI는 산의 부재시 충분한 열적인 안정성을 가진 뿐만 아니라 광감도 증진에 효과가 있음을 확인하였다.¹⁵ 본 연구에서는 산 증식 기능을 갖는 그룹을 고분자 체인에 공유결합으로 매달았을 때 광감도 증진에 효과가 있는지 살펴보기 위해, 산 증식기와 산에 민감한 작용기를 둘 다 함께 갖고 있



Scheme 1. Synthesis of polymeric acid amplifying photoreists.

는 공중합체를 새로운 고분자 산증식형 포토레지스트로 제조하였다. 이러한 산증식형 공중합체인 Poly(HIS-co-tBMA)와 Poly(STI-co-tBMA)는 산 증식 기능을 갖는 HIS, STI와 산에 민감한 작용기를 갖고 있는 tBMA를 각각 라디칼 중합하여 얻었다(Scheme 1). 합성한 공중합체는 $^1\text{H-NMR}$ 과 FT-IR spectra를 이용하여 그 구조를 확인하였다. $^1\text{H-NMR}$ 스펙트럼의 5.40~6.80 ppm 영역에서 나타나는 단량체의 비닐 수소의 피크가 사라졌으며, IR 스펙트럼에서 tBMA의 카르보닐기에 기인한 흡수밴드가 1722 cm^{-1} 에서, HIS 또는 STI의 sulfonate group에 의한 흡수밴드가 1140 cm^{-1} 에서 나타나는 것으로 보아 공중합체가 얻어졌음을 확인할 수 있었다. 산증식 기능을 나타내는 단량체(HIS, STI)의 함량 효과를 살펴보기 위하여 공중합체의 조성을 변화시켜 합성

Table 1. Composition of acid amplifying copolymers

Copolymers	Monomer molar feed ratio			Composition ^a			M_w^b	M_w/M_n^b	T_m
	HSI	STI	tBMA	HSI	STI	tBMA			
P-1	5	-	95	2	-	98	19000	2.22	160 °C
P-2	10	-	90	4	-	96	12600	2.00	150 °C
P-3	-	5	95	-	3	97	21000	2.49	153 °C
P-4	-	5	90	-	5	95	13500	2.15	154 °C

^aDetermined from elemental analysis

^bDetermined from GPC

하였다. Table 1에 monomer molar feed ratio에 비교하여 얻어진 공중합체의 조성과 분자량, 분산도, 녹는점을 나타내었다. 산중식 기능을 갖는 단량체인 HSI와 STI의 함량은 공중합 시에 넣어준 양보다 얻어진 공중합체에서 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 열분석 결과로부터 모든 공중합체의 열분해 온도가 150 °C를 넘기 때문에 본 실험에서 사용하는 공칭에서는 아무 분체가 없을 만큼의 열적인 안정성을 가짐을 확인할 수 있었다. 모든 공중합체는 흰 분말 형태로 얻어졌는데 핵산을 제외한 대부분의 유기 용매에 잘 녹는 성질을 나타내었다.

산 중식형 공중합체 필름의 열적 성질

산중식형 공중합체를 포토레지스트로 사용하기 위해서는 PIIB 공정 동안에 충분히 열적으로 안정해야 한다. 산중식형 공중합체 필름의 열적 안정성을 측정하기 위하여 실리카웨이퍼에 코팅을 하여 FT-IR spectrophotometer를 이용해 100 °C, 110 °C, 120 °C 각각의 온도에서 시간에 따른 특성 피크의 변화를 측정하여 결성하였다. 산중식기가 열에 의하여 분해하면 1140 cm⁻¹의 산중식기의 sulfonate ester에 있는 sulfonyl group의 vs-o

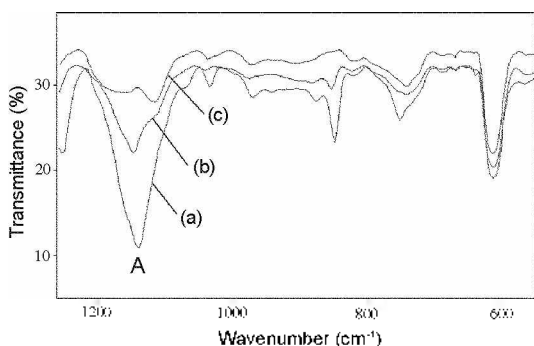


Fig. 1. FT-IR spectra of P-4 film in the presence of 5 wt% DTSOTI stored for (a) 0, (b) 5 and (c) 20 min at 110 °C.

symmetric 밴드가 감소하는 것을 Fig. 1에 나타내었다. 또한 열분해에 의하여 생성된 산이 고분자의 protecting group인 tert-butyl group을 분해하는 비보호화 반응을 함으로써 2973 cm⁻¹에서 나타나는 tert-butyl group의 특성 피크가 줄어들게 된다. 하지만 이러한 비보호화 반응에 의한 피크 감소는 2차적인 것으로, 생성된 산이 주위 환경의 오염에 의하여 어느 정도의 손실이 예상되므로 산중식기의 1140 cm⁻¹의 sulfonyl group에 기인한 피크(Fig. 1의 A)가 줄어드는 현상을 이용하여 실리카웨이퍼 자체의 특성 밴드인 611 cm⁻¹의 피크(Fig. 1의 B)를 기준으로 하여 열적 안정성을 결정하였다. Poly(HSI-co-tBMA) 필름과 Poly(STI-co-tBMA) 필름의 열적 안정성은 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. Poly(HSI-co-tBMA) 필름과 Poly(STI-co-tBMA) 필름은 120 °C에서 5분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정하여 본 연구에서 사용하는 prebake 또는 PIIB 온도와 시간 동안의 열적 안정성에는 아무 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

감도 특성

포지티브 레지스트에서 감도측정 현상에 의하여 노광부의 포토레지스트를 완전히 제거하는데 필요한 최소

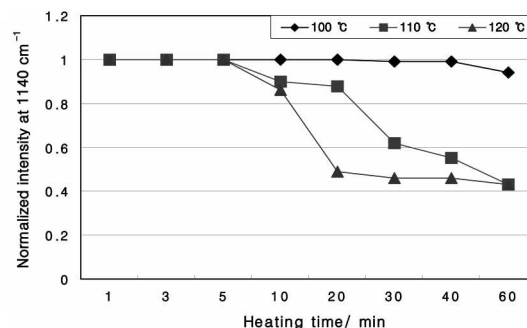


Fig. 2. Time course of the consumption of the sulfonyl group of Poly(HSI-co-tBMA) film in the presence of 5 wt% DTSOTI at various temperatures.

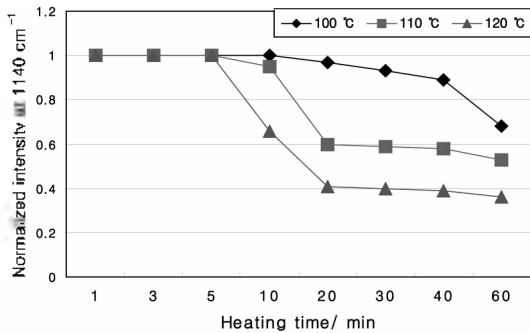


Fig. 3. Time course of the consumption of the sulfonyl group of Poly(STI-co-tBMA) film in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperatures.

량의 노광량으로 정의된다. 산증식형 공중합체의 필름을 실리콘웨이퍼에 스퍼 코팅한 후, 70°C에서 20분 동안 prebake를 하여 남은 용매를 제거하였다. 200 W 고압력 수은 램프의 Kart suss MJB-3 노광기를 이용하여 노광을 주고, 열 반응을 촉진시키기 위해 120°C에서 2분 동안 PEB를 하였다. PEB후 2.38 wt% TMAH 수용액으로 30초 동안 현상하고 증류수에 30초 동안 수세하였다. 현상 후에 잔존하는 박막의 두께를 측정하여 감도를 결정하였다.

고분자 산증식형 포토레지스트인 Poly(HSI-co-tBMA) 필름의 감도를 산증식 기능이 없는 ptBMA 필름의 감도에 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4를 보면, 예상과는 다르게 Poly(HSI-co-tBMA) 필름의 감도는 ptBMA 필름보다 떨어지며, 산증식 기능을 갖는 단량체(HSI)의 함량이 증가할수록 오히려 감도가 더 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 저분자형 산 증식제에서

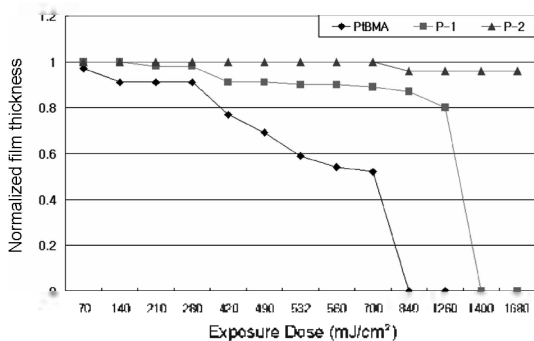


Fig. 4. Photosensitivity curves of Poly(HSI-co-tBMA) film in the presence of 5 wt% DTSOTf as a photoacid generator (film thickness: 0.23 μm).

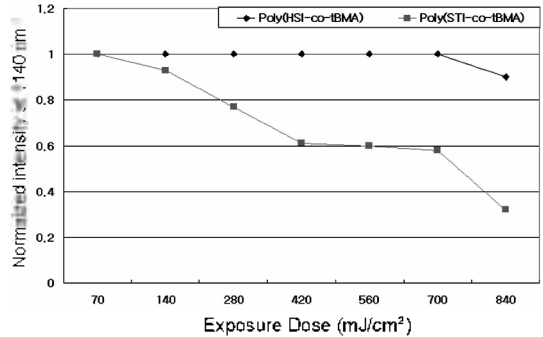
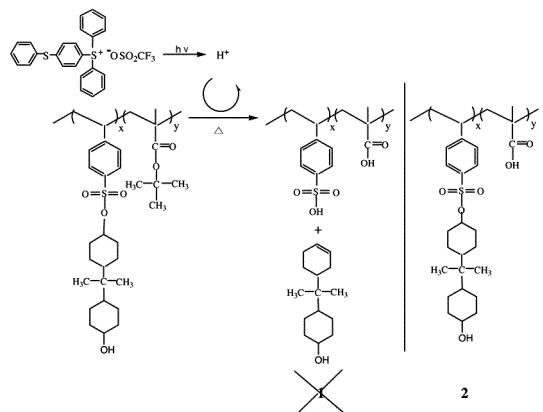


Fig. 5. The consumption of the sulfonate group of acid amplifying copolymer films after various dose of exposure and PEB at 110°C for 2 min in the presence of 5 wt% DTSOTf.

언어진 결과에 따르면 HSI의 함량이 증가하면 설포네이트 에스테르기의 함량이 증가하여 감도가 증진되어야 한다. 그러나 Poly(STI-co-tBMA) 필름과는 다르게 Poly(HSI-co-tBMA) 필름에서는 설포네이트 에스테르기가 산 촉매에 의하여 분해가 일어나지 않음을 IR spectrophotometer를 이용하여 확인할 수 있었다(Fig. 5) 이것은 Poly(HSI-co-tBMA) 공중합체 구조에서 설포네이트 에스테르기가 고분자의 pendent기의 내부에 숨어 있어서 산의 접근이 어렵기 때문으로 추정된다. 그러므로 Poly(HSI-co-tBMA) 필름의 산 분해 반응은 1이 아니라 2의 경로로 일어나는 것으로 예상된다(Scheme 2). 이와 같은 연유로 Poly(HSI-co-tBMA)는 산 증식 기능을 나타낼 수 없으며, 분해하지 않고 남아있는 HSI 단위체가 염기성 수용액에 용해여 제제로 작용하여



Scheme 2. Proposed path of Acid catalyzed reaction in Poly(HSI-co-tBMA) film.

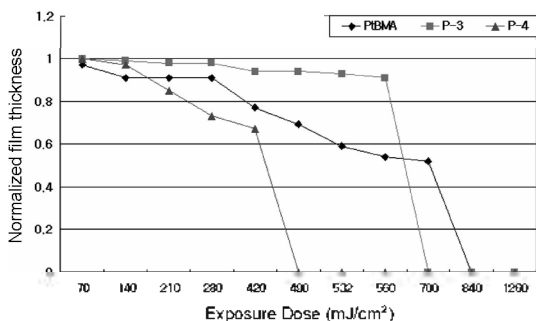
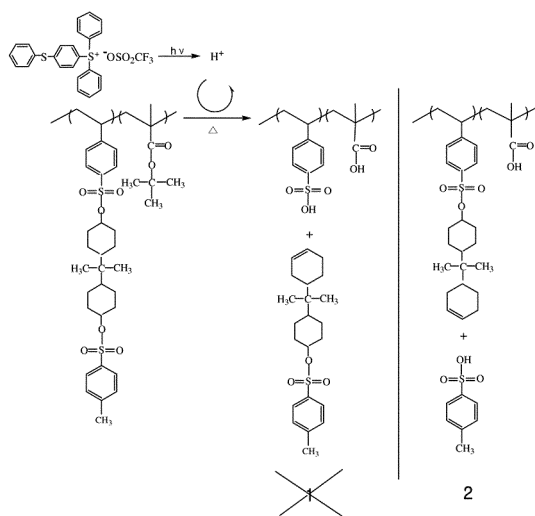


Fig. 6. Photosensitivity curves of Poly(STI-co-tBMA) film in the presence of 5 wt% DTSOTf as a photoacid generator (film thickness: 0.23 μm).

ptBMA 필름의 감도보다 더 낮게 나타나는 것으로 판단된다. Fig. 6에 나타난 Poly(STI-co-tBMA) 필름의 감도를 보면, 산증식 기능이 없는 ptBMA 필름의 감도보다 증진된 것은 물론, 산증식 기능을 갖는 단량체(STI)의 함량이 많을수록 감도 증진에 효과적임을 확인할 수 있었다. 이는 앞에서 확인한 바와 같이 고분자의 pendent기의 내부에 있는 설포네이트 에스테르기는 분해가 일어나기 어렵지만 말단에 있는 설포네이트 에스테르기는 쉽게 산의 작용에 의하여 분해가 일어나 생성된 *p*-톨루엔술포산에 의하여 감도 증진이 일어나는 것으로 판단된다. 이런 결과를 바탕으로 Poly(STI-co-tBMA)의 산증식 메커니즘을 Scheme 3에 나타내었다.



Scheme 3. Proposed acid amplification mechanism of Poly(STI-co-tBMA) film.

결론

새로운 고분자 산증식형 포토레지스트로 산에 민감한 작용기를 갖는 tBMA와 산증식 기능을 갖는 HSI와 STI를 공중합 하여 제조하였다. 이렇게 합성한 산증식형 공중합체들은 모두 분질 자체의 분해온도가 150 °C를 넘기 때문에 본 실험에서 사용하는 공정에서는 아무 분체가 없을 만큼의 열적인 안정성을 가짐을 DSC/TGA thermograms으로 확인할 수 있었고, 실리콘웨이퍼에 코팅한 Poly(HSI-co-tBMA)와 Poly(STI-co-tBMA) 필름의 열적 안정성은 모두 120 °C에서 5분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정함을 알 수 있었다. 마지막으로 감도를 살펴보면, Poly(HSI-co-tBMA) 필름은 산증식 기능이 없는 ptBMA 필름에 비교하여 감도가 2배 정도 감소하는 결과를 나타내었으며 또한 HSI 단량체의 함량이 증가함에 따라 감도가 더 감소함을 볼 수 있었다. 이와는 달리 Poly(STI-co-tBMA) 필름의 감도를 보면, ptBMA 필름의 감도보다 증진된 것은 물론 STI 단량체의 함량이 증가할수록 감도 증진이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 고분자의 산 증식 기능을 갖는 설포네이트 에스테르기가 pendent기의 내부에 있는 경우에는 산의 접근이 어려워 분해가 일어나기 어렵지만 말단에 있는 경우에는 분해가 쉽게 일어나, 분해에 의하여 생성된 *p*-톨루엔술포산에 의하여 감도 증진이 일어나는 것으로 생각한다. 요약하면 고분자에 도입한 산증식 기능을 갖는 그룹의 구조에 따라 지분자형 산 증식제와 마찬가지로 감도 증진 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

앞으로 고분자 산증식형 포토레지스트의 조성을 최적화하고 패턴 형성 또는 해상력등과 같은 포토레지스트 성능에 관한 연구를 수행하고자 한다.

이 논문은 2001학년도 부경대학교발전기금의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

1. Park, S. W.; Arimitsu, K.; Lee, S. G.; Ichimura, K. *Chem Lett.* **2000**, 1036.
2. Macdonald, S. A.; Willson, C. G.; Frechet, J. M. J. *Chem Resear.* **1994**, 27, 151.
3. Liu, J. H.; Shin, J. C. *J. Appl Polym Sci.* **2000**, 889.
4. Jeong, Y. T.; Lee, E. J.; Park, J. Y. *J. Kor. Soc. Imaging Sci. Technol.* **2001**, 7, 110.

5. Lee, E. J.; Hong, K. I.; Lim, K. T.; Jeong, Y. S.; Hong, S. S.; Jeong, Y. T. *J. Kor. Chem. Soc.*, **2002**, *46*, 437.
 6. Park, S. W.; Arimitsu, K.; Ichimura, K. *Macromol. Rapid Commun.* **2000**, 1050.
 7. Lee, J. S.; Aoi, T.; Kondo, S.; Miyagawa, N.; Takahara, S.; Yamaoka, T. *J. Polym. Sci.* **2001**, 1858.
 8. Sasada, Y.; Shibasaki, Y.; Suzuki, M.; Ueda, M. *J. Polym. Sci.* **2001**, 393.
 9. Ito, H.; Ichimura, K. *Macromol. Chem. Phys.* **2001**, *132*, 201.
 10. Arimitsu, K.; Ichimura, K. *Macromol. Chem. Phys.* **2001**, 453.
 11. Arimitsu, K.; Kudo, K.; Ichimura, K. *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *37*, 120.
 12. Feit, B.; Halak, B. *J. Polym. Sci.* **2002**, 2171.
 13. Hsieh, G. W.; Hsieh, Y. S.; Yang, C. R.; Lee, Y. D. *Microsyst Technol.* **2002**, *8*, 326.
-