

포지티브 포토레지스트의 감도 증진을 위한 산 증식제로 이소프로필리덴 디시클로헥산올의 p-스티렌술폰산 에스테르의 합성 및 특성연구

李恩珠 · 洪炯一 · 林權澤 · 鄭容錫 · 洪性秀[†] · 鄭淵泰^{*}

부경대학교 공과대학 화학정보공학부

[†]부경대학교 공과대학 화학공학부

(2002. 7. 10 접수)

Preparation and Characterization of p-Styrenesulfonates of Isopropylidene Dicyclohexanol as Acid Amplifiers to Enhance the Photosensitivity of Positive-Working Photoresists

Eunju Lee, Kyongil Hong, Kwontack Lim, Yongseok Jeong, Sungsu Hong[†], and Yeontae Jeong^{*}

Division of Image and Information Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

[†]School of Chemical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

(Received July 10, 2002)

요약. 포토레지스트의 감도 증진은 광산 발생제로부터 발생되는 산에 의해 자동촉매분해가 일어나는 산 증식제를 화학 증폭형 포토레지스트에 첨가함으로써 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이소프로필리덴 디시클로헥산올의 p-스티렌술폰산 유도체를 산 증식제로 합성하고 그 성능을 평가하였다. 이러한 산 증식제로 합성한 4-hydroxy-4'-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(1), 4,4'-di-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(2) 그리고 4-p-styrene-sulfonyloxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane(3)는 레지스트 공정 온도에 대하여 충분한 열적 안정성을 나타내었다. 또한 이러한 산 증식제를 사용한 경우에 광산 발생제만 사용한 poly(*tert*-butyl methacrylate) film에 비교하여 2배에서 12배 정도의 감도 증진이 일어나 광화상 제조에 실용적으로 응용할 수 있음을 확인하였다.

주제어: 산 증식제, 광산 발생제, 화학 증폭형 포토레지스트

ABSTRACT. The photosensitivity enhancement of photoresist achieved by the addition of acid amplifiers stems from the autocatalytic decomposition of the acid amplifiers triggered by acidic species generated from a photoacid generator. In this research we synthesized and evaluated 4-hydroxy-4'-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(1), 4,4'-di-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(2) and 4-p-styrenesulfonyloxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane(3) as novel acid amplifiers. These acid amplifiers(1-3) showed reasonable thermal stability for resist processing temperature. As estimated by the sensitivity curve, 1-3 were 2X-12X sensitive than poly(*tert*-butyl methacrylate) film in the presence of a photoacid generator and, therefore, provides practical applicability for photoimaging.

Keywords: Acid Amplifier, Photoacid Generator, Chemically Amplified Photoresist

서 론

광산 발생제(photoacid generator: PAG)와 산 반응성(acid-labile) 고분자로 구성되는 화학 증폭형 포토레지스트의 감도는 PAG로부터 생성되는 산의 양과 산도에 의해 결정된다. 강산을 발생시키는 PAG를 사용하고, PAG의 함량을 높여 감도를 증진시키려는 시도가 있었지만, 5 wt% 이상 첨가시킬 경우 PAG사이의 회합과 큰 분광 흡수의 문제점으로 제한이 있었다.^{1,3} 이런 문제점을 해결하기 위해 산 증식형 포토레지스트가 개발되었다. 산 증식형 포토레지스트는 광 감도(photosensitivity)와 패턴 형상(pattern shape) 등의 레지스트 성능을 향상시키기 위하여 화학 증폭형 포토레지스트(chemically amplified photoresist: CAP)에 산 증식제(Acid Amplifier, AA)를 첨가하여 만든다.^{4,5} 산 증식제는 외부의 산이 촉매 역할을 하여 비 선형적(non-linear)으로 산을 생성시킬 수 있는 물질임을 말하는데 화학 증폭형 포토레지스트에 산 증식제를 첨가하면 postexposurebake(PEB) 동안에 AA로부터 부가적인 산이 생성되어지므로 산 증식형 포토레지스트가 된다.⁶⁻⁹ 즉 산 증식형 레지스트의 노광부의 PAG로부터 생성된 산이 AA를 분해시키는 산 촉매 역할을 하여 AA로부터 2차의 산(secondary acid)을 생성시키는 dark reaction이 PEB동안에 일어나므로, 화학 증폭형 레지스트에 있어서 단지 노광에 의하여 PAG로부터 생성되는 산의 양보다 훨씬 더 많은 양의 산이 산 증식형 레지스트의 노광부에서 생성되므로 화학 증폭형 레지스트에서 보다 산 증식형 레지스트에서 감도(sensitivity)가 증진된다.^{8,11} 이러한 AA가 갖추어야 할 조건은 산의 부재시에는 공정시 가해지는 열에 대한 안정성이 있어야 하며 분해시에는 강산을 다량 생성시킬 수 있어야 한다. 지금까지 이러한 산 증식제로 시클로헥산디올과 이소프로필리덴 디시클로헥산올의 p-톨루엔술포산 유도체들에 대하여 발표된 바가 있다.¹²⁻¹³ 본 연구에서는 p-톨루엔술포산보다 산도가 더 높 것으로 추정되는 p-스티렌술포산 유도체를 합성하고자 하였으며 더 나아가서 산 증식제로서의 성능을 평가하고자 시도하였다.

실 험

시약 및 분석기기

합성에 사용된 시약은 4,4'-isopropylidene dicyclohexanol, p-styrenesulfonyl chloride는 Aldrich사에서 구입해 정제 없이 사용하였고, 4-hydroxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane은 문헌에 따라 합성하였으며,¹² 염기 및 용매로 사용한 피리딘은 Junsei chemical사에서 구입해 그대로 사용하였다. DTSOTf(diphenyl-4-thiophenoxyphenyl sulfonium triflate)는 (주)금호석유화학으로부터 기부받아 더 이상의 정제 없이 사용하였다. ¹H-NMR spectrum은 JEOL JNM-ECX 400 MHz를 사용하여 측정하였고, 용매는 CDCl₃를 사용하였다. 원소분석은 Carlo Erba사 모델 CHNS O 1108 원소분석기를 사용하여 helium 기류하에서 분석하였다. 녹는점은 Fisher사의 model IA-9100 융점측정기를 이용하여 측정하였으며 그 값은 보정 없이 기록하였다. FT-IR spectrum은 BOMEM MB-100 분광계로 측정하였고, DSC TGA 측정은 Perkin Elmer 7을 사용하여 승온속도 10 °C/min.으로 N₂ 기류하에서 측정했다. 스핀 코터는 (주) E·H·C사의 SC-100을 사용하여 박막 코팅을 하였고, 200 W 고압력 수은 램프의 Karl suss MEB 3 노광기로 노광을 주었으며, 박막 두께는 Perkin Elmer사의 Lamda 40 UV/Vis spectrophotometer로 간섭법을 이용하여 측정하였다.

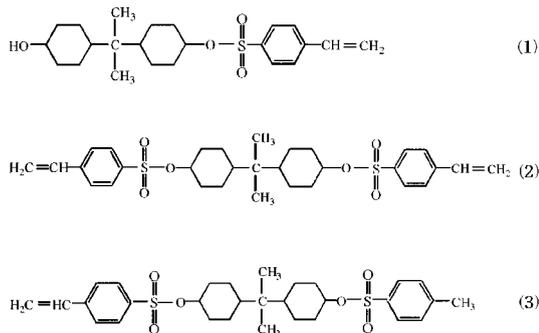
산 증식제의 합성

4-Hydroxy-4'-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(1), 250 ml 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 81 ml와 4,4'-isopropylidene dicyclohexanol(IPDH) (0.05 mol, 12.01 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 반응온도를 0 °C로 냉각시킨다. 0 °C 이하로 냉각이 되면 플라스크에 p-styrenesulfonyl chloride(p-SSC) (0.05 mol, 10.13 g)를 첨가하고 0 °C에서 24시간 동안 교반하면서 반응시킨다. 반응이 끝나면 생성된 염을 필터하여 제거하고 회전증발기로 70 °C에서 감압 농축하여 피리딘을 제거한다. 100 ml 얼음물을 넣고 80 ml CH₂Cl₂로 2번 추출한 뒤, 10% 염산 수용액 100 ml로 3번 씻어서 남아있는 피리딘을 제거한다. 증류수 100 ml로 여러번 씻어 산을 제거시킨다. 수체가 끝난 유기층을 무수 MgSO₄로 건조시킨 다음 MgSO₄를 제거하고, 감압 농축하여 용매를 줄인 뒤 ethyl acetate : hexane = 5:1 (v/v) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 판 크로마토그래피로 분리하였다. 진공오븐에서 24시간 건조하여 옅은 노란색 분말

형태로 생성물을 얻었다. yield: 36%; mp: 152 °C; IR (KBr, cm⁻¹): 3436(-OH), 2940(-CH₂), 1597(CH₂-CH), 1175(-SO₂); ¹H-NMR(CDCl₃, δ): 0.64-1.98(m, 24H), 3.46-3.48(m, 1H), 4.01(s, 1H), 4.33-4.35(m, 1H), 5.42-5.44(d, 1H), 5.86-5.90(d, 1H), 6.69-6.74(m, 1H), 7.52(d, 2H), 7.85(d, 2H); Found: C, 68.11; H, 8.98; S, 7.63. Calc. for C₂₃H₃₄SO₄: C, 67.95; H, 8.43; S, 7.89.

4,4'-Di-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(2). 250 ml 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 81 ml와 IPDH(0.05 mol, 12.01 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 0 °C로 냉각시킨다. 0 °C 이하로 냉각이 되면 플라스크에 p-SSC(0.10 mol, 20.26 g)를 첨가하고 0 °C에서 48시간 동안 교반 하면서 반응시킨다. 반응이 끝나면 위와 동일한 방법으로 분리하여 노란색 분말 형태로 생성물을 얻었다. yield: 42%; mp: 133 °C; IR(KBr, cm⁻¹): 2942(-CH₃), 1594(CH₂-CH), 1163(-SO₂); ¹H-NMR(CDCl₃, δ): 0.62-2.03(m, 24H), 4.32-4.34(m, 2H), 5.43-5.45(d, 2H), 5.86-5.91(d, 2H), 6.70-6.74(m, 2H), 7.52(d, 4H), 7.83(d, 4H); Found: C, 65.20; H, 7.51; S, 10.85. Calc. for C₃₁H₄₀S₂O₆: C, 65.00; H, 7.04; S, 11.19.

4-p-Styrenesulfonyloxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane(3). 250 ml 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 81 ml와 4-hydroxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane¹²(0.05 mol, 19.73 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 0 °C로 냉각시킨다. 0 °C 이하로 냉각이 되면 플라스크에 p-SSC(0.05 mol, 10.13 g)를 첨가하고 0 °C에서 24시간 동안 교반 하면서 반응시킨다. 반응이 끝나면 위와 동일한 방법으로 분리하여 진한 노란색 분말 형태로 생성물을 얻었다. yield: 48%.



Scheme 1. Structures of acid amplifiers.

mp: 135 °C; IR(KBr, cm⁻¹): 2941(-CH₂), 1596(CH₂-CH), 1171(-SO₂); ¹H-NMR(CDCl₃, δ): 0.62-2.16(m, 24H), 2.43(s, 3H), 4.31-4.33(m, 2H), 5.44-5.46(d, 1H), 5.87-5.91(d, 1H), 6.71-6.75(m, 1H), 7.25-7.32(d, 2H), 7.52-7.54(d, 2H), 7.77(d, 2H), 7.83(d, 2H); Found: C, 64.50; H, 7.67; S, 11.08. Calc. for C₃₀H₄₀S₂O₆: C, 64.26; H, 7.19; S, 11.43.

결론 및 고찰

용해도 성질

포토티지스트를 웨이퍼에 코팅할 때 박막을 형성하기 위해 균일한 용액상태로 사용된다. 따라서 감도 증진 효과를 얻기 위해 포토티지스트에 첨가되어지는 산 증식제도 포토티지스트 용매에 좋은 용해성을 가져야 공정이 간편하게 된다. 산 증식제로 합성한 1, 2 그리고 3 각각의 물질들을 유기용매를 이용하여 3 wt% 용액을 만들어 용해성을 실험하였으며 완전히 녹는 경우 ○, 부분적으로 녹는 경우 △, 전혀 녹지 않는 경우를 ×로 표기하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 1은 핵산을 제외한 모든 유기용매에 잘 녹아 용해성이 우수하지만 2, 3은 핵산, 메탄올, 에탄올 같은 용매에 녹지 않는 용해성을 나타낸다. 특히 1은 포토티지스트의 용매

Table 1. Solubility properties of prepared acid amplifiers in a various kind of solvents

Solvent	AA	1	2	3
Hexane		×	×	×
Ethyl acetate		○	○	△
Chloroform		○	○	○
Benzene		○	△	○
Toluene		○	○	○
Ethyl ether		○	△	×
Methylene chloride		○	○	○
THF		○	○	○
Methanol		○	×	×
Ethanol		○	×	×
Acetone		○	○	○
PGME		○	△	△
PGMEA		○	×	△
EL		○	×	△

^apropylene glycol monomethyl ether
^bpropylene glycol monomethyl ether acetate
^cethyl lactate

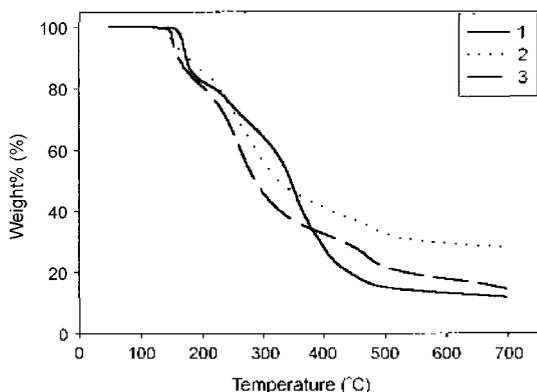


Fig. 1. TGA thermograms of acid amplifiers.

로 주로 사용하는 PGME, PGMEA 그리고 EL에 좋은 용해성을 나타내고 있지만 2, 3은 낮은 용해성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

산 증식제의 열적 성질

산 증식제 1, 2와 3을 시차주사열량분석으로 분석한 녹는점은 각각 152°C, 132°C 그리고 134°C였으며 열중량분석 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 1, 2와 3 모두 녹기 시작하면서 1차분해가 일어나고 온도가 높아짐에 따라 점차 분해가 일어나는데 그 분해온도를 보면 1은 175°C에서 1차분해가 일어나고 2, 3은 152°C에서 1차분해가 일어나 1의 열적 안정성이 약간 더 우수함을 확인할 수 있었다. 산 증식제 1, 2와 3 모두는 분해온도가 150°C를 넘기 때문에 표준 레지스트 프로세스에서는 아무 문제가 없을 만큼의 열적인 안정성을 가짐을 확인할 수 있었으나 이와 같은 화합물의 구조와 열적 안정성과의 관계에 더 많은 연구가 수행되어야 한다고 생각한다.

산 증식제를 첨가한 PtBMA Film의 열적 성질

포토레지스트 박막의 열 안정성은 매우 중요한데 만약 포토레지스트가 PIB 공정에서 열적으로 불안정하다면 PIB 동안 노광부와 비노광부 모두 열에 의한 분해가 일어나므로 노광 효과의 감소로 현상후 형성된 패턴의 콘트라스트가 저하된다. 따라서, 산 증식제를 포함하는 포토레지스트의 박막 상태의 열적 안정성을 측정하기 위하여 실리콘 웨이퍼에 코팅을 하여 열적 성질을 살펴보았다. 종류된 THF 용매에 PUBMA(Mw=20500, Mw/Mn=1.78)를 녹여 10 wt% 용액을 만들고 여기에 광산 발생제인 DTSOTf(diphenyl-4-thiophenoxyphenyl sulfonium triflate)를 5 wt%와 혼합한 산 증식제를 각각

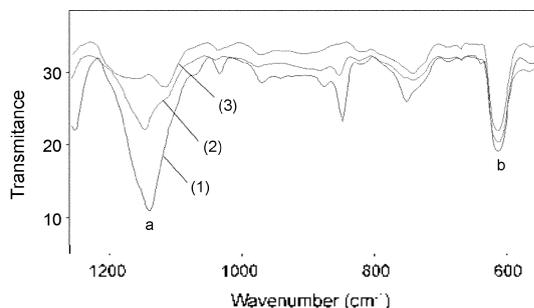


Fig. 2. FT-IR spectra of PtBMA film containing 5 wt% of 1 in the presence of 5 wt% DTSOTf stored for (1) 0, (2) 5 and (3) 20 min at 140°C.

PtBMA 양의 5 wt%를 첨가시켜 완전히 녹인 다음 스피드 코터로(2500 rpm에서 7초, 1500 rpm에서 7초) 실리콘 웨이퍼에 박막(0.35 μm)으로 코팅한다. 실리콘 웨이퍼에 코팅한 박막의 열적 안정성은 FT-IR spectrophotometer를 이용해 120°C, 130°C, 140°C 각각의 온도에서 시간에 따른 특성 피크의 변화를 측정하여 결정하였다. 산 증식제가 열에 의하여 분해하면 1174 cm^{-1} sulfonic acid의 sulfonyl group의 새로운 피크가 생성되면서 1139 cm^{-1} 의 산 증식제의 sulfonate ester에 있는 sulfonyl group의 ν_{as} symmetric 밴드가 감소하게 된다(Fig. 2). 또한 열분해에 의해 생성된 산이 고분자의 protecting group인 tert-butyl group을 분해하는 비보호화 반응을 함으로써 2970 cm^{-1} 에서 나타나는 tert-butyl group의 특성 피크가 줄어들게 된다. 하지만 비보호화 반응에 의한 피크 감소는 2차적인 것으로, 생성된 산이 주위 환경의 오염에 의해 어느 정도의 손실이 예상되므로 산 증식제의 sulfonyl group에 기인한 피크(b)가 줄어드는 현상을 이용하여 실리콘 웨이퍼 자체의 특성 밴드인 611 cm^{-1} 의 피크(a)를 기준으로 하여 산 증식제의 열적 안정성을 결정하였다. 1과 2를 5 wt% 포함한 PUBMA film은 120°C에서는 매우 안정하고 130°C에서는 15분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정하였다. 그러나 3은 120°C에서도 10분 이후에는 열분해가 일어나므로 1, 2에 비해서는 열적 안정성이 떨어짐을 Fig. 3, Fig. 4과 Fig. 5로부터 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 산 증식제 1, 2와 3을 포함하는 PUBMA film은 포토레지스트 공정에서 일반적으로 사용하는 120°C 이하의 soft bake 또는 PIB 온도에서는 열적 안정성에 아무 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

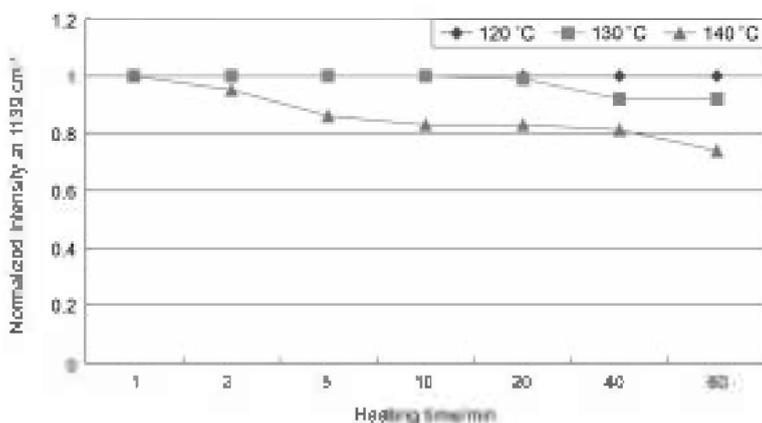


Fig. 3. Time course of the consumption of the sulfonyl group of PtBMA film containing 5 wt% of 1 in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperatures.

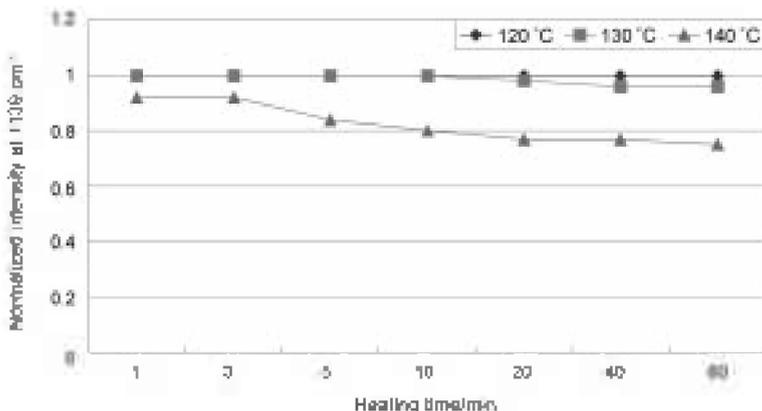


Fig. 4. Time course of the consumption of the sulfonyl group of PtBMA film containing 5 wt% of 2 in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperatures.

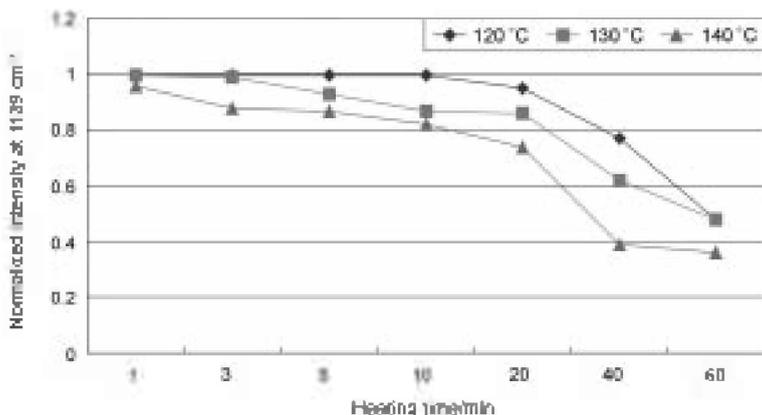


Fig. 5. Time course of the consumption of the sulfonyl group of PtBMA film containing 5 wt% of 3 in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperatures.

감도 특성

포지티브 레지스트에서 감도는 현상에 의하여 노광부의 포토레지스트를 완전히 제거하는데 필요한 최소량의 노광량으로 정의된다. PtBMA 필름의 감도를 결정하는 방법은 다음과 같다. 증류한 THF 용매에 PtBMA를 녹여 10 wt% 용액을 만들고 여기에 광산 발생제인 DTSOTf를 5 wt%와 합성한 산 증식제를 각각 PtBMA 양의 5 wt%를 첨가시켜 완전히 녹인 다음 스피드 코터로 (2500 rpm에서 7초, 1500 rpm에서 7초) 실리콘 웨이퍼 위에 0.35 μm 의 박막으로 코팅한 후 70 °C 에서 20분 동안 soft bake를 하였다. 200 W 고압력 수은 램프의 Karr suss MJ3 3 노광기를 이용하여 노광을 주고, 120 °C 에서 2분 동안 PEB 하였다. 2.38 wt% tetramethylammonium hydroxide(TMAH) 수용액으로 30초 동안 현상하고 증류수에 30초 동안 수세한 후 24시간 동안 40 °C 진공 오븐에서 건조하였다. 현상 후에 잔존하는 박막의 두께를 Perkin Elmer사의 Lambda 40 UV Vis spectrophotometer로 간섭법을 이용하여 측정하였다. 산 증식제를 포함하는 PtBMA 필름의 감도를 산 증식제를 사용하지 않은 PtBMA 필름의 감도에 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. 산 증식제 1을 5 wt% 사용한 PtBMA 필름의 감도는 산 증식제를 사용하지 않은 필름에 비해 12배 정도의 감도 증진이 일어났으며, 산 증식제 2, 3을 5 wt% 사용한 경우에는 각각 2배 정도의 감도 증진이 일어남을 볼 수 있었다. 따라서 산 증식제를 첨가시키는 경우에 감도가 증진되는 효과를 확인할 수 있었고 hydroxy group을 한 쪽에 가진 1이 hydroxy group이 없는 2, 3에 비해 훨씬 더 효과적인을 알 수 있었다. 이런 감도 증진은 광산 발생제로부터 생긴 산이 산 증식제의 sulfonate group을

산촉매 분해시켜 부가적인 산이 생성되므로 일어나는 것으로 보고되어져 있다.⁸ 또한, 이소프로필리덴 디시클로헥산디올의 p-톨루엔술포산의 유도체를 산 증식제로 사용한 경우는 2배에서 4배 정도의 감도 증진이 있었지만,¹² 본 연구에서 합성한 산 증식제들의 큰 감도 증진은 메틸기를 전자끄는기인 비닐기로 치환하므로써 산촉매 분해시에 생성되는 산의 산도가 증진되어 일어나는 것으로 추정하고 있다. 따라서, 정확한 감도 증진의 효과를 규명하기 위하여 산 증식제의 치환기 효과에 대하여 앞으로 많은 연구가 요구된다.

결론

포지티브 포토레지스트의 감도 증진을 위한 산 증식제로 이소프로필리덴 디시클로헥산디올의 p-스티렌술포산 유도체로 4-hydroxy-4'-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(1), 4,4'-di-p-styrenesulfonyloxy isopropylidene dicyclohexane(2) 그리고 4-p-styrenesulfonyloxy-4'-tosyloxy isopropylidene dicyclohexane(3)를 합성하고 ¹H-NMR, FT-IR 및 원소분석으로 그 구조를 확인하였다. 1은 핵산을 제외한 모든 유기용매에 잘 녹아 용해성이 우수하고 특히 포토레지스트의 용매로 주로 사용하는 PGME, PGMEA 그리고 EL에 좋은 용해성을 나타내었고 2, 3은 약간 용해성이 떨어졌다. 이러한 산 증식제들은 물질 자체의 분해온도가 150 °C를 넘기 때문에 표준 레지스트 공정에서는 아무 문제가 없을 만큼의 열적인 안정성을 가짐을 DSC TGA thermograms으로 확인할 수 있었고 실리콘 웨이퍼에 코팅한 박막의 열적 안정성은 FT-IR spectrophotometer를 이용해 120 °C, 130 °C, 140 °C 각

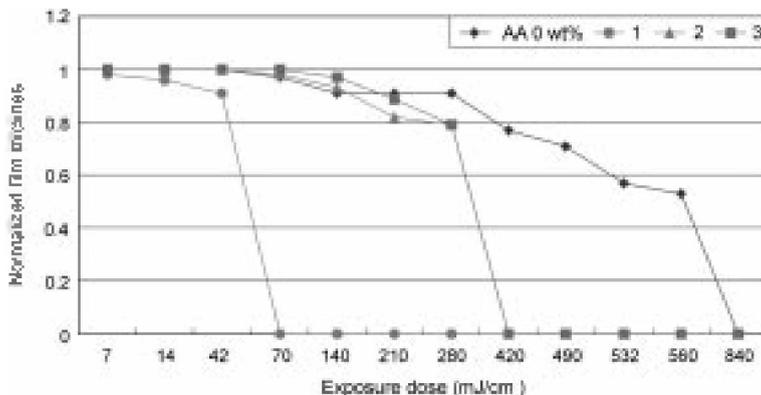


Fig. 6. Photosensitivity curves of PtBMA film doped with 5 wt% of acid amplifiers in the presence of 5 wt% DTSOTf as a photoacid generator (film thickness: 0.35 μm).

각의 온도에서 시간에 따른 특성 피크의 변화를 측정하여 결정하였다. 1과 2를 5 wt% 포합한 PIBMA film은 120 °C에서는 매우 안정하고 130 °C에서는 15분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정하였다. 그러나 3은 120 °C에서도 10분 이후에는 열분해가 일어나므로 1, 2에 비해서는 열적 안정성이 떨어짐을 알 수 있었다. 마지막으로 감도를 살펴보면, 산 증식제 1을 5 wt% 사용한 PIBMA 필름의 감도는 산 증식제를 사용하지 않은 필름에 비해 12배 정도의 감도 증진이 일어났으며, 산 증식제 2, 3을 5 wt% 사용한 경우에는 각각 2배 정도의 감도 증진이 일어남을 볼 수 있었다. 따라서 산 증식제를 첨가시키는 경우에 감도가 증진되는 효과를 확인할 수 있었고 1이 2, 3에 비해 훨씬 더 효과적임을 알 수 있었다.

인용문헌

1. Kaur, S.; Crivello, J. V.; Pascuzzi, N. *J. Polym. Sci.* **1998**, *37*, 199.
2. Bukofsky, S. J.; Feke, G. D.; Wu, Q.; Grober, R. D.; Dentinger, P. M.; Taylor, J. W. *Appl. Phys. Lett.* **1998**, *73*, 408.
3. Park, S. W.; Arimitsu, K.; Ichimura, K.; Ofuji, J. Y. *Photopolym. Sci. Technol.* **1999**, *12*, 293.
4. Park, S. W.; Arimitsu, K.; Lee, S. G.; Ichimura, K. *Chem Lett.* **2000**, 1036.
5. Huang, W. S.; Kwong, R.; Moreau, W. *Proc. SPIE.* **2000**, *3999*, 591.
6. Willson, C. R. G.; Dammel, A.; Reiser, A. *Proc. SPIE.* **1997**, *3049*, 28.
7. Ito, H.; Arimitsu, K.; Ichimura, K. *Macromol. Chem. Phys.* **2000**, *201*, 132.
8. Ohfuji, T.; Takahashi, M.; Kuhara, Ogawa, K.; Ohtsuka, H.; Sasago, M.; Ichimura, K. *Proc. SPIE.* **1999**, *3049*, 76.
9. Choi, S. J.; Kim, H. W.; Woo, S. G.; Moon, J. T. *Proc. SPIE.* **2000**, *3999*, 54.
10. Park, S. W.; Arimitsu, K.; Ichimura, K. *Macromol. Rapid Commun.* **2000**, 1050.
11. Arimitsu, K.; Ichimura, K. *Macromol. Chem. Phys.* **2001**, 453.
12. Jeong, Y. T.; Lee, E. J.; Park, J. Y. *J. Kor. Soc. Imaging Sci. Technol.* **2001**, *7*, 110.
13. Jeong, Y. T.; Lee, E. J.; Kuen, K. A. *J. Kor. Printing Soc.* **2002**, *20*, 91.