

193 nm에서 낮은 흡수도를 갖는 새로운 산 증식제의 합성 및 특성연구

Synthesis and Characterization of Novel Acid Amplifiers with a Low Absorbance at 193 nm

소진호¹, 정용석¹, 최상준², 정연태^{1,a}

(Jin Ho So¹, Yong Seok Jeong¹, Sang Jun Choi², and Yeon Tae Jeong^{1,a})

Abstract

1-Hydroxy-4-(2-naphthalenesulfonyloxy) cyclohexane(1), 1,4-di-(2-naphthalenesulfonyloxy) cyclohexane(2), 1-hydroxy-4-(2-thiophenesulfonyloxy) cyclohexane(3), 1,4-di-(2-thiophenesulfonyloxy) cyclohexane(4) were synthesized and evaluated for their performance as novel acid amplifiers for 193 nm photoresists. These acid amplifiers(1-4) showed reasonable thermal stability at the usual resist-processing temperature, 90 °C-120 °C. And estimated by the sensitivity curve, (1)-(4) enhanced the sensitivity of poly(*tert*-butyl methacrylate) film by 1.2-1.4 times, compared to poly(*tert*-butyl methacrylate) film without acid amplifiers, in the presence of a photoacid generator.

Key Words : Photoresist, Acid amplifier, Thermal stability, Photosensitivity, ArF excimer laser(193 nm)

1. 서 론

일반적으로 화학 증폭형 레지스트는 노광에 의해서 광산 발생제(Photoacid generator, PAG)로부터 산이 발생하게 되며, 이렇게 생성된 산의 양은 노광량에 비례해서 증가한다[1-4]. 화학 증폭형 레지스트에 산 증식제(Acid Amplifier, AA)를 첨가하여 산 발생량을 증가시킴으로써 감도 증진의 효과가 있다고 보고되었다[5-8]. 기존의 KrF excimer laser (248 nm)용 화학 증폭형 레지스트의 조성에 p-toluenesulfonate ester 화합물을 첨가하였을 경우 산 증식제로서의 역할을 잘 수행하여 감도 증진의 효과를 나타내지만 ArF excimer laser (193 nm)용 포토레지스트의 조성에서는 산

증식제로서의 효과가 거의 나타나지 않았다. 248 nm 포토레지스트용 산 증식제가 193 nm 용 포토레지스트에서 광감도 증진효과가 떨어지는 이유는 p-toluenesulfonate ester 화합물 내에 193 nm에서 높은 흡수를 보이는 p-toluenesulfonyl($\epsilon_{193}=29,000$) 그룹을 가지기 때문에 p-toluenesulfonate ester 화합물을 첨가한 포토레지스트의 표면에는 노광이 잘 일어나나 도포된 필름의 아래 부분은 표면만큼 충분한 노광을 받지 못하기 때문이다[9,10]. 그러므로 ArF(193 nm)용 레지스트에 사용할 산 증식제는 193 nm에 낮은 흡수를 하여야 한다는 전제 조건이 있다. 이처럼 193 nm에서 낮은 흡수도를 갖기 위해서는 193 nm 영역에서 강한 흡수를 보이는 벤젠고리가 다른 작용기로 대체되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 조건을 만족시키는 산 증식제를 개발하기 위하여 193 nm영역에서 낮은 흡수를 가지는 나프탈렌 고리($\epsilon_{193}=6,000$)와 티오펜 고리($\epsilon_{193}=3,700$)를 도입한 산 증식제의 구조를 설계하였다. 193 nm 포토레지스트용 새로운 산 증식제로 1,4-cyclohexanediol(CHD)의 2-naphthal-

1. 부경대학교 화상정보공학부
(부산시 남구 용당동 산100)

2. (주)삼성 반도체 연구소

a. Corresponding Author : ytjeong@pknu.ac.kr

접수일자 : 2004. 4. 28

1차 심사 : 2004. 5. 20

심사완료 : 2004. 6. 3

enesulfonate와 2-thio-phenesulfonate ester를 합성하고, 더 나아가서 산 증식제로서의 성능을 평가하고자 시도하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 분석기기

합성에 사용된 시약은 1,4-cyclohexanediol, 2-naphthalenesulfonyl chloride, 2-thiophenesulfonyl chloride는 Aldrich사에서 구입해 정제 없이 사용하였고, 염기 및 용매로 사용한 피리딘은 Junsei chemical사에서 구입해 그대로 사용하였다. 산에 민감한 고분자인 PtBMA는 tert-butyl methacrylate를 Aldrich사에서 구입하여 라디칼 중합을 하여 사용하였으며, DTSOTf (diphenyl-4-thiopheneoxyphenyl sulfonium triflate)는 (주)금호석유화학으로부터 기부 받아 더 이상의 정제 없이 사용하였다. $^1\text{H-NMR}$ spectrum은 JEOL JNM-ECP 400 MHz를 사용하여 측정하였고, 용매로는 CDCl_3 를 사용하였다. 원소분석은 Carlo Erba사 모델 CHNS/O 1108 원소분석기를 사용하여 helium 기류하에서 시행하였다. 녹는점은 Fisher사의 model IA-9100 용점측정기를 이용하여 측정하였으며 그 값은 보정없이 기록하였다. FT-IR spectrum은 BOMEM MB-100 분광계로 측정하였고, DSC/TGA 측정은 Perkin Elmer 7을 사용하여 승온속도 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 N_2 기류하에서 측정했다. 스핀 코터는 (주) E·H·C사의 SC-100을 사용하여 박막 코팅을 하였고, 200 W 고압력 수은 램프의 Karl suss MJB 3 노광기로 노광을 주었으며, 박막 두께는 Perkin Elmer사의 Lamda 40 UV/Vis spectrophotometer로 간섭법을 이용하여 측정하였다.

2.2 산 증식제의 합성

1-Hydroxy-4-(2-naphthalenesulfonyloxy)cyclohexane(1). 250 mL 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 48.5 mL와 1,4-cyclohexanediol(CHD) (0.03 mol, 3.48 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 이용하여 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 로 냉각시켰다. $0\text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 냉각이 되면 플라스크에 2-naphthalenesulfonyl chloride (0.03 mol, 6.80 g)를 첨가하고 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 24시간 동안 교반하면서 반응시켰다. 반응이 끝나면 생성된 염을 여과하여 제거하고 회전증발기로 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 감압 농축하여 피리딘을 제거하였다. 100 mL 얼음물을 넣고 80 mL CH_2Cl_2 로 2번 추출한 뒤, 10 % 염산 수용액 100 mL로 3번 씻어서

남아있는 피리딘을 제거하였다. 증류수 100 mL로 여러 번 씻어 산을 제거시켰다. 수세가 끝난 유기층을 무수 MgSO_4 로 건조시킨 다음 MgSO_4 를 제거하고, 감압 농축하여 용매를 줄인 뒤 ethyl acetate : hexane = 1 : 1(v/v) 혼합 용매를 이용해 실리카겔 판 크로마토그래피로 분리하였다. 진공오븐에서 24시간 건조하여 옅은 노란색 분말 형태로 생성물을 얻었다. yield: 32 %; IR(KBr, cm^{-1}): 3431 (-OH), 2942 (- CH_3), 1141 (SO_2); $^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3, \delta, \text{ppm})$: 8.49 (s, 1H), 7.98-8.00 (d, 1H), 7.82-7.84 (d, 1H), 7.68-7.71 (d, 2H), 7.64-7.66 (m, 2H), 4.59-4.61 (m, 1H), 4.13 (s, 1H), 3.71-3.72 (m, 1H), 0.81-2.05 (m, 8H); Found: C, 70.11; H, 5.83; S, 10.34. Calc. for $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{SO}_4$: C, 70.05; H, 5.87; S, 10.44.

1,4-Di-(2-naphthalenesulfonyloxy)cyclohexane(2). 250 mL 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 48.5 mL와 CHD (0.03 mol, 3.48 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 이용하여 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 로 냉각시켰다. $0\text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 냉각이 되면 플라스크에 2-naphthalenesulfonyl chloride (0.06 mol, 13.16 g)를 첨가하고 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 48시간 동안 교반 하면서 반응시켰다. 반응이 끝나면 위와 동일한 방법으로 분리하여 흰색 분말 형태로 생성물을 얻었다. yield: 38 %; mp: $145\text{ }^\circ\text{C}$; IR(KBr, cm^{-1}): 2940 (- CH_3), 1141 (- SO_2); $^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3, \delta, \text{ppm})$: 8.45 (s, 2H), 7.96-7.98 (d, 4H), 7.81-7.82 (d, 2H), 7.68-7.69 (d, 2H), 7.63-7.67 (m, 4H), 4.59-4.67(m, 2H), 1.20-2.05 (m, 8H); Found: C, 62.87; H, 4.76; S, 12.72. Calc. for $\text{C}_{26}\text{H}_{24}\text{S}_2\text{O}_6$: C, 62.90; H, 4.83; S, 12.90.

1-Hydroxy-4-(2-thiophenesulfonyloxy)cyclohexane(3). 250 ml 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 48.5 ml와 1,4-cyclohexanediol(CHD) (0.03 mol, 3.48 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 로 냉각시켰다. $0\text{ }^\circ\text{C}$ 이하로 냉각이 되면 플라스크에 2-thiophenesulfonyl chloride (0.03 mol, 5.48 g)를 첨가하고 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 24시간 동안 교반 하면서 반응시킨다. 반응이 끝나면 위와 동일한 방법으로 분리하여 옅은 노란색의 점성이 있는 시럽형태로 생성물을 얻었다. yield : 31 %; IR(KBr, cm^{-1}): 2942 (- CH_3), 1141 (- SO_2); $^1\text{H-NMR}(\text{CDCl}_3, \delta, \text{ppm})$: 7.70-7.71 (d, 1H), 7.66-7.67 (d, 1H), 7.11-7.13 (t, 1H), 4.69-4.70 (m, 1H), 4.21 (s, 1H), 3.73-3.74 (m, 1H), 0.89-2.03 (m, 8H); Found: C, 45.81; H, 5.28; S, 24.41. Calc.

for C₁₀H₁₄S₂O₄: C, 45.74; H, 5.33; S, 24.39.

4,4-Di-(2-thiophenesulfonyloxy)cyclohexane(4). 250 mL 삼구 둥근 바닥 플라스크에 피리딘 48.5 mL와 CHD (0.03 mol, 3.48 g)을 넣고 교반 시키면서 녹인 뒤 항온조를 0 °C로 냉각시켰다. 0 °C 이하로 냉각이 되면 플라스크에 2-thiophenesulfonyl chloride (0.06 mol, 10.96 g)를 첨가하고 0 °C에서 48시간 동안 교반 하면서 반응시킨다. 반응이 끝나면 위와 동일한 방법으로 분리하여 흰색 분말 형태로 생성물을 얻었다. yield: 36%; mp: 140 °C; IR(KBr, cm⁻¹): 2943 (-CH₃), 1141 (-SO₂); ¹H-NMR(CDCl₃, δ, ppm): 7.70-7.71 (d, 2H), 7.65-7.66 (d, 2H), 7.10-7.12 (t, 2H), 4.61-4.63 (m, 2H), 0.66-2.02 (m, 8H); Found: C, 41.32; H, 3.87; S, 31.41. Calc. for C₁₄H₁₆S₄O₆: C, 41.13; H, 3.91; S, 31.33.

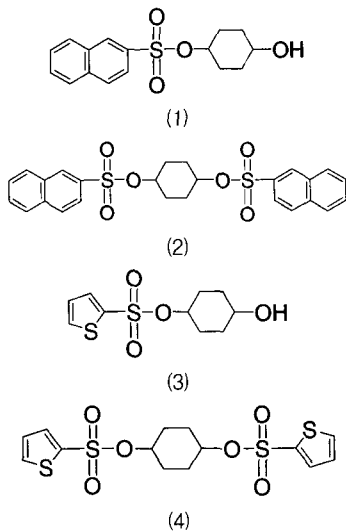


그림 1. 산 증식제의 구조.

Fig. 1. Structures of acid amplifiers.

2.3 박막상태의 열 안정성 결정

중류한 THF 용매에 합성한 산에 민감한 고분자인 PtBMA를 녹여 10 wt% 용액을 만들고 여기에 산 증식제와 광산 발생제인 DTSOTf를 각각 PtBMA의 5 wt%씩을 첨가시켜 완전히 녹인 다음 스핀 코터로(2500 rpm에서 7초, 1500 rpm에서 7초) 실리콘웨이퍼에 박막(0.2 μm)으로 코팅하였다. 박막의 열적 안정성은 FT-IR spectrophotometer를 이용해 110 °C, 120 °C, 130 °C 각각의 온도에서 시간에 따른 특성 피크의 변화를 측정하여 판정하

였다.

2.4 감도 결정

위와 같은 방법으로 코팅하여 0.2 μm 두께의 포토레지스트 필름을 얻은 후 70 °C에서 20분 동안 prebake를 하여 남은 용매를 제거하였다. 200 W 고압력 수은 램프의 Karl suss MJB-3 노광기를 이용하여 노광을 주고, 열 반응을 촉진시키기 위해 120 °C에서 2분 동안 post-exposure bake(PEB)를 하였다. PEB후 2.38 wt% TMAH 수용액으로 30초 동안 현상하고 증류수에 30초 동안 수세하였다. 건조 후에 잔존하는 박막의 두께를 측정하여 감도를 판정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용해도 성질

포토레지스트를 웨이퍼에 코팅할 때 박막을 형성하기 위해 균일한 용액상태로 사용된다. 따라서 감도 증진 효과를 얻기 위해 포토레지스트에 첨가되어지는 산 증식제도 포토레지스트 용매에 좋은 용해성을 가져야 공정이 간편하게 된다. 산 증식제로 합성한 고체물질인 (2), (4)를 유기용매에 3 wt% 용액을 만들어 용해성을 실험하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. (2), (4)는 모든 유기용매에 잘 녹아 우수한 용해성을 나타내었다. 특히 포토레지스트의 용매로 주로 사용하는 PGME, PGMEA 그리고 EL에도 좋은 용해성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

3.2 산 증식제의 열적 성질

산 증식제 (1), (3)은 점성을 가지는 시럽 물질이어서 시주차열량분석과 열중량분석(DSC/TGA)에 의한 열적 성질을 살펴볼 수 없었고, 산 증식제 (2)와 (4)에 대한 DSC/TGA 결과를 Table 2에 나타내었다. 분석한 녹는점은 각각 145 °C, 140 °C였으며 산 증식제 (2)와 (4)는 모두 녹기 시작하면서 분해가 시작되고 온도가 높아짐에 따라 점차 분해가 진행하는데 그 분해온도를 보면 (2)는 147 °C에서 (4)는 144 °C에서 분해가 일어나 열적 안정성이 우수함을 확인할 수 있었다. 그리고 산 증식제 (2)와 (4)는 분해온도가 130 °C를 넘기 때문에 표준 레지스트 프로세스에서는 아무 문제가 없을 만큼의 열적인 안정성을 가짐을 확인할 수 있었다.

표 1. 여러 용매에서 산 증식제의 용해도.
Table 1. Solubility of prepared acid amplifiers in a various solvents.

	(2)	(4)
Acetone	○	○
Benzene	○	○
Chloroform	○	○
Ethanol	○	○
Ethyl acetate	○	○
Ethyl ether	○	○
Methanol	○	○
Methylen Chloride	○	○
Hexane	○	○
THF	○	○
Toluene	○	○
PGME ^a	○	○
PGMEA ^b	○	○
EL ^c	○	○

- ^a propylene glycol monomethyl ether
- ^b propylene glycol monomethyl ether acetate
- ^c ethyl lactate

표 2. 산 증식제의 열적 성질.
Table 2. Thermal properties of acid amplifiers.

acid Amplifiers	Melting Temperature ^a	Decomposition Temperature ^a
(2)	145 °C	147 °C
(4)	140 °C	144 °C

^adetermined by DSC/TGA

3.3 산 증식제를 첨가한 PtBMA 필름의 열적 성질

산 증식형 포토레지스트로 사용하기 위해서는 PEB 공정 동안에 충분히 열적으로 안정해야 한다. 산 증식제를 포함한 PtBMA 필름의 열적 안정성을 측정하기 위하여 실리콘웨이퍼에 코팅을 하여 살펴 보았다. 산증식기가 열에 의하여 분해하면 1141 cm⁻¹의 산 증식기의 sulfonate ester에 있는 sulfonyl group의 vs=o symmetric 밴드가 감소하는 것을 그림 2에 나타내었다. 또한 열분해에 의

하여 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 산증식기의 1141 cm⁻¹의 sulfonyl group에 기인한 피크(그림 2의 A)가 줄어드는 현상을 이용하여 실리콘웨이퍼 자체의 특성 밴드인 611 cm⁻¹의 피크(그림 2의 B)를 기준으로 하여 열적 안정성을 결정하였다. 산 증식제 (3)의 경우는 상온에서도 불안정하기 때문에 필름상태의 열적 안정성을 측정할 수 없었고, 산 증식제 (1), (2), (4)의 필름상태의 열적 안정성의 결과는 그림 3, 4, 5 에 나타내었다. 이러한 결과들로부터 산 증식제 (1)은 120 °C에서 1분 이후부터 분해가 지속적으로 일어나는 것을 알수가 있다. 산 증식제 (2)를 5 wt% 포함한 PtBMA 필름은 120 °C에서 10분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정하였으며, (4)를 5 wt% 포함한 PtBMA 필름은 120 °C에서 5분까지는 감지할 만한 분해가 없이 안정함을 알 수 있었다. 산 증식제 (2), (4)는 일반적으로 포토레지스트 공정에 사용하는 120 °C의 soft bake 또는 PEB 온도와 시간 동안에는 아무 문제가 없을 정도의 열적 안정성을 가짐을 확인할 수 있었다.

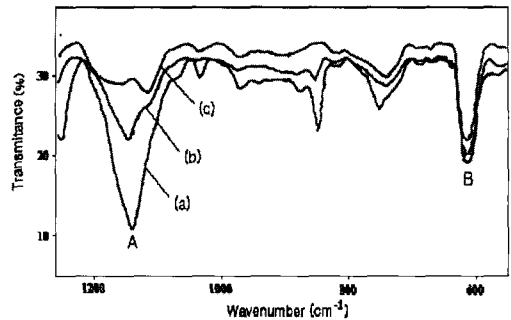


그림 2. 산 증식제 (4)와 DTSOTf를 각각 5 wt% 첨가한 PtBMA film을 130 °C에서 (a) 0, (b) 5, (c) 20 min 저장 후의 FT-IR 스펙트럼.

Fig. 2. FT-IR spectra of PtBMA film containing 5 wt% of acid amplifier (4) in the presence of 5 wt % DTSOTf aged for (a) 0, (b) 5, (c) 20 min at 130 °C.

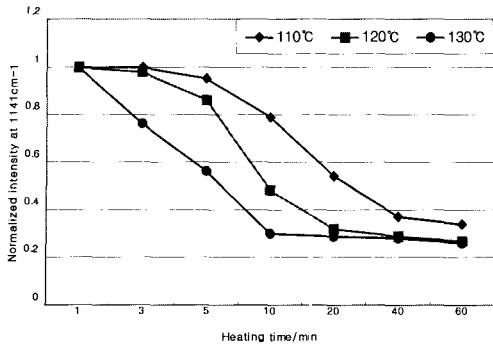


그림 3. 산 증식제 (1)과 DTSOTf를 각각 5 wt% 첨가한 PtBMA film의 여러 온도에서 시간에 따른 sulfonyl group의 감소 곡선.

Fig. 3. Time profile of the consumption of the sulfonyl group in PtBMA film containing 5 wt% of (1) in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperature.

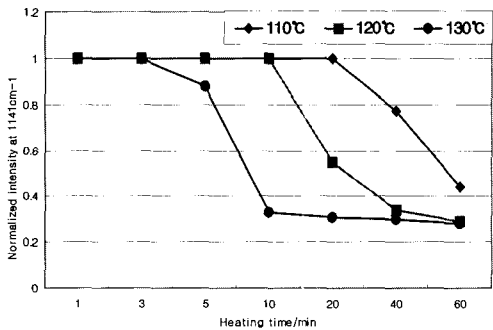


그림 4. 산 증식제 (2)와 DTSOTf를 각각 5 wt% 첨가한 PtBMA film의 여러 온도에서 시간에 따른 sulfonyl group의 감소 곡선.

Fig. 4. Time profile of the consumption of the sulfonyl group in PtBMA film containing 5 wt% of (2) in the presence of 5 wt% DTSOTf at various temperature.

3.4 감도 특성

포지티브 레지스트에서 감도는 현상에 의하여 노광부의 포토레지스트를 완전히 제거하는데 필요한 최소량의 노광량으로 정의된다. 산 증식제 (1),(3)은 120 °C에서 2분 동안 하는 PEB 공정에서의 열적 안정성 때문에 감도를 측정할 수가 없었고, 산 증식제 (2),(4)는 120 °C에서 2분 동안 PEB를 하여 감도

를 측정하였다. 감도 측정의 결과는 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 산 증식제 (2),(4)를 5 wt% 포함하는 PtBMA 필름과 산 증식제를 사용하지 않은 PtBMA 필름의 감도를 비교하면 각각 1.4배, 1.2배 정도의 감도 증진의 효과를 나타내었다. 이 결과들로부터 합성한 산 증식제 (2),(4)는 감도 증진의 효과를 나타냄을 알 수 있었다.

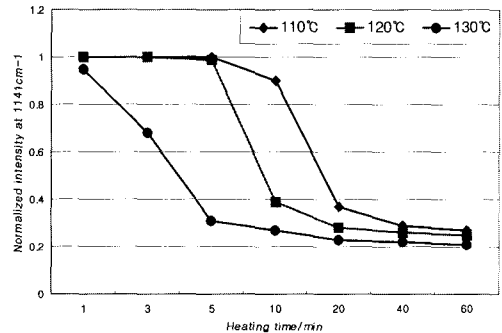


그림 5. 산 증식제 (4)와 DTSOTf를 각각 5 wt% 첨가한 PtBMA film의 여러 온도에서 시간에 따른 sulfonyl group의 감소 곡선.

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

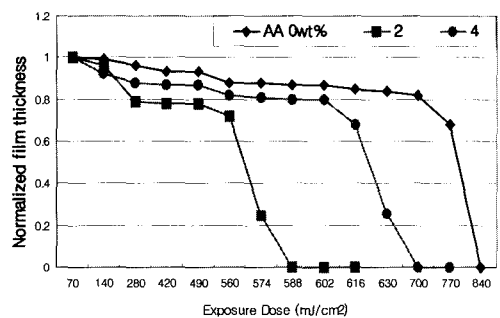


그림 6. 산 증식제 (2) 또는 (4)와 DTSOTf를 각각 5 wt% 첨가한 PtBMA film의 광감도 곡선.

Fig. 6. Photosensitivity curves of PtBMA film doped with 5 wt% of (2), (4) acid amplifiers in the presence of 5 wt% DTSOTf as a photoacid generator. (PEB at 120 °C for 2 min, film thickness : 0.2 μm)

4. 결론

193 nm용 포토레지스트의 감도 증진을 위한 산 증식제로 1,4-cyclohexanediol(CHD)의 2-naphthalenesulfonate와 2-thiophenesulfonate ester인 1-hydroxy-4-(2-naphthalenesulfonyloxy)cyclohexane(1), 1,4-di-(2-naphthalenesulfonyloxy)cyclohexane(2), 1-hydroxy-4-(2-thiophenesulfonyloxy)cyclohexane(3), 1,4-di-(2-thiophenesulfonyloxy)cyclohexane(4)를 합성하고 ¹H-NMR, FT-IR 및 원소분석으로 그 구조를 확인하였다. 합성한 산 증식제들은 유기용매에 용해성이 우수하고 포토레지스트의 용매로 주로 사용하는 PGME, PGMEA 그리고 EL에도 좋은 용해성을 나타내었다. 산 증식제 (2),(4)를 5 wt% 포함하는 PtBMA 필름의 열적 안정성은 PEB 공정 온도인 120 °C에서 5분 이상의 우수한 열적 안정성을 가짐을 알 수 있었다. 산 증식제 (2),(4)를 5 wt% 포함하는 PtBMA 필름과 산 증식제를 사용하지 않은 PtBMA 필름의 감도를 비교하면 각각 1.4배, 1.2배 정도의 감도가 증진되는 효과를 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] H. Ito, K. Arimitsu, and K. Ichimura, "4-(tert-Butoxy-carbonyloxy)benzyl p-toluenesulfonates as acid amplifiers applicable to chemically amplified photoresists", *Macromol. Chem. Phys.*, Vol. 201, p. 132, 2000.

[2] W. S. Huang, R. E. Kwong, and W. Moreau, "Acid amplifiers-proton transfer or direct acid formation", *Proc. SPIE*, Vol. 3999, p. 591, 2000.

[3] 정홍배, 허훈, 김태원. "A study on the characteristics of negative photoresist using inorganic a-Se75 Ge25 thin film", *전기전자재료학회지*, 1권, 4호, p. 296, 1988.

[4] T. Ohfugi, K. Nakano, and E. Hsegawa, "Reaction modeling of chemically amplified resist for ArF excimer laser lithography", *J. Val. Sci. Techhnol. B.*, Vol. 13(6), p. 3022, 1995.

[5] T. Ohfugi, M. Takahashi, Kuhara, K. Ogawa, H. Ohtsuka, M. Sasago, and K. Ichimura, "Acid amplification of chemically

amplified resists for 193nm litho-graphy", *Proc. SPIE.*, Vol. 3049, p. 76, 1999.

[6] S. B. Jo, C. W. Kim, J. S. Jeong, B. W. O, S. G. Park, and J. G. Lee, "The development of silylated photoresist etch process by enhanced-inductively coupled plasma", *J of KIEEME*, Vol. 15, No. 3, p. 227, March 2002.

[7] Y. T. Jeong, E. J. Lee, and J. Y. Park, "Synthesis and characterization of a novel acid amplifier", *J. Kor. Soc. Imaging Sci. Technol.*, Vol. 7, p. 110, 2001.

[8] Y. T. Jeong, E. J. Lee, and K. A. Kuen, "1-Hydroxy-4-tosyloxy cyclohexane and 1,4-ditosyloxy cyclohexane as acid amplifiers to enhance the photo-sensitivity of positive-working photoresists", *J. Kor. Printing Soc.*, Vol. 20(1), p. 91, 2002.

[9] D. C. Lee and J. K. Park, "A study on the E-beam resist characteristics of plasma polymered styrene", *J. of KIEEME*, Vol. 7, No. 5, p. 425, 1944.

[10] S. W. Park, K. Arimitsu, K. Ichimura, and T. Ohfugi, "Synthesis and characteristics of a novel acid amplifier with a low absorbance at 193 nm", *Photopolym. Sci. Technol.*, Vol. 12, p. 293, 1999.