Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 40, No. 3, pp. 279~285, 2003.

Sol-gel 법으로 제조된 강유전체 $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}O_9$ 박막의 저온결정화 공정

김영준† · 김병호
고려대학교 재료공학과
(2003년 2월 26일 접수; 2003년 3월 18일 승인)

Low Temperature Sintering Process of Sol-gel Derived Ferroelectric $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}O_9$ Thin Films

Young-Jun Kim† and Byong-Ho Kim
Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea
(Received February 26, 2003; Accepted March 18, 2003)

초 록

Sol-gel 법으로 200 nm 정도의 두께를 가진 강유전성 $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}$ 박막을 $Pt/TiO_2/SiO_2/Si$ 기판 위에 증착하였다. 본 실험에서는 $Sr(OC_2H_5)_2$, $Bi(TMHD)_3$, $Ta(OC_2H_5)_5$ 그리고, $Nb(OC_2H_5)_5$를 출발 물질로 사용하였으며 2-methoxyethanol을 용매로 사용하였다. UV 노광과 급속열처리가 SBTN 박막의 구조와 전기적 특성에 어떤 영향을 주는 가를 연구하였다. UV 노광과 급속열처리를 한 후에 650°C 열처리한 SBTN 박막의 3 V와 5 V 인가 전압하에서의 잔류분극 값은 각각 8.49와 11.94 $\mu C/cm^2$이었다.

ABSTRACT

Ferroelectric $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}$ thin films with 200 nm thicknesses were deposited on $Pt/TiO_2/SiO_2/Si$ Substrates by a sol-gel method. In these experiments, $Sr(OC_2H_5)_2$, $Bi(TMHD)_3$, $Ta(OC_2H_5)_5$ and $Nb(OC_2H_5)_5$ were used as precursors, which were dissolved in 2-methoxyethanol. After UV-irradiation and RTA processes, the remanent polarization value ($2P_r$) of SBTN thin films with annealed at 650°C was 8.49 and 11.94 $\mu C/cm^2$ at 3 V and 5 V, respectively.

Key words : Sol-gel method, UV-irradiation, RTA, SBTN thin film

1. 서 론

최근 layered-perovskite 족에 속하는 유전물질이 본질적으로 분극반전에 의한 피로열화가 없으며 Strontium Bismuth Tantalate(SBT)박막은 피로특성이 우수하고, 작동전압이 낮으며, 박막 두께가 얇기 때문에 고집접화된 비휘발성 메모리를 실현할 수 있는 가능성을 가지고 있다고 보고되고 있다.[1,2] 또한 층상페롭스카이트 구조에서 B site에 다른 원소를 치환함으로써 필요한 강유전체 특성을 얻기 위한 재료설계를 유연하게 할 수 있어 성막기술을 이용하여 박막화하는 연구가 진행되고 있으나,[3-5] 지금 까지 보고된 연구 결과로는 SBT 박막의 소결온도는 800°C 정도의 높은 온도가 요구되는 것으로 알려져 있으며 그 결과 많은 공극과 큰 입자로 된 박막이 형성되기 쉽다는 단점이 있다.[6]

†Corresponding author : Young-Jun Kim
E-mail : hikjun@kornet.net
Tel : +82-2-921-9237 Fax : +82-2-921-9237

고집적 강유전체 메모리를 실현하기 위해서는 패턴의 미세화나 배선층의 다층화와 함께 메모리 cell을 현재 실용화 되고 있는 planar 형으로부터 stack 형으로 변형시키는 것이 필요하다.[7] 그러나 SBT 박막의 소결과정에서 stack 용 내열성 poly-Si plug/barrier metal이 고온의 산소에 의해 쉽게 산화되고, 고온으로 인해 생성된 많은 공극과 큰 입자 구조을 가지는 박막은 강유전체를 이용한 capacitor의 정확한 신호를 인식하기가 어렵기 때문에 저온 성막화 공정이 필요하다.

또한 SBT는 PZT에 비해 상당히 낮은 잔류분극(P_r) 값을 가지기 때문에 좀더 높은 잔류분극(P_r) 값을 갖는 박막을 제조할 필요가 있다. SBT와 Strontium Bismuth Niobate(SBN)은 격자구조나 격자상수가 거의 동일하고 큐리온도는 각각 325°C, 440°C로 layered-perovskite 류의 T_C-P_S 선형의존성[8]을 고려해볼 때 SBT-SBN 고용체 즉 SBTN 형성은 큐리온도 증가와 강유전성의 향상이 기대된다.

Sol-gel 법에서 용액을 안정화 시키기 위해 사용하는 chelating agent와 chelate된 metal alkoxide는 π-π^* 결합에 의한 UV 흡수파장대를 나타낸다. 또한 spin coating후

SBT 박막 표면에 흡수 파장대의 UV를 조사할 경우 UV 노광된 부분은 M-O-M 결합을 형성하면서 2-methoxyethanol 과 같은 solvent에 대한 용해도가 급격히 낮아지게 된다.[9] 현재 이런 UV 노광효과를 이용하여 self-patterning에 대한 연구가 이뤄지고 있으며[10] UV 광반응에 대한 연구가 진행되고 있다.[11,12]

급속열처리(RTA)는 승온속도를 수백 °C/min 이상으로 하여 짧은 시간 동안 박막을 열처리하는 방법으로 SBTN 박막의 제조시 플루오라이트상이 형성되는 온도 영역을 빠르게 통과 함으로써 플루오라이트상의 형성을 억제하고 층상구조 페롭스카이트상의 seed layer를 형성하여 최종 열처리시 상전이를 촉진시켜 박막의 계면 특성과 표면의 미세구조를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 최종 열처리시 비스무스의 휘발을 억제하게 되어 조성의 조절이 용이하게 된다.[13-15]

본 연구에서는 층상페롭스카이트상의 B site 원소인 Ta를 Nb로 10% 치환함과 동시에 SBTN 박막의 결정화 온도를 낮추는 방법으로 UV 노광, 급속열처리방법등의 추가공정을 통해 박막을 형성하고 SBTN 박막의 결정성, 미세구조 및 전기적 성질을 비교, 검토하였다.

2. 실험방법

2.1. SBTN 용액의 합성 및 박막의 제조

본 연구에서 제조한 SBTN 코팅 용액은 sol-gel 법을 이용하였다. SBT의 조성은 Sr/Bi/Ta=0.9/2.1/2.0으로 고정하였고 유전적 성질을 향상시키기 위하여 Nb를 Ta에 대해 10% 치환하였다. 최종적인 조성은 Sr/Bi/Ta/Nb=0.9/2.1/1.8/0.2이다. 출발물질로는 strontium ethoxide[$Sr(OC_2H_5)_2$], tris (2,2,6,6-tetramethy-3,5-heptanedionato)bismuth[$Bi(TMHD)_3$], tantalum ethoxide[$Ta(OC_2H_5)_5$]와 niobium ethoxide[$Nb(OC_2H_5)_5$]를 사용하였다. 용매로는 2-methoxyethanol($CH_3OCH_2CH_2OH$)을 사용하였다. 수분에 민감한 alkoxide를 안정화시킴과 동시에 UV 흡광 효과를 얻기 위해 chelating agent로는 β-diketone 물질인 Ethylacetoacetate(EAcAc)을 사용하였고 가수분해시 반응을 촉진시키기 위하여 촉매로 질산(HNO_3)을 첨가하였다. 또한 박막의 코팅성을 향상시키기 위해 DCCA(Drying Control Chemical Additive)의 일종인 butandiol($CH_3(OH)CH_2CH_2OH$)을 첨가하였다.

제조된 SBTN sol 용액은 코팅에 적합한 성질을 지녔으며 최종 농도는 0.2 M로 고정하였다. 기판은 Pt가 200 nm, TiO_2가 40 nm의 두께로 증착되어 있는 $Pt/TiO_2/SiO_2/Si$ 기판을 사용하였다. 스핀코팅은 3500 rpm의 회전속도로 30초간하였으며, UV 노광은 UV lamp(Oriel Instrument, 6285)를 사용하여 200 W에서 10분간 노광하였다. 그 후 유기물의 탈리를 위해 400°C에서 5분간 열처리 하였다. 상전이를 촉진시켜 박막의 유전적 특성을 향상시기기 위해서 RTA는 760°C, 5 Torr 압력하에서 60초간 산소분위기에서 해주었다. 이러한 공정을 2회 반복하여 약 200 nm 정도의 두께를 갖는 SBTN 박막을 제조 하였다. 박막의 완전한 결정화를 위해서 650°C 산소 분위기에서 1시간 동안 로열처리 하였다, 이후 스퍼터링법으로 Pt 상부전극을 증착 후 전기적 성질을 회복하기 위해 650°C의 산소 분위기에서 30분간 후열처리 하였다.

시편은 UV 노광공정과 RTA 공정이 박막에 어떠한 영향을 주는 지를 알아보기 위해 UV 노광 및 RTA 공정을 사용하지 않은 시편, UV 노광공정을 사용한 시편, RTA 공정을 사용한 시편 그리고, UV 노광 및 RTA 공정을 함께 사용한 시편을 각각 제조 하였다. 위의 공정에 대한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. SBTN 박막의 특성분석

SBTN 박막중의 유기물의 탈리를 위한 중간열처리(baking) 온도를 결정하기 위하여 SBTN 젤 분말을 TG-DSC(Setaram TGA 92 16-18)분석을 하였다. 제조한 SBTN 박막의 조성분석은 EPMA(JXA-8990R, JEOL)를 사용하였다. 추가공정에 따른 SBTN 박막의 상전이 거동을 알아 보기 위하여 Philips의 PW 1710 XRD 기기를 이용하여 40 kV, 30

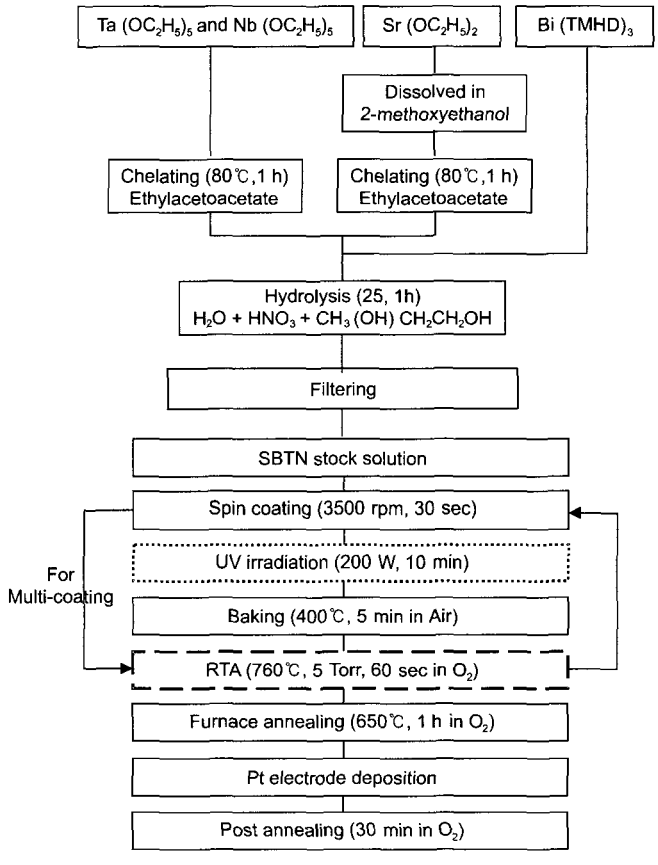

Fig. 1. Experimental procedure for the preparation of SBTN thin films.

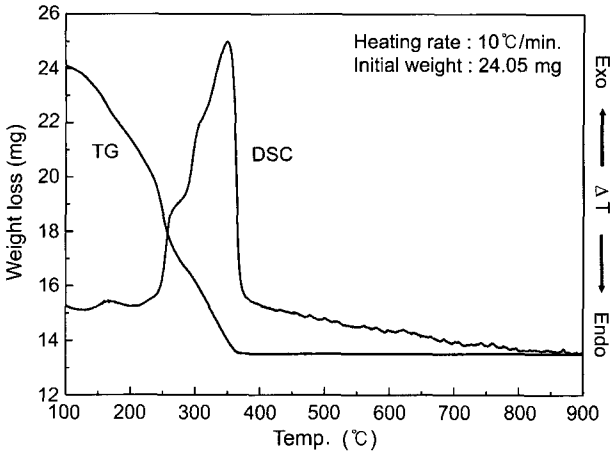

Fig. 2. TG-DSC curves of SBTN gel powder.

mA, CuKα(λ=1.5418)로 2θ는 0.02°씩 증가시키고 각 step에서 5초간 유지시켜가며 step mode로 27~35° 범위에서 X-선 회절 분석를 하였다. 이때 박막표면에 대한 미세구조를 SEM(Hitachi, S-4200)과 AFM(Park Scientific, M5)을 이용하여 관찰하였다. 박막의 전기적 특성을 측정하기 위해서 RT66A(Radient Technologies, Inc)를 사용하여 P-V 이력곡선을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. SBTN 젤 분말의 TG-DSC 분석 및 SBTN 박막의 EPMA 분석

원하는 두께를 얻기 위한 다층 코팅시 중간 열처리를 통한 유기물 탈리에 적합한 온도를 결정하기 위해 SBTN 용액을 강제로 젤화 시켜 얻은 분말을 10°C/min의 승온 속도로 대기중에서 TG-DSC 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이 결과로부터 약 400°C 부근에서 모든 유기물의 탈리가 일어나는 것으로 보이며 이 결과로부터 다층코팅을 위한 가장 적합한 중간열처리 온도를 400°C로 하였다.

Table 1에는 SBTN 박막에 각종 공정을 추가시켰을 때 조성의 변화를 확인하기 위해 EPMA 분석 결과를 나타냈다. SBTN 박막의 Sr, Bi, Ta 및 Nb의 조성비를 3회 측정한 후 평균 조성비를 계산하였다. 이때 EPMA의 측정 오차 범위는 ±0.1 몰분율이었다. UV와 RTA 공정을 하지 않는 시편의 몰분율은 Sr/Bi/Ta/Nb=0.94/2.09/1.77/0.21, UV 공정을 추가한 시편의 몰분율은 Sr/Bi/Ta/Nb=0.93/2.08/1.78/0.21, RTA 공정을 도입한 시편의 몰분율은 Sr/Bi/Ta/Nb=0.96/2.09/1.79/0.20, 그리고 UV와 RTA 공정을 함께 도입한 시편의 몰분율은 Sr/Bi/Ta/Nb=0.95/2.09/1.80/0.21의 비율로 거의 같은 값을 나타내고 있어 UV, RTA 공정의 도입에 의한 SBTN 박막의 조성변화는 없는 것으로 확인됐다.

Table 1. EPMA of $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}O_9$ Thin Films with Various Processes

UV : UV-irradiation, RTA : Rapid Thermal Annealing.

	Number analysis	Composition (rel. to O_9)			
		Sr	Bi	Ta	Nb
Normal	1	0.9447	2.0939	1.7796	0.1980
	2	0.9408	2.0869	1.7673	0.2103
	3	0.9433	2.0852	1.7682	0.2073
	Average	0.9429	2.0887	1.7717	0.2052
UV	1	0.9456	2.0801	1.7934	0.1923
	2	0.9111	2.0893	1.7769	0.2109
	3	0.9186	2.0840	1.7778	0.2165
	Average	0.9251	2.0845	1.7827	0.2059
RTA	1	0.9597	2.0899	1.7967	0.1893
	2	0.9417	2.0965	1.7859	0.2034
	3	0.9678	2.0881	1.7916	0.1926
	Average	0.9564	2.0915	1.7914	0.1951
UV+RTA	1	0.9585	2.0881	1.8030	0.1848
	2	0.9363	2.0848	1.7946	0.2040
	3	0.9672	2.0850	1.7919	0.1974
	Average	0.9540	2.0860	1.7965	0.2074

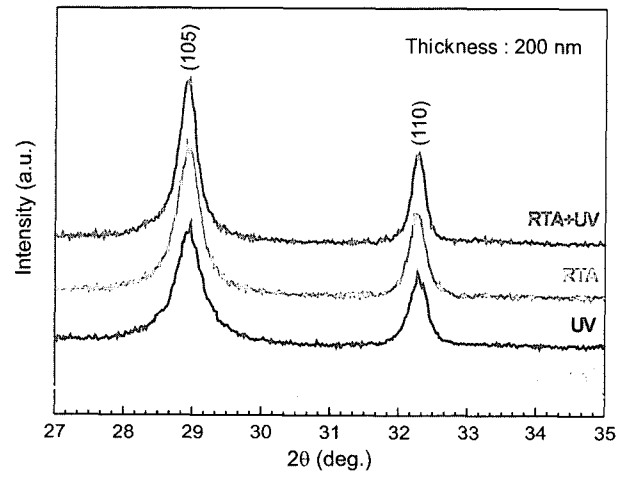

Fig. 3. XRD patterns of SBTN thin films with various processes annealed at 650°C for 1 h.

3.2. SBTN 박막의 상전이 거동 및 미세구조

Fig. 3에 각종 추가공정에 따른 SBTN 박막의 XRD 분석결과를 나타내었다. 플루오라이트상은 발견되지 않았으며 Ta를 일부 Nb로 치환하고 UV와 RTA 공정이 추가됨에 따라 주피크인 (105)와 (110) 피크 강도가 커져 SBTN 상이 잘 형성되고 있음을 알 수 있다. SBTN 박막의 경우 a, b축으로 성장한 것이 c축 성장을 한 것보다 우수한 강유전특성을 나타내는 것으로 알려져 있다.[16] SBT 박막의 XRD 패턴에 나타나는 (008) 피크가[17] 보이지 않아 c

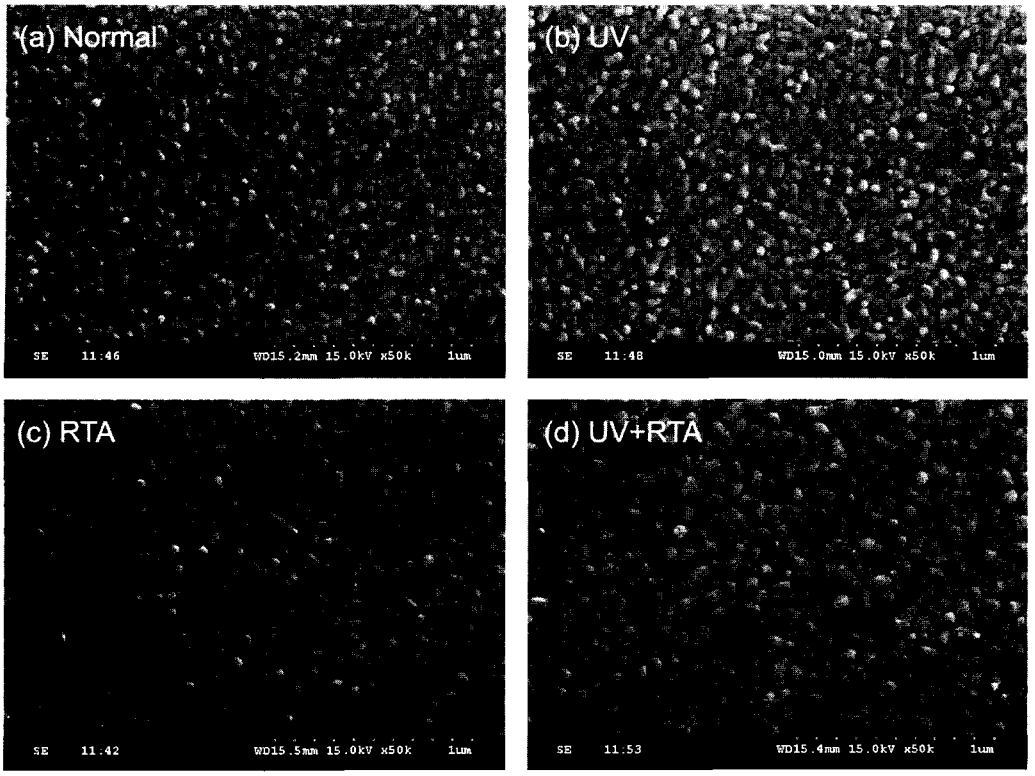

Fig. 4. SEM micrographs of SBTN thin films with various process annealed at 650°C for 1 h.

축 배향성이 없는 것으로 생각되어 UV와 RTA의 추가 공정에 의해 더 우수한 강유전성을 나타낼 것이라고 예상된다.

Fig. 4는 공정 변화에 따른 SBTN 박막의 표면 미세구조 변화를 주사 전자 현미경을 이용하여 관찰한 것이다. UV, RTA 공정을 사용하지 않는 시편에서는 직경이 77 nm 정도의 작고 둥근 결정립들이 산재해 있는 것을 알 수 있다. UV 공정, RTA 공정과 UV 및 RTA 공정이 진행될수록 결정립 크기가 커지며 직경이 154 nm 정도의 타원형으로 성장하는 것을 알 수 있다. 이는 UV 공정에 의한 M-O-M 중합반응이 활성화 되고 RTA 공정에 의한 seed layer가 형성되어 층상 페롭스카이트상으로의 상전이를 촉진시켜 결정성장에 도움을 주었다는 것을 의미한다. UV와 RTA 공정을 함께 사용한 경우 결정립의 크기가 증가하면서 공극이 약간 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 UV와 RTA 공정을 함께 사용한 SBTN 박막의 단면을 관찰한 것이다. 이 단면 SEM 사진으로 알 수 있듯이 SBTN 박막이 200 nm로 균질하게 코팅된 것을 관찰할 수 있다

Fig. 6은 공정을 달리하여 제조한 SBTN 박막을 650°C에서 로열처리한 후 표면의 거칠기를 측정하기 위하여 AFM을 이용하여 관찰한 결과이다. 이 그림에서 보는 것처럼 공정을 추가 할수록 박막의 표면이 거칠어져 SBTN 결정화가 촉진된 것으로 생각된다.

Table 2에 각종 공정을 추가 함에 따른 RMS(Root Mean Square) 및 평균 roughness를 나타내었다. UV, RTA 공정을 사용하지 않은 시편의 경우 RMS(Root Mean Square)

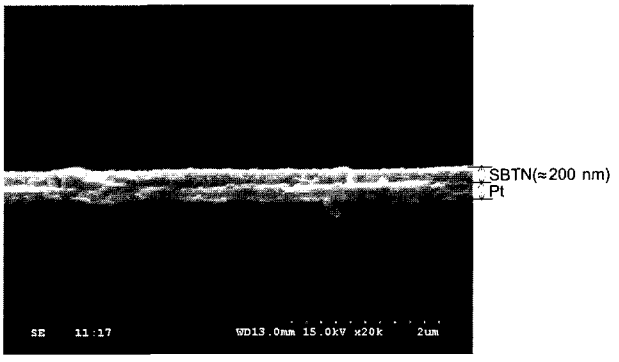

Fig. 5. SEM micrographs of cross section of SBTN thin films with UV+RTA process annealed at 650°C for 1 h.

Table 2. Roughness of SBTN Thin Films with Various Process

UV : UV-irradiation, RTA : Rapid Thermal Annealing

Process	Furnace annealing temp. (650°C)			
	Normal	UV	RTA	UV+RTA
RMS roughness (Å)	38.9	40.3	50.7	55.0
Average roughness (Å)	31.1	32.2	40.0	42.4

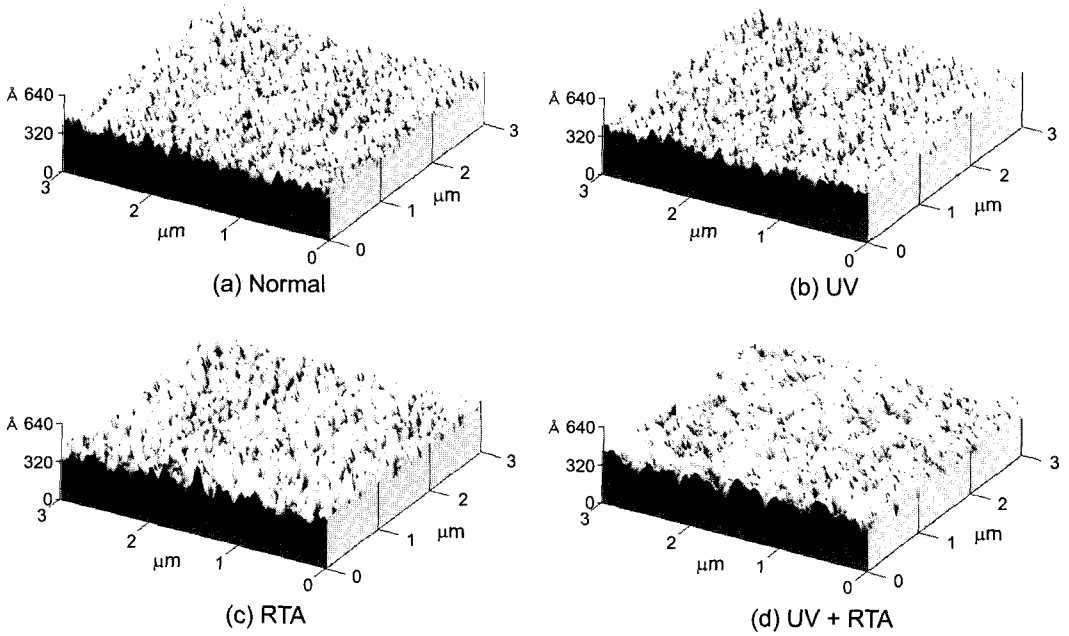

Fig. 6. AFM images of SBTN thin films with different processes annealed at 650°C for 1 h.

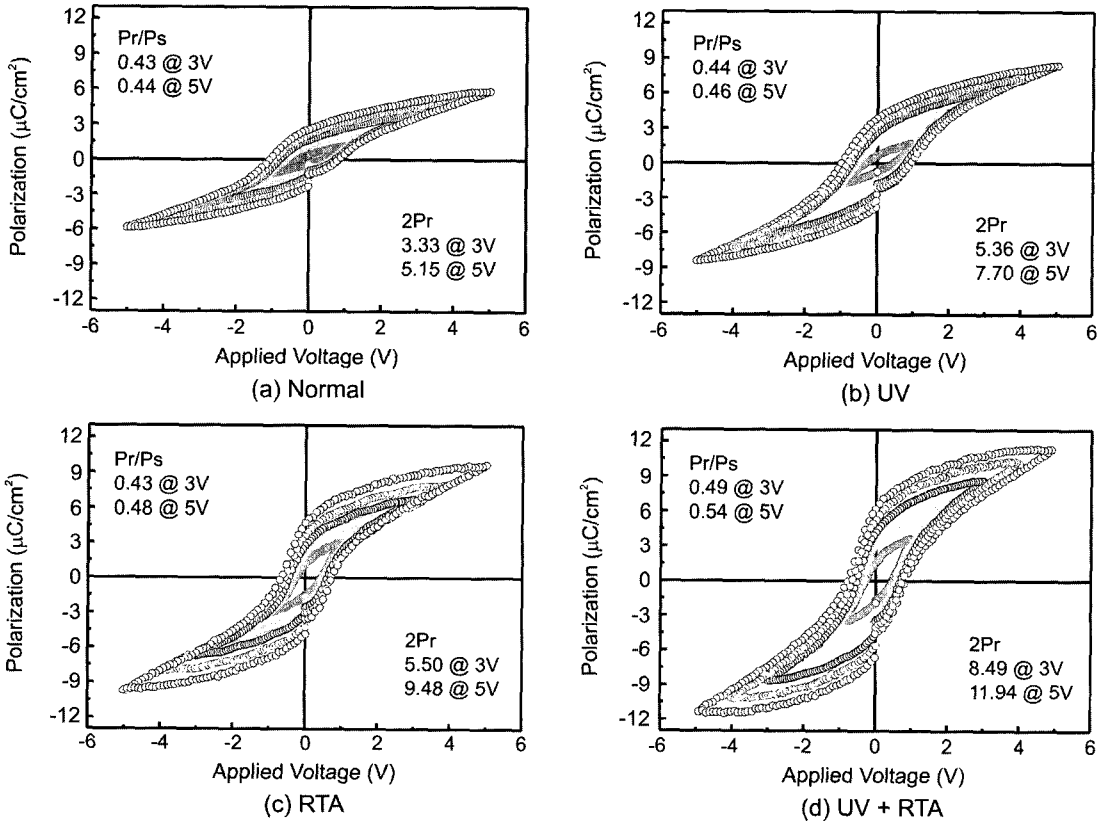

Fig. 7. Hysteresis loops of SBTN thin films with various processes.

roughness 및 평균 roughness는 38.9 Å, 31.3 Å이었으나 UV 및 RTA 공정을 추가한 시편은 55.0 Å, 42.4 Å으로 증가하였다.

3.3. SBTN 박막의 이력특성 분석

Fig. 7은 $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_{1.8}Nb_{0.2}O_9$ 조성의 용액을 이용해서 제조한 박막의 공정변화에 따른 P-V 곡선이다. 박막은 각

Table 3. Summary of P-V Curve Values of SBTN Thin Films with Various Processes

UV : UV-irradiation, RTA : Rapid Thermal Annealing

Process		Furnace annealing temp. (650°C)			
		Normal	UV	RTA	UV+RTA
Ps+/Pr+	at 3 V	0.43	0.44	0.42	0.49
	at 5 V	0.44	0.46	0.48	0.54
2Pr ($\mu C/cm^2$)	at 3 V	3.33	5.36	5.50	8.49
	at 5 V	5.15	7.70	9.48	11.94

각의 추가 공정 후 Pt 상부전극을 스퍼터링법으로 증착하였고 그 후 650°C에서 30분간 산소 분위기에서 후열처리를 동일하게 하였다. 공정이 추가 됨에 따라 이력곡선이 포화되는 경향을 볼 수 있다. 이는 공정들이 추가됨에 따라 결정립의 크기의 증가에 의한 것이라고 생각된다. UV 공정을 사용한 경우 5 V, 3 V의 인가 전압하에서 hysteresis loop의 포화정도를 나타내는 squareness(Pr+/Ps+) 값이 0.46, 0.44이고 $2P_r$ 값은 7.70 $\mu C/cm^2$, 5.36 $\mu C/cm^2$이었고, RTA 공정을 사용한 경우 5 V, 3 V의 인가 전압하에서 squareness (Pr+/Ps+) 값이 0.48, 0.43이고 $2P_r$ 값은 9.48 $\mu C/cm^2$, 5.50 $\mu C/cm^2$이었다 UV와 RTA 공정을 함께 사용한 경우 5 V, 3 V의 인가 전압하에서 squareness(Pr+/Ps+)값이 0.54, 0.49이고 $2P_r$ 값은 11.94 $\mu C/cm^2$, 8.49 $\mu C/cm^2$이었다. 공정이 추가 됨에 따라 강유전성이 향상되는 경향을 나타내었다. 이상의 결과는 Ta를 일부 Nb로 치환함에 따른 큐리온도 상승에 의한 강유전성 증가와 UV 및 RTA 추가 공정 도입에 따른 결정립의 성장이 공극 생성에 따른 전기적 특성 저하를 상쇄하는 결과라고 생각된다.

Table 3은 SBTN 박막의 공정변화에 따른 $2P_r$과 squareness(Pr+/Ps+)를 비교한 것이다. 공정이 추가 됨에 따라 $2P_r$과 squareness(Pr+/Ps+)가 증가하는 경향을 보이나 RTA 공정을 사용한 경우 3 V에서 약간 감소하는 것을 볼 수 있다 이는 결정립이 커지면서 공극 증가와 roughness의 증가에 따른 것이라 생각된다.

4. 결 론

강유전성 SBT 박막의 결정화 온도를 낮추기 위하여 솔-젤 법을 이용하여 Ta를 일부 Nb로 치환하고 UV, RTA 공정을 도입하므로써 SBTN의 층상 페롭스카이트 상으로의 상전이를 촉진 시켜주어 650°C의 낮은 열처리에서도 SBTN 결정화가 이루어졌고 결정립의 크기는 50% 정도 증가하였다. 5 V 인가 전압하에서 잔류분극($2P_r$) 값과 squareness (Pr+/Ps+)값이 각각 11.94 $\mu C/cm^2$와 0.54로 UV와 RTA 공정을 도입하지 않은 경우보다 57%와 19% 정도 더 향상된 전기적 특성을 나타냈다. 이와 같은 저온 결정화 공정은 고집적된 강유전성 메모리에 적용한다면 제조 기술의 향상에 기여할 수 있을 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 고려대학교 특별연구비(K0183700)에 의하여 수행된 것이며, 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. C. A. Paz de Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. McMillan, M. C. Scott, and J. F. Scott, "Fatigue-free Ferroelectric Capacitors with Platinum Electrodes," *Nature*, **374** 627-29 (1995).
2. T. Li, Y. Zhu, S. B. Desu, C. H. Peng, and M. Negata, "Metalorganic Chemical Vapor Deposition of Ferroelectric $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **68** [5] 616-18 (1996).
3. K. Amanuma, T. Hase, and Y. Miyasaka, "Preparation & Ferroelectric Properties of $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **66** [2] 221-23 (1995).
4. O. Auciello, "A Critical Comparative Review of PZT and SBT-based Science and Technology for Non-volatile Ferroelectric Memories," *Integrated Ferroelectrics*, **15** 211-20 (1997).
5. C. Dehm, W. Hartner, G. Schindler, R. Bergmann, B. Hasler, I. Kasko, M. Kastner, M. Schiele, V. Weinrich, and C. Mazure, "Review of $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films Capacitor Processing," *Integrated Ferroelectrics*, **26** 197-213 (1999).
6. K. H. Kim, B. G. Yo, and H. C. Lee, "FRAM IC Card Technology" *Daeyeongsa,* 135 (2001).
7. S. Ohnishi, K. Ishihara, Y. Ito, S. Yokoyama, J. Kudo, and K. Sakiyama, "A Half-micron Ferroelectric Memory Cell Technology with Stacked Capacitor Structure," *Technical Digest of the IEDM94*, 843 (1994).
8. K. Singh, D. K. Bopardikar, and D. V. Atkare, *Ferroelectrics*, **82** 55 (1988).
9. N. Tohge and Y. Takama, "Direct Fine-patterning of PZT Thin Films Using Photosensitive Gel Films Derived from Chemically Modified Metal-alkoxides," *J. of Mater. Sci.*, **10** [4] 273-77 (1999).
10. K. H. Yang, T. H. Park, T. Y. Lim, and B. H. Kim "A Study on Fabrication of Photosensitive $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_2O_9$ Thin Film by Sol-gel Self-patterning Technique," *J. Kor. Ceram. Soc.* **39** [8] 750-57 (2002).
11. T. Hayashi and D. Togawa, "Preparation and Properties of $SrBi_2Ta_2O_9$ Ferroelectric Thin Films Using Excimer UV Irradiation and Seed Layer," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40** 5585-89 (2001).
12. K. Nichizawa, T. Miki, K. Suzuki, and K. Kato, "Novel Chemical Processing for Crystallization of $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films via UV Irradiation," *J. Mater. Lett.*, **52** 20-3 (2002).
13. K. Wadanabe, M. Tanaka, N. Nagel, K. Katori, M. Sugiyama, H. Yamoto, and H. Yagi, "Development of a New Annealing Process to Allow New Top Electrode Materials for $SrBi_2Ta_2O_9$ Capacitors," *Integrated Ferroelectrics*, **17**

451-60 (1997).
14. S. P. Song, B. K. Sun, and B. H. Kim "Low Temperature Formation of Ferroelectric $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_2O_9$ and $Sr_{0.9}Bi_{2.1}(Ta_{0.9}Nb_{0.1})_2O_9$ Thin Films by Sol-gel Process," *Proceeding of Workshop on Ferroelectrics and FRAM Technology*, 117-20 (2000).
15. Y. Ito, M. Ushikubo, S. Yokoyama, H. Matsunaga, T. Atsuki, T. Yonezawa, and K. Ogi, "New Low Temperature Processing of Sol-gel $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films," *Integrated Ferroelectrics*, **14** 123-31 (1997).
16. T. Li, Y. Zhu, and S. B. Desu, "Metaloganic Chemical Vapor Deposition of Ferroelectric $SrBi_2Ta_2O_9$ Thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **68** [5] 616-18 (1996).
17. T. H. Park, "A Study on Fabrication of Photosensitive $Sr_{0.9}Bi_{2.1}Ta_2O_9$ Thin Film by Sol-gel Self-patterning Technique(*in Kor.*)," PP. 70-2, in Ph.D. Thesis, Korea University, Seoul (2002).