

2003 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 영상판의 광자극발광 특성

Photostimulated Luminescence of SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ Imaging Plate

김성환 · 김 완 · 강희동
경북대학교 물리학과, 대구 702-701

김도성
대구대학교 물리교육학과, 경산 713-714

서효진 · 도시홍
부경대학교 물리학과, 부산 608-737

요 약

SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 광자극발광 영상판을 제작하여 그 특성을 조사하였다. 이 영상판은 디지털 X-선 영상에 사용할 수 있으며, 방사선에 대한 감도가 높고, 넓은 동적영역을 가진다. SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 영상판의 광자극발광 스펙트럼 파장범위는 380~440 nm 이었으며, 최대 피크 파장은 407 nm 이었다. 영상판의 광자극발광 강도는 상온에서 120 분 동안 약 40 % 감소하였으며, 공간분해능은 2.1 lp/mm 이었다.

Abstract

SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ photostimulated luminescence(PSL) imaging plates(IP) were fabricated and its characteristics were investigated. The IP has been available for digital X-ray radiography which has high sensitivity and wide dynamic range. The PSL emission spectra of SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ imaging plates locate in the range of 380 ~ 440 nm, peaking at 407 nm. The PSL intensity of the imaging plate faded to approximately 40 % after 120 min at room temperature and the spatial resolution of the imaging plate is 1.68 lp/mm.

I. 서론

광자극발광(photostimulated luminescence, PSL) 현상은 1898년에 Philip E. Lenard 에 의해 발견되었으며, 1980년 초 Computed Radiography System이 개발·상용화되면서 이에 대한 연구가 활성화되었다^[1-4]. 현재 외국에서는 KBr:In^[5], KCl:Eu^[6], RbBr:Tl^[7], RbI:Tl^[8] 및 NaCl:Cu^[9] 등과 같은 알칼리 할라이드계 형광체, CaS:Eu, Sm, CaS:Ce, Sm, SrS:Eu, Sm, Ca_xSr_{1-x}S:Eu, Sm 등의 II-VI족 화합물 형광체^[10-15] 및 Y₂SiO₅:Ce³⁺^[16]와 같은 광자극발광 형광체에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 광자극발광 형광체를 이용한 영상판(image plate, IP)은 X-선, γ -선, 전자선, α -선, β -선, 중성자선, 중이온 등 여러 가지 방사선에 대해 감도가 우수하고, 넓은 동적영역(dynamic range)을 가지며, 재사용이 가능하고, 디지털화된 영상을 얻을 수 있어서 진단 X-선 영상, X-선 회절, 단백질 결정학, 투과전자현미경, 오토라디오 그래피 등 여러 분야에서 폭넓게 활용되고 있다.

본 연구에서는 SrCl₂:Eu²⁺ 광자극발광 형광체^[17]에 Na⁺ 이온을 첨가하여 광자극발광 강도를 증가시킨 SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 형광체를 제조하고, 영상판으로 제작하여 광자극발광 스펙트럼, fading 특성, 선량의존성, 공간분해능 등의 특성을 조사하였다.

II. 실험 및 결과

1. 영상판의 제작 및 측정

모체인 SrCl₂·6H₂O 에 활성제로 EuF₃와 NaF를 첨가하여 습식혼합한 후 고상반응으로 SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 광자극발광 형광체를 제조하고, 제조된 형광체를 이용하여 IP를 제작하였다(그림 1). 이때 활성제인 EuF₃와 NaF의 최적 농도는 각각 0.5 mol% 및 0.1 mol% 이었으며, 최적 소결온도와 시간은 수소분위기에서 850 °C, 45분 이었다^[17]. 최적조건으로 제조된 SrCl₂:Eu²⁺,Na⁺ 광자극발광 형광체를 입자크기가 45 ~ 75 μ m인 입자만 선별한 후 10 × 10 cm² 의 정사각형 PET 표면에 약 600 μ m 두께로 도포하여 영상판을 제작하였다.

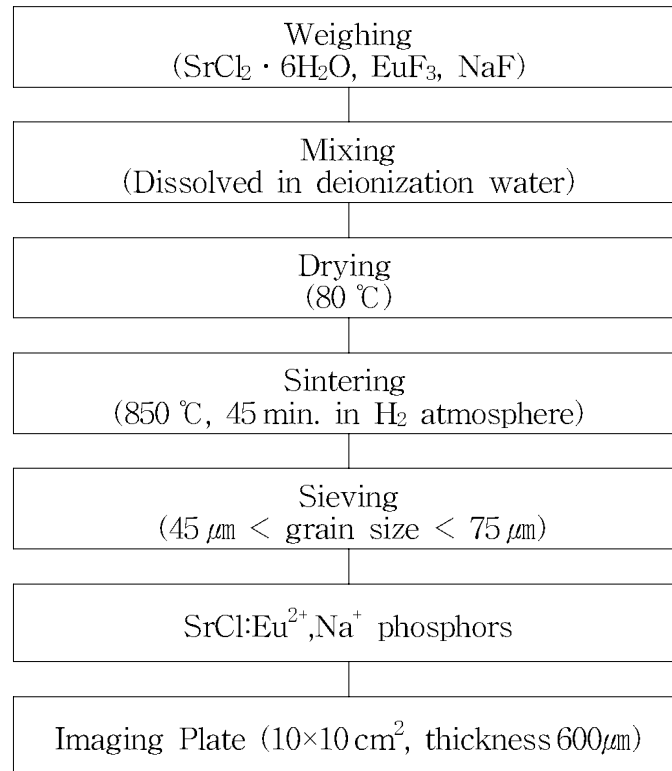


Fig. 1. Preparation process of $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Na}^+$ imaging plate.

광자극발광 스펙트럼은 광전자증배관(Hamamatsu R928)이 부착된 monochromator (SPEX, ARC, 22.5cm)를 사용하여 측정하였다. 광자극발광 측정시 1차 여기광원으로 Nd-YAG 레이저(spectron laser sys.; SL800, 3rd harmonics 355 nm 5 mW), 2차 여기광원으로 He-Ne 레이저(633 nm 35 mW)를 사용하였다. 2차 여기광원에 의하여 발생된 광자극발광 신호는 전류증폭기 (Keithely 427)를 거쳐, lock-in amp. (Stanford SR530)로 증폭된 후 컴퓨터로 입력·분석되었다^[17]. 제작된 영상판은 X-선 발생장치(DXG 325R, DongA Co.)를 사용하여 X-선을 조사한 후, 영상판독기(Bas 1000, Fuji 社)로 영상을 획득하였다.

2. 실험 결과 및 고찰

1) 영상판의 광자극발광 스펙트럼

그림 2는 제작한 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Na}^+$ 형광체의 광자극발광 스펙트럼과 1차 및 2차 여기광의 스펙트럼이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 영상판의 발광 파장 범위와 피크 파장은 각각 380 ~ 440 nm와 407 nm로 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}$ 형광체의 발광파장 및 피크 파장과 동일하였다.^[17] Na^+ 이온은 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}$ 형광체에서 광자극발광 강도에만 영향을 주었으며, 광자극발광 파장에는 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다. 광자극발광 파장범위가 2차 여기광

(파장 633 nm)의 스펙트럼과 잘 분리되므로 이 영상판은 X-선 영상을 판독할 때 2차 여기광의 영향을 쉽게 제거할 수 있으므로 안정된 X-선 영상을 얻을 수 있다. 또한 상용 CR에서도 633 nm의 He-Ne 레이저를 2차 여기광으로 사용하므로, 개발된 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ 광자극발광 영상판은 기존 CR 시스템에서 X-선 영상의 획득에 활용 가능하다.

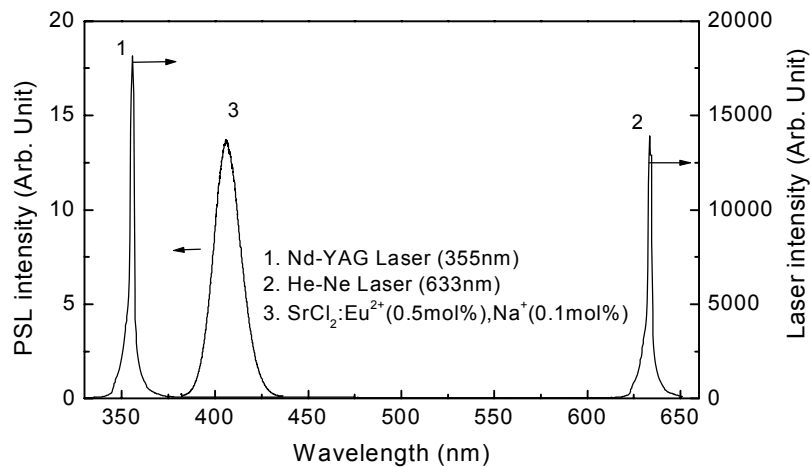


Fig. 2. PSL spectrum and excitation spectra of $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate.

2) 영상판의 Fading 특성

그림 3은 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ 영상판의 fading 특성을 측정하기 위하여 6 MV X-선 발생용 선형가속기 (Siemens Co. MD67)를 사용하여 2 Gy/min 의 선량율로 1 Gy를 조사한 후 30 °C, 40 °C 및 50 °C의 암실에 보관하면서 시간에 따른 광자극발광 강도를 측정한 그림이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 30 °C에서 보관한 형광체의 광자극발광 강도는 120 분 경과하였을 때, 초기치의 약 40%가 감쇠하였으며, 보관온도가 높을수록 많이 감쇠하였다. 이것은 불순물, 격자간 원자 등의 격자결함에 의해 금지대 내에 생성된 얇은 포획 준위에 포획된 전자들의 영향으로 생각된다.

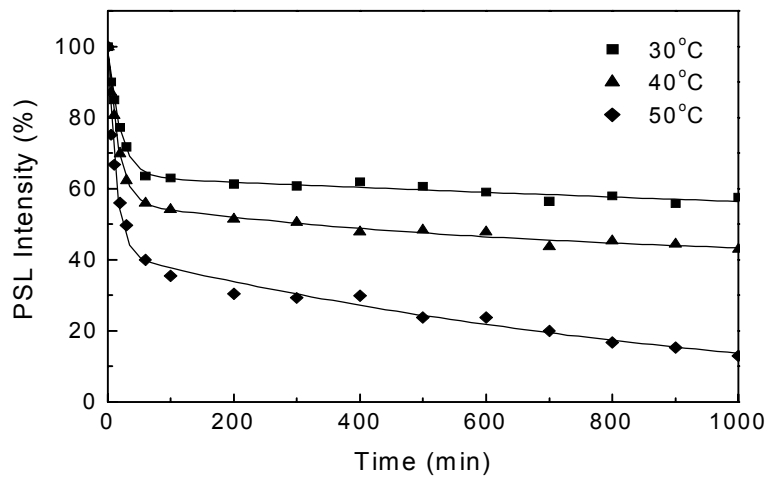


Fig. 3. Fading characteristics of the PSL in $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate.

3) 영상판 선량 의존성

그림 4는 영상판의 선량 의존성을 나타낸 그림이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 약 0.5 ~ 100 mGy 까지의 선량 범위에서 선형성을 나타내었으며, 조사선량 범위 내에서 X선 선량에 따른 광자극발광 스펙트럼 분포와 피이크 폭장은 변하지 않았다.

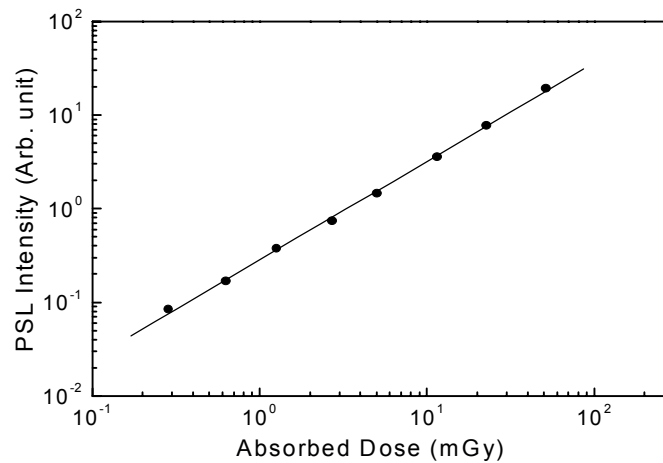
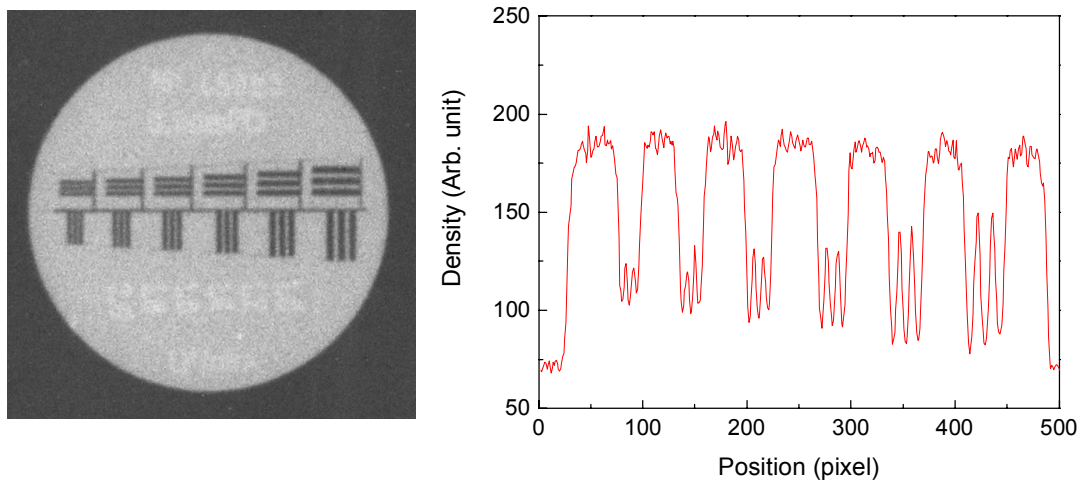


Fig. 4. Linearity of PSL intensity of $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate to irradiated dose.

4) 영상판 공간분해능

제작한 영상판의 분해능을 평가하기 위하여 MTF (Modulation Transfer Function)를 측정

하였다. 그림 5는 MTF를 측정하기 위하여 공간분해능이 1.0 ~ 5.0 lp/mm인 12 개의 slit을 가진 spatial resolution slit을 진단용 X-선 발생장치로 관전압 42 kV, 3 mAs로 촬영한 X-선 영상과 이 영상의 화소밀도의 profile이다. 그림 5에서 보는 바와 같이 공간분해능이 2.0 lp/mm까지는 시각적으로 slit이 구별할 수 있었다.



(a) X-radiography

(b) Profile of pixel density

Fig 5. X-ray radiography and its profile of spatial resolution test slit using $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate.

그림 6은 그림 5의 (b)에서 나타낸 profile로부터 구한 MTF이다. MacBas 1000으로 측정한 제작된 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ 영상판의 최대 공간주파수는 2.1 lp/mm 이었다.

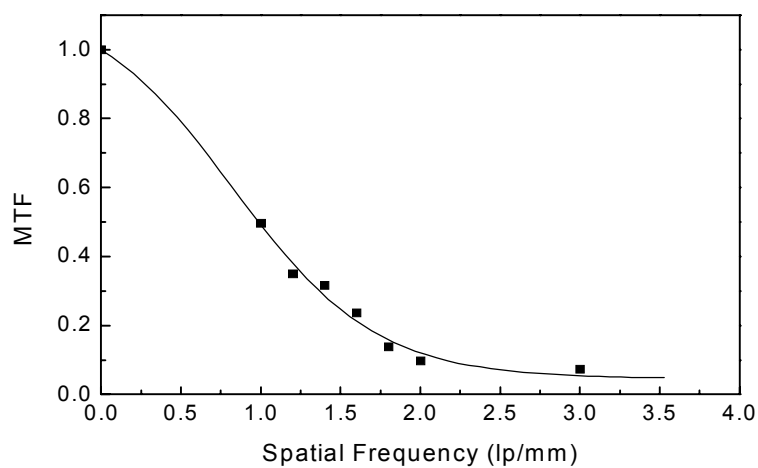


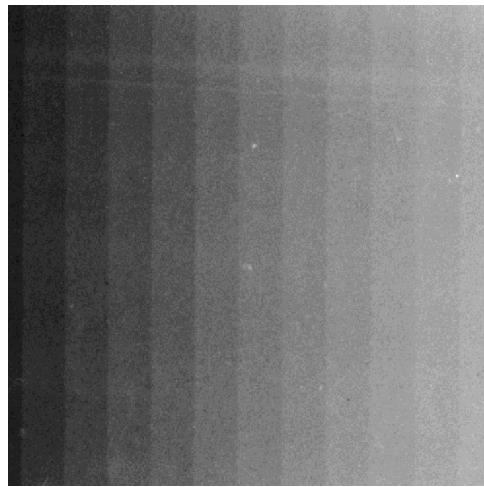
Fig. 6. MTF of $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate.

5) 영상판의 대조도 분해능

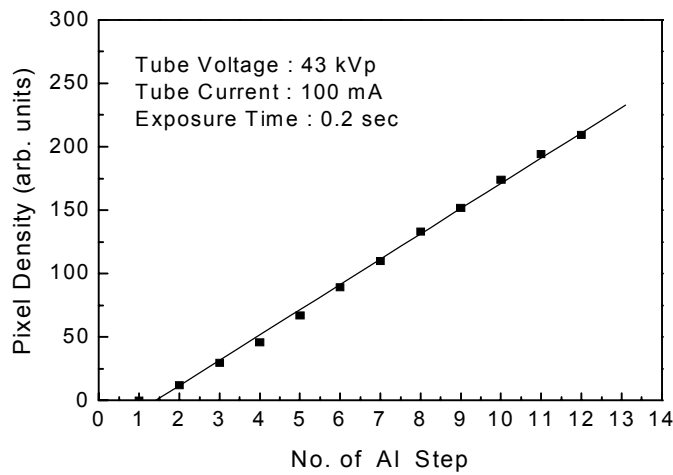
그림 7은 (a) 계단형 Al 필터의 사진과 (b) 필터의 X-선 영상 및 (c) Al 두께에 따른 화소의 농도를 나타낸 그림이다. 그림 7의 (b)와 (c)에서 보는 바와 같이 Al 두께가 두꺼워질수록 X-선의 투과량이 감소하므로 화소농도가 Al 두께에 따라 선형성을 나타내었다. 따라서 본 실험에서 제작한 영상판으로 흡수특성의 차이가 나는 여러 가지 피사체에 대하여 안정된 영상을 얻을 수 있을 것이다.



(a) Photograph



(b) X-ray radiography



(c) Pixel density according to Al thickness

Fig. 7. Profile and densities of radiography for each Al steps using $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Na}^+$ imaging plate.

6) 디지털 X-선 영상

그림 8은 관전압 42kV, 10mAs로 촬영한 10년생 소나무의 나이테 X-선 영상으로 선명한 나이테를 확인할 수 있다.

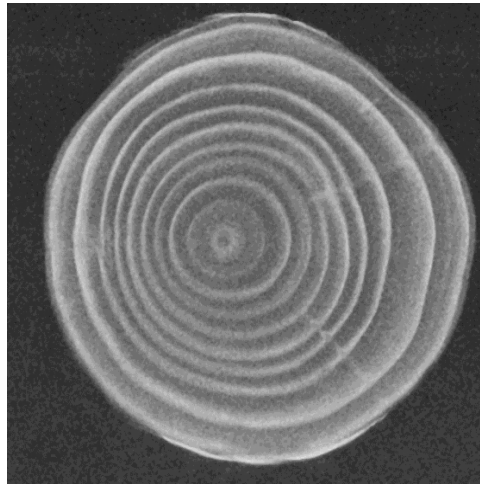


Fig. 8. X-ray Radiography of wood.

III. 결 론

본 연구에서는 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Na}^+$ 광자극발광 형광체를 이용하여 영상판을 제작하였다. $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Na}^+$ 형광체의 최적제작조건은 활성제인 Eu^{2+} 와 Na^+ 이온의 농도가 각각 0.5 mol%, 0.1 mol%이었고, 소결온도 및 시간은 수소 분위기에서 각각 850 °C, 45분이었다. 제작한 $\text{SrCl}_2:\text{Eu}^{2+},\text{Na}^+$ 영상판의 광자극발광 파장 범위와 피크 파장은 각각 380 ~ 440 nm와 407 nm이었고, 영상판의 선량의존성은 0.5 ~ 100 mGy 까지의 선량영역에서 선형성을 나타내었고, Fading 특성은 방사선 조사 후 30 °C에서 120분 동안에 40% 감쇠하였다. MacBas 1000으로 측정된 영상판의 공간분해능은 2.1 lp/mm이었다.

※ 본 연구는 2003년 한국과학재단에서 지원한 방사선 안전신기술연구센터의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부분입니다.

참고문헌

- [1] A. Ohnishi et al, J. of Lumin. 72 (74), 755 (1997).
- [2] P.F. Caricia et al, Appl. Phys. Lett., 72 (12), 1415 (1998).
- [3] M. Bradford et al, J. of Lumin. 72 (74), 742 (1997).

- [4] W. Chen et al, J. Appl. Phys. 81 (7), 3170 (1997).
- [5] L.E. Trinler et al, I. Popov, Phys. Stat. Sol. (h) 180. K31 (1993)
- [6] H. Nanjo et al, Radiat. Prot. Dosimetry 47, 281 (1993)
- [7] H. Von Seggern et al, J. Appl. Phys. 66, 4418 (1989).
- [8] M. Thoms et al, J. Appl. Phys. 76, 1800 (1994).
- [9] H. Nanto et al, Appl. Phys. Letters 59, 1838 (1991).
- [10] H.H. Ruter et al, Phys. Rev. Letters 65, 2438 (1990).
- [11] F.H. Koscunik et al, Phys. Rev. Letters 67, 3571 (1991).
- [12] S.V. Moharil, Bull. Mater. Sci. 17, 25 (1994).
- [13] A.R. Lakyeshmanan et al, Radiat. Prot. Dosimetry 55. 247 (1994).
- [14] M.K. Crawford et al, J. Lumin. 48/49, 37 (1991).
- [15] J.H. Lin et al, Metals 148, 233 (1989).
- [16] A. Medarink et al, J. Phys. D 24, 997 (1991).
- [17] S.H. Kim et al, Proc. of The Korea Nuclear Society Autumn Meeting, (2001).