

논문 2000-9-5-02

## CsI(Br) 단결정의 육성과 섬광특성

오문영\*, 정용조\*\*, 이우교\*\*, 도시홍\*\*, 강갑중\*\*, 김도성\*\*\*, 김완\*\*\*\*, 강희동\*\*\*\*

## Growth and Scintillation Characteristics of CsI(Br) Single Crystals

M. Y. Oh\*, Y. J. Jung\*\*, W. G. Lee\*\*, S. H. Doh\*\*,  
K. J. Kang\*\*, D. S. Kim\*\*\*, W. Kim\*\*\*\*, H. D. Kang\*\*\*\*

## 요 약

CsI에 활성제로 Br<sup>-</sup> 이온을 1, 3, 5 혹은 10 mole % 첨가하여 Czochralski방법으로 CsI(Br) 단결정을 육성하였다. 육성한 CsI(Br) 단결정의 결정구조는 체심입방체였으며, 격자상수  $a_0$ 는 4.568 Å이었다. CsI(Br) 단결정들의 흡수단 파장은 243 nm이었다. 그리고 흡수단 파장으로 여기 시킨 발광스펙트럼의 파장범위는 Br<sup>-</sup> 이온 농도에 관계없이 300 ~ 600 nm이었고, 중심파장은 모두 약 440 nm이었으며, 발광강도는 Br<sup>-</sup> 이온을 3 mole % 첨가하였을 때 가장 컸다. Br<sup>-</sup> 이온을 3 mole % 첨가한 CsI(Br) 섬광체의 에너지 분해능은 <sup>137</sup>Cs(662 keV)에 대해서는 15.0 %, <sup>54</sup>Mn(835 keV)에 대해서는 13.1 %이었고, <sup>22</sup>Na의 511 keV와 1275 keV에 대한 에너지 분해능은 각각 18.0 % 와 6.3 %이었다. 형광감쇠곡선은 빠른 감쇠 성분과 느린 감쇠 성분으로 구성되어 있으며, 빠른 감쇠 성분은 Br<sup>-</sup> 이온의 농도에 관계없이 약 41 ns로 거의 일정하였다. 그리고 CsI(Br) 섬광체들의 시간 분해능은 Br<sup>-</sup> 이온 농도가 증가할수록 저하하는 경향을 나타내었다.

## Abstract

CsI(Br) single crystals doped with 1, 3, 5 or 10 mole % Br<sup>-</sup> ions, as an activator, were grown by Czochralski method. The lattice structure of grown CsI(Br) single crystal was bcc and its lattice constant was 4.568 Å. The absorption edge of the CsI(Br) single crystals was observed at 243 nm. The spectral range of the luminescence excited by 243 nm of wavelength was 300 ~ 600 nm, and its peak emission appeared at 440 nm. The luminescence intensity was maximum when CsI(Br) was doped with 3 mole % Br<sup>-</sup> ions. The energy resolutions of the CsI(Br) scintillator doped with 3 mole % Br<sup>-</sup> ions were 15.0 % for <sup>137</sup>Cs(662 keV), 13.1 % for <sup>54</sup>Mn(835 keV), and 18.0 % and 6.3 % for <sup>22</sup>Na(511 keV and 1275 keV), respectively. The decay curves had fast and slow components, and the fast component was about 41 ns independent on the concentration of the Br<sup>-</sup> ions. The time resolution of CsI(Br) scintillators decreased with increasing of the concentration of Br<sup>-</sup> ions.

## 1. 서 론

- \* 동아대학교 병원 (Dong-A Univ. Hospital)  
 \*\* 부경대학교 물리학과 (Dept. of Physics, Pukyong Nat'l Univ.)  
 \*\*\* 대구대학교 물리교육학과 ( Dept. of Physics, Education, Taegu Univ.)  
 \*\*\*\* 경북대학교 물리학과 (Dept. of Physics, Kyungpook Nat'l Univ.)  
 <접수일자 : 2000년 7월 19일>

현재 여러 가지 종류의 무기섬광체 검출기 중[1~5]에서 가장 유망하고 관심의 대상이 되고 있는 방사선 검출기 중의 하나는 CsI를 기초로한 섬광체이다. CsI에 TI을 활성제로 첨가한 CsI(Tl)은 광수율(light yield)과 원자번호가 크고, 에너지 분해능이 좋다. 그러나 섬광 감쇠시간이 약 1 μs정도이므로 고선량을 검출하는데

에는 한계가 있다. 이 점에서 CsI(pure)는 매우 매력적이다. CsI(pure)의 자외선 발광 (약 350 nm)에 대한 감쇠시간은 10 ns정도[6]로 매우 짧으며, 방사선 정도 (radiation hardness)가 크다는 장점이 있지만, CsI(Tl)에 비해 광수율이 낮다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 최근에는 CsI에 활성제를 첨가하여 광수율을 높이고, 짧은섬광감쇠시간을 갖게 하려는 연구가 수행되었다. CsI에 Tl' 대신 Cs 및 I와 동족원소 K', Rb', Br 및 Cl 이온등을 첨가하면 발광파장이 장파장 쪽으로 이동되며, 형광감쇠시간이 짧아진다는 것이 보고되었다[7-9].

CsI(Br) 섬광체는 Sakuragi등<sup>[10]</sup>에 의해 처음으로 보고되었으며, PET(positron emission tomography)에 적합한 새로운 검출기로 생각 되었다<sup>[11]</sup>. 보고된 CsI(Br) 섬광체의 형광은 빠른감쇠성분(fast decay component)과 느린감쇠성분(slow decay component)으로 구성되어 있으며, 빠른감쇠성분의 피크 파장은 300 nm이며, 감쇠시간은 10 ns 이었다. 그리고 느린 감쇠성분의 피크 파장은 450 nm이었으며, 감쇠시간은 10  $\mu$ s이었다. 알카리 할라이드 단결정의 광출력, 발광 스펙트럼, 에너지분해능, 형광감쇠시간 등과 같은 섬광 특성은 결정성장 매개변수(출발물질의 순도, 결정육성 방법, 용융분위기, 열처리등)에 따라 다르다<sup>[12-14]</sup>.

본 연구에서는 Br 이온 농도가 다른 CsI(Br) 단결정을 Czochralski방법으로 육성하고, 육성한 단결정의 결정구조와 격자상수를 확인하였다. 그리고 Br 이온 농도에 따른 흡수곡선, 발광스펙트럼, 에너지분해능, 형광감쇠시간 및 시간분해능을 측정하여, CsI(Br) 단결정의 섬광특성을 조사하였다.

## II. 실험

### 1. CsI(Br) 단결정의 육성

본 실험에서는 Czochralski방법을 사용하여 CsI에 CsBr을 활성제로 1, 3, 5 혹은 10 mole % 첨가하여 여러 가지 CsI(Br) 단결정을 육성하였다. 출발물질로 사용한 CsI 분말(Aldrich사)과 CsBr 분말(Aldrich사)의 순도는 99.999 %이었다. CsI와 CsBr은 흡습성이 있으므로 실험하는 동안에 공기로부터 유입된 불순물( $H_2O$ ,  $CO_2$  등)과 CsI에 포함되어 있는 음이온 불순물등을 제거하기 위하여 원료분말을 온도 500  $^{\circ}C$ ,  $1 \times 10^{-2}$  torr의 진공 속에서 60분간 건조 시킨 후 용융하였다. 그리고 본 실험에서 사용한 종자결정의 성장축 방향의

Miller 지수는 (110)이었다.

Czochralski방법으로 육성한 단결정 섬광체내의 void의 생성은 성장계면의 형태와 밀접한 관계가 있으며, 성장계면의 형태는 결정회전속도등에 관계된다. 그리고 성장계면의 형태는 공격자, 전위밀도, 균질성 및 뒤틀림등 단결정의 품질에 큰 영향을 미친다<sup>[15,16]</sup>. 또한 성장계면의 온도 기울기가 크면 냉각속도가 커지며 결정내에 변형이 축적되어 크랙(crack)과 여러 가지 격자결함을 발생 시킬 수 있으며, 이러한 결함들은 단결정의 품질을 저하 시킨다. 이러한 단결정들은 방사선 손상을 잘 받으며, 광생성을, 광투과율 등이 저하된다

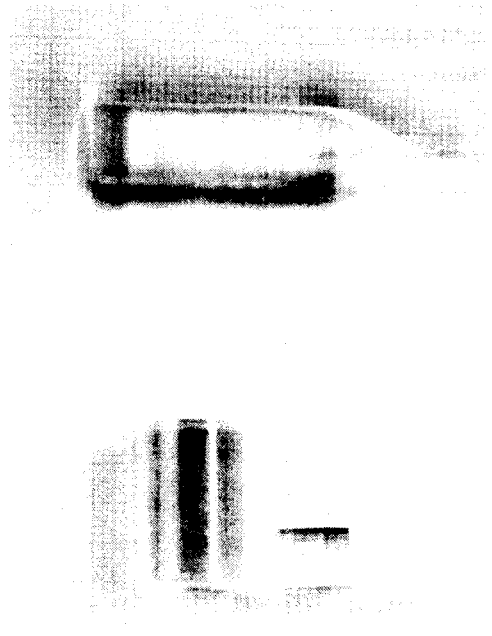


그림 1. (a)육성한 CsI(Br) 단결정, (b)원통형 (지름:10 mm, 길이: 20 mm)과 육면체형 ( $6 \times 7 \times 7 \text{ mm}^3$ )시편.

Fig. 1. (a) Photograph of grown CsI(Br) single crystal, (b) specimens with the shape of cylindrical type (diameter : 10 mm, length : 20 mm) and tetragonal type ( $6 \times 7 \times 7 \text{ mm}^3$ ).

본 실험에서는 성장계면의 온도변화를 최소로 하기 위하여 고주파유도가열코일을 내경 26 cm, 길이 30 cm의 원통형 스테인레스통(첼버)속에 장치하고, 발열체인 백금 도가니 위에 백금도가니의 지름과 동일하게 탄소

로 만든 원통(높이 : 5 cm, 두께 : 0.5 cm)을 백금도가니 위에 설치하였다. 그리고 그 외부에 석영관, 알루미늄관 및 알루미늄 뚜껑으로 감싸서 결정성장계면 주위의 온도기울기를 작게하였다. 그리고 결정육성시 CsI와 CsBr의 증발을 막기 위하여 챔버내 아르곤 기체의 압력을 2 atm으로 유지하였다. 인상속도와 결정회전속도는 육성하는 단결정의 지름에 따라 다르지만 각각 6 ~ 8 mm/h, 30 ~ 40 rpm으로 하였다. 단결정의 지름은 온도로 제어하였으며, 대략 백금도가니 지름의 1/2 정도 혹은 그 이하로 하였다. 또한 결정 성장 초기에 결합의 전파방지와 결정성장축으로의 성장을 유도하기 위해 목을 만들었다. 그림 1은 Br<sup>-</sup>이온을 첨가하여 육성한 CsI(Br) 단결정과 시편을 나타낸다. 육성한 단결정들은 Br<sup>-</sup>이온의 농도에 관계없이 무색 투명하였으며, 크기는 일반적으로 지름 13 ~ 15 mm, 길이 35 ~ 40 mm 정도이었다.

2. 시편제작 및 측정

Br<sup>-</sup> 이온의 농도는 CsI(Br) 섬광체의 발광강도에 영향을 미칠 수 있으므로 CsI(Br) 섬광체내의 Br<sup>-</sup> 이온의 농도를 조사하였다.

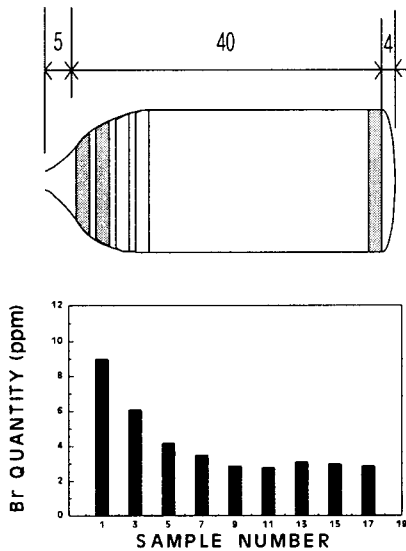


그림 2. CsI(Br) 단결정의 각 부분에서의 Br<sup>-</sup> 이온농도

Fig. 2 Br<sup>-</sup> ion concentrations in various section of a CsI(Br) single crystal.

그림 2는 Br<sup>-</sup> 이온을 3 mole% 첨가하여 육성한 길

이 40 mm 인 CsI(Br) 단결정을 1 mm 간격으로 절단하여 ICP-MS로 측정된 길이에 따른 Br<sup>-</sup> 이온의 농도 분포를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 단결정의 지름이 일정하게 되는 어깨부분부터 Br<sup>-</sup> 이온농도가 크게 변하지 않으므로 이부분을 절단하여 실험에 필요한 시편을 제작하였다.

여기 및 발광스펙트럼과 흡수곡선을 측정하기 위한 시편의 크기는 6×7×7 mm<sup>3</sup>로 하였으며, γ선 에너지 스펙트럼을 측정하기 위한 시편은 지름 10 mm, 길이 20 mm의 원통형으로 제작하였다. CsI(Br) 단결정은 흡습성이 약간 있으므로 시편의 모든면을 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(0.02 μm) 분말로 연마한 후 polishing cloth(Buehler, No. 40-7218)위에서 메칠알콜과 ZnO분말을 사용하여 연마하였다. 그리고 입사 방사선에 의해 단결정내에서 발생한 빛을 광전자증배관으로 집속 시키고, 광손실을 최대한 막기 위하여 γ선 에너지 스펙트럼 측정용 시편의 옆면과 윗면은 polytetrafluoethylene(PTFE)테이프를 반사체로 사용하여 6번 감았다. 또한 CsI(Br) 단결정이 광전자증배관의 창과 직접 접촉함으로써 생길수 있는 단결정 표면의 손상을 막고, 습기를 방지하기 위하여 시편의 밑면을 시판하고 있는 염화비닐수지로 1회 감았다. 이 염화비닐수지의 광흡수는 200 ~ 800 nm 사이에서 약 2 % 정도였으며, 특정파장에서 흡수피이크는 없었다. 육성한 단결정 섬광체의 여기 및 발광 스펙트럼은 Fluorescence spectrometer(HITACHI u-3210)로 측정하였다. 그리고 흡수곡선은 공기를 기준으로 하여 측정하였으며, 측정시 시편의 표면에서 일어나는 반사와 산란에 의한 손실에 대해서는 보정하지 않았다.

γ선 파고스펙트럼은 펄스파고분석법으로 측정하였고, spectroscopy 증폭기는 TC245(TENNELEC), 고전압 전원은 3120(CANBERRA), MCA카드 는 SIERRA MICROFAST MCA, 그리고 광전자증배관은 R374(HAMAMATSU)를 사용하였다. 형광감쇠시간은 CsI(Br) 단결정 섬광체를 광전자증배관과 결합 시키고, 광전자증배관의 양극에서 나온 출력을 오실로스코프(Lecroy, 9350 AM, 500 MHz)의 입력채널에 연결하고, 이것을 trigger로 사용하여 파형을 구하였다. 이렇게 구한 파형을 오실로스코프의 sumed average기능을 이용하여 1000번을 측정 한 후 평균한 파형을 컴퓨터에서 fitting하여 형광감쇠시간을 구하였다.

본 연구에서 제작한 CsI(Br) 섬광검출기들의 시간분해능은 그림 3에 나타낸 일정비를 시간분석법(CFT: constant-fraction timing method)으로 측정하였다. 플

라스틱 검출기는 펄스성형이 빠르므로 기준시간을 만들기 위하여 사용하였다. 플라스틱 검출기에 공급한 인가전압은 -1900 V이었고, 제작한 CsI(Br) 섬광검출기에 인가한 전압은 -690 V이었다. 플라스틱 검출기의 다이노드(dynode)에서 나온 신호는 Fast-Filter-Amp에 입력되고, 여기서 출력된 신호는 constant - fraction - discriminator에 입력하였다. 그리고 Gate Delay Generator의 출력신호를 TAC(Time to Amplitude Converters)의 start에 입력하였다. 한편 CsI(Br) 검출기의 다이노드에서 나온 신호는 플라스틱 검출기와 동일한 방법으로 TAC의 stop에 입력하였다. 그리고 CsI(Br) 검출기의 양극에서 나온 신호는 전치증폭기를 거쳐 주증폭기에 입력하고, 주증폭기에서 나온 신호는 T-SCA(Time single Channel Analyzers)에 입력하였다. 그리고 그 출력신호는 BNC Tee Connector를 사용하여 하나는 Linear-Gate의 Gate신호로 사용하였으며, TAC의 출력신호는 Linear-Gate의 linear신호로 입력하였고, 그 출력은 MCA에 입력하여 파고스펙트럼을 측정하였다. T-SCA에서 나온 다른 하나는 다른 Linear-Gate-Stretcher의 Gate 신호로 입력하고, 여기서 나온 신호는 MCA에 입력하여, <sup>22</sup>Na의 붕괴에서 양전자 소멸로 인하여 발생한 에너지 (0.511 MeV)를 관찰하면서 T-SCA로 조절할 수 있도록 하였다.

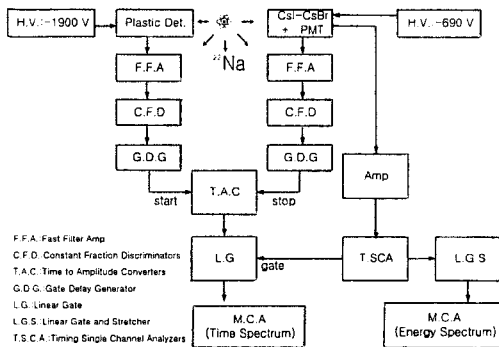


그림 3. 시간분해능 측정 회로도.  
Fig. 3. Block diagram of the electronic system for the measurement of time resolution.

III. 실험결과 및 논의

1. XRD 분석

육성한 CsI(Br) 단결정의 결정구조와 격자상수를 확인하기 위하여 XRD(X-ray diffraction)법으로 결정분말

의 X선 회절상을 측정하였다. X선원은 nickel필터를 통과 시켜 얻은 CuK<sub>α1</sub>과 CuK<sub>α2</sub>이었고, 프로그램(RINT 2000, Rigaku)을 사용하여 CuK<sub>α2</sub>효과를 제거하고 격자상수 a<sub>0</sub>값을 구하였다. 이때 필라멘트 전류는 30 mA, 가속전압은 40 kV이었다. 주사속도는 분당 2° 로 하였으며, 2θ 각은 20° 에서 80° 까지 하였다. 측정된 회절 무늬는 그림 2와 같이 (110), (200), (211), (220), (310), (222) 및 (321)면등에서 피크가 나타났다. 이 Miller 지수(hkl)값들은 JCPDS 카드를 통해 조사해 본 결과 육성한 CsI(Br) 단결정은 체심입방체로 성장 되었음을 확인할 수 있었다. 그리고 XRD분석을 통해 계산한 격자상수 a<sub>0</sub>는 4.568 Å이었다.

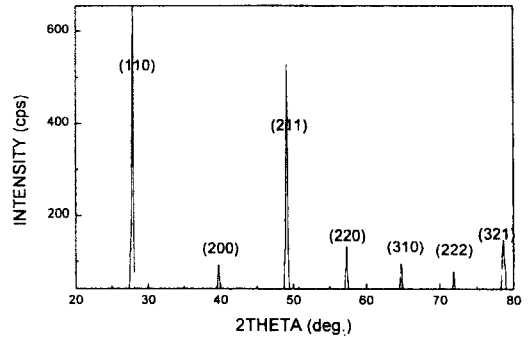


그림 4. 육성한 CsI(Br)단결정 분말의 X선 회절상.  
Fig. 4. X-ray diffraction patterns of grown CsI(Br) crystal.

2. 흡수곡선

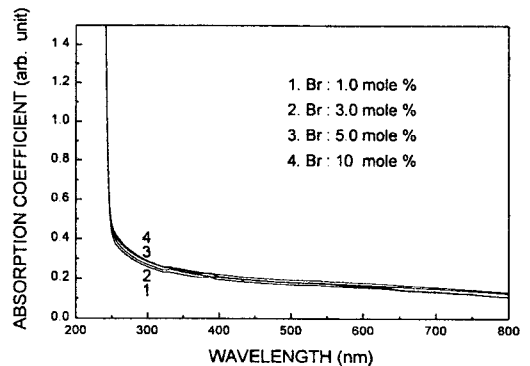


그림 5. Br 이온 농도 변화에 대한 흡수곡선.  
Fig. 5. Absorption spectra as a function of Br<sup>-</sup> ion concentrations.

그림 5는 Br<sup>-</sup> 이온의 농도 변화에 대한 CsI(Br) 단결정들의 흡수곡선이다. 광의 흡수는 그림에서 보는 바와 같이 측정영역 200 ~ 800 nm 사이에서 어떤 특정 파장에서의 흡수는 나타나지 않았다. 그리고 흡수단 파장은 Br<sup>-</sup> 이온의 농도에 관계없이 243 nm로 일정하였다.

3. 여기 및 발광스펙트럼

Br<sup>-</sup> 이온을 1, 3, 5 혹은 10 mole% 첨가한 CsI(Br) 단결정들을 흡수단 파장으로 여기시켰을 때의 발광스펙트럼은 그림 6과 같다. CsI(Br) 단결정들의 발광스펙트럼의 파장범위는 Br<sup>-</sup> 이온의 농도에 관계없이 300 ~ 600 nm이었고, 중심파장은 약 440 nm이었으며, 발광장도는 Br<sup>-</sup> 이온을 3 mole% 첨가하였을 때 최대를 나타내었다. 또한 단결정들의 발광스펙트럼의 중심파장에 대한 여기파장을 측정한 결과 여기파장 범위는 그림 6에서 보는 바와 같이 약 230 ~ 250 nm이었으며, 여기 피크 파장은 약 243 nm이었다.

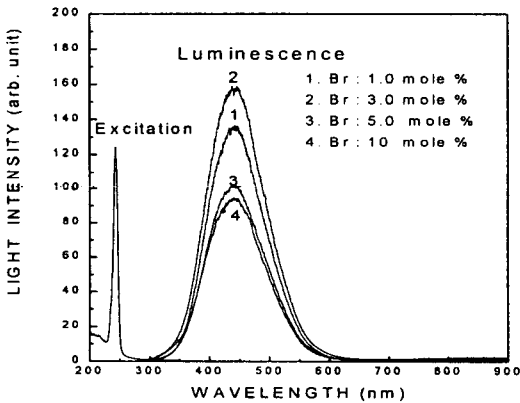


그림 6. 실온에서 측정된 CsI(Br) 단결정들의 여기 및 발광스펙트럼.

Fig. 6. Excitation and emission spectra of CsI(Br) crystal at room temperature.

4. 형광감쇠시간

그림 7은 Br<sup>-</sup> 이온농도에 따른 CsI(Br) 단결정 섬광체들의 <sup>137</sup>Cs γ 선에 대한 형광감쇠곡선이다. 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 형광감쇠시간은 빠른감쇠성분 (fast decay component) 과 느린감쇠성분 (slow decay component)으로 구성되어 있다. 빠른감쇠성분은 Br<sup>-</sup> 이온을 1, 3, 5 및 10 mole% 첨가하였을 때 각각 42, 40, 40 및 41 ns로 거의 일정하였고, 느린 감쇠성분은 각각 444, 478, 446 및 438 ns이었다.

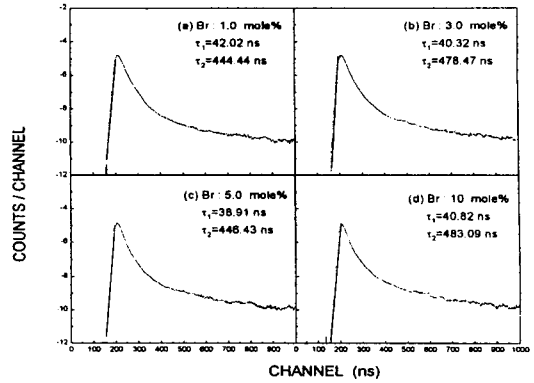


그림 7. CsI(Br) 단결정 섬광체의 형광감쇠곡선.  
Fig. 7. Fluorescence decay curves for CsI(Br) crystals.

Sakuragi 등이 보고한 CsI(Br) 단결정의 형광감쇠시간에서 빠른 성분은 300 nm에서 10 ns이었고, 느린 성분은 450 nm에서 10 μs로 매우 길었다. 또한 A. V. Gektin 등[9]이 Kyropoulos 방법으로 육성한 CsI(Br) 단결정의 발광파장범위는 280 ~ 340 nm 영역이었다. 그리고 형광감쇠성분은 3개이었고, 그 값은 11, 23 및 36 ns 이었다.

본 연구에서 측정된 형광감쇠시간과 Sakuragi 등 및 A. V. Gektin 등의 연구결과가 서로 다른 것은 단결정을 육성할 때 출발물질의 순도, 결정성장방법과 조건, 결정성장분위기 등 결정성장 매개변수의 차이에 기인된 것으로 생각된다. 섬광체를 고선량율의 방사선을 측정하는데 오차를 주는 것은 형광감쇠특성 중에서 느린 감쇠성분이다. 그러므로 본 실험에서 제작한 CsI(Br) 섬광체는 고선량율의 방사선을 더욱 정확히 검출할 수 있을 뿐만 아니라 섬광검출기의 시간 분해능을 개량할 수 있어 핵물리학, 고에너지 물리학, 단층촬영 등 그 응용범위가 넓다고 생각된다.

5. 발광량과 에너지 분해능

그림 8은 Br을 각각 1, 3, 5 혹은 10 mole% 첨가하여 육성한 CsI(Br) 단결정 섬광체들의 <sup>137</sup>Cs, <sup>54</sup>Mn 및 <sup>22</sup>Na γ 선에 대한 파고스펙트럼을 나타낸다. 파고스펙트럼 측정시 광전자증관에 인가한 전압은 -690 V이었고, 주중폭기의 펄스형성시간은 3 μs로 하였다. 그림 8에서 광봉우리의 채널값을 광출력으로 보았을 때 Br 농도에 대한 상대적 광출력의 크기는 Br을 3 mole% 첨가하였을 때 최대를 나타내었으며, 이 이상 Br을 첨가하면 상대적 광출력이 감소하였다.

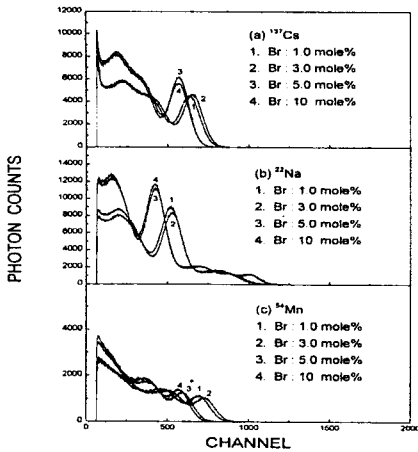


그림 8. CsI(Br)섬광체의 (a)<sup>137</sup>Cs (b)<sup>22</sup>Na 및 (c)<sup>54</sup>Mn의  $\gamma$ 선에 대한 파고스펙트럼.

Fig. 8. Pulse height spectra of the CsI(Br) scintillator to (a)<sup>137</sup>Cs, (b)<sup>22</sup>Na 및 (c)<sup>54</sup>Mn gamma radiations.

이것은 Br 이온의 농도가 작을 때에는 Br 이온이 CsI 내에서 발광중심으로 작용하지만, CsI에서 Br 이온은 불순물로 작용하기 때문에 Br 이온의 농도가 커지면 격자에 영향을 주어 단결정 섬광체내에 여러 가지 격자결함을 증가 시키므로 광출력이 저하 되었다고 생각된다.

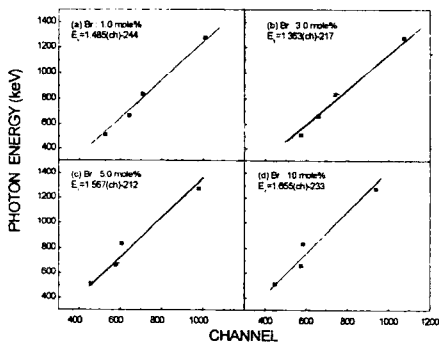


그림 9. CsI(Br)섬광체의 에너지 교정곡선.

Fig. 9. Energy calibration curves for scintillators.

그림 9는 파고스펙트럼으로부터 구한 CsI(Br) 섬광체들의 에너지 교정곡선이다. 활성제 Br의 농도가 1, 3, 5 혹은 10 mole% 일 때, 에너지 교정곡선들의 기울기는 약 1.4 ~ 1.7 사이였다. 그리고 Br을 3 mole% 첨가한 섬광체의 에너지 교정식은  $E_{\gamma} = 1.472(ch) - 287$  이었다.

그림 10과 표 1은 육성한 CsI(Br) 섬광체들의 <sup>137</sup>Cs, <sup>22</sup>Na 및 <sup>54</sup>Mn  $\gamma$ 선에 대한 에너지 분해능을 나타낸다. 에너지 분해능은 측정에너지 범위에서 선형적이었으며, 그 기울기들의 범위는 -1.147 ~ -0.920 사이였다. 그리고 Br 농도에 따른 CsI(Br) 섬광체의 에너지 분해능은 Br을 3 mole% 첨가하였을 때 가장 좋았으며, 광자의 에너지 0.511, 0.662, 0.835 및 1.275 MeV에 대해 각각 18.0, 15.0, 13.1 및 6.3 % 이었다. 그리고 에너지와 에너지 분해능 사이의 관계식은  $\ln(FWHM\%) = -1.147 \ln(E_{\gamma}) + 2.210$  이었다.

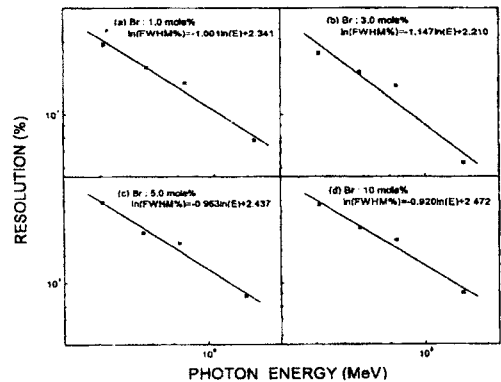


그림 10. CsI(Br)섬광체의  $\gamma$ 선 에너지에 대한 에너지 분해능.

Fig. 10. Energy resolution of CsI(Br) scintillators as a function of  $\gamma$ -ray energy.

표 1. CsI(Br)섬광체의 광붕괴 채널과 에너지 분해능.  
Table 1. Energy resolution and maximum channels obtained from CsI(Br) scintillators.

Energy	<sup>22</sup> Na		<sup>137</sup> Cs		<sup>54</sup> Mn		<sup>22</sup> Na	
	Peak Ch.	Resolution (%)	Peak Ch.	Resolution (%)	Peak Ch.	Resolution (%)	Peak Ch.	Resolution (%)
ANN: 511 keV			662 keV		835 keV		1275 keV	
1.0	524	19.6	642	15.7	706	13.5	1010	7.8
3.0	574	18.0	660	15.0	739	13.1	1074	6.3
5.0	455	21.4	578	16.2	605	14.7	979	8.8
10.0	447	21.8	575	17.7	584	15.2	937	9.1
Remark	HV : -600 V, shaping time : 3 $\mu$ s, gain : 5 $\times$ 0.6							

## 6. 시간분해능

511 keV  $\gamma$ 선에 대한 CsI(Br) 섬광검출기들의 시간분해능은 그림 11에 나타내었으며, Br을 1, 3, 5 혹은 10 mole% 첨가하였을 때 CsI(Br)섬광검출기의 시간분해능은 각각 9.3, 9.6, 10.6 및 11.7 ns로 Br의 첨가

량이 증가할수록 시간분해능은 저하되는 경향을 나타내었다. 측정시 Fast-Filter-Amp의 미분시정수(D)와 적분시정수(I)는 각각 100 ns로 하였다. 이 때 shaping time은 60 ns 이었으며, 1 채널당 시간은 0.488 ns 이었다.

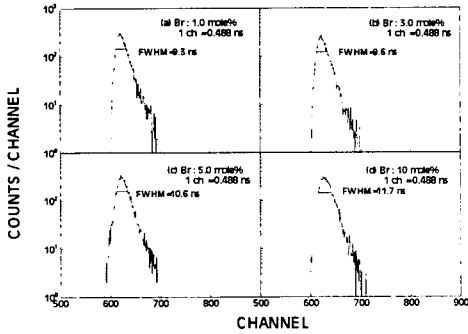


그림 11. <sup>22</sup>Na의 511 keV  $\gamma$ 선에 대한 CsI(Br) 단결정 섬광체의 시간스펙트럼.

Fig. 11. Time Spectra measured with CsI(Br) scintillators for 511 keV  $\gamma$ -rays from <sup>22</sup>Na.

#### IV. 결 론

Br<sup>-</sup>이온을 활성제로 첨가한 CsI(Br) 단결정들을 Czochralski방법으로 육성하였다. 육성한 단결정들의 결정구조는 체심입방체였으며, 격자상수  $a_0$ 는 4.568 Å이었다. Br<sup>-</sup>이온을 1, 3, 5 혹은 10 mole% 첨가한 CsI(Br) 단결정들의 흡수단 파장은 243 nm이었다. 그리고 흡수단 파장으로 여기 시킨 발광스펙트럼의 파장 범위는 Br<sup>-</sup>이온의 농도에 관계없이 300 ~ 600 nm 사이였고, 중심파장은 모두 440 nm 이었으며, 발광강도는 Br<sup>-</sup>이온을 3 mole% 첨가하였을 때 가장 컸다. 형광감쇠곡선은 빠른감쇠성분과 느린감쇠성분으로 구성 되었으며, 빠른감쇠성분은 Br<sup>-</sup>이온의 농도에 관계없이 약 41 ns로 거의 일정하였고, 느린감쇠성분은 444 ~ 483 ns이었다. <sup>137</sup>Cs(662 keV), <sup>22</sup>Na (511 keV와 1275 keV) 및 <sup>54</sup>Mn( 835 keV)에 대한 CsI(Br)섬광체의 에너지 분해능은 Br<sup>-</sup>이온을 3 mole% 첨가하였을 때 가장 좋았으며, 그 값은 각각 15.0 %, 18.0 % 와 6.3 % 및 13.1 % 이었다.

그리고  $\gamma$  선에너지와 에너지분해능 사이의  $\ln(FWHM\%) = -1.147 \ln(E_e) + 2.210$ 이었다. CsI(Br)

섬광체들의 시간분해능은 Br<sup>-</sup>이온농도의 증가에 따라 저하되는 경향을 나타내었으며, Br<sup>-</sup>이온을 1, 3, 5 및 10 mole% 첨가하였을 때 시간분해능은 각각 9.3, 9.6, 10.6 및 11.7 ns이었다.

본 실험에서 육성한 CsI(Br) 단결정 섬광체 중에서 Br<sup>-</sup>이온을 3 mole% 첨가한 CsI(Br) 단결정 섬광체는 PET, X-CT와 같은 의료진단기기의 방사선 센서 제작에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 1998년도 과학기술부에서 시행한 원자력 연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행된 연구결과와 일부입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] V. G. Bondar, S. F. Burachas, K. A. Katrunov, V. P. Martinov, V. D. Ryzhikov, V. I. Manko, H. H. Gutbrod and G. Tamulaitis, "Photochromic effect and its influence on scintillation properties of CdWO<sub>4</sub> crystals", Nucl. Instr. and Meth., vol. A411, pp. 386~382, 1998.
- [2] S. K. Dickinson, R. M. Hilton and H. G. Lipson, "Czochralski Synthesis and Properties of Rare-earth-doped Bismut Germanate(Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>)", Mat. Res. Bull. vol. 7, pp.181~192, 1972.
- [3] M. Laval, M. Moszynski, R. Allemand, E. Cormoreche, P. Guinet, R. Odru and J. Vacher, "Barium Fluoride- Inorganic scintillator for subnanosecond Timing", Nucl. Instr. and Meth., vol. 206, pp.169~176, 1983.
- [4] N.N. Ryskin, P. Dorenbos, C. W. E. van Eijk and S. Kh. Batygov, "Scintillation Properties of Lu<sub>3</sub>Al<sub>5-x</sub>Sc<sub>x</sub>O<sub>12</sub> Crystals", J. phys.:Condens. Matter, vol. 6, pp.10423~10434, 1994.
- [5] R. Gwin and R.B. Murray, "scintillation Process in CsI(Tl). I. Comparison with Activator Saturation Model," physicl Review, vol.131, no.2, pp.501~508, 1963.
- [6] S. Kubota, S. Sakuragi, S. Hashimoto and J. Z. Ruan, " A New Scintillation Material: Pure CsI

- with 10 ns DEcay Time”, Nucl. Instr. and Meth, vol. A268, pp.275~277, 1988.
- [7] A.N. Belsky, A.N. Vasil'ev, V.V. Mikhailin, A.V. Gektin, N.V. Shiran, A.L. Rogalev and E.I. Zinin, “Time-resolved XEOL spectsroscopy of New Scintillators based on CsI,” Rev. Sci. Instrum. vol. 63, no.1, pp.806~809, 1992.
- [8] A.V. Gektin, N.V. Shiran, A.N. Belskiy and A.N. Vasil'ev, “ Fast U.V. Scintillations in CsI-type Crystals”, Nucl. Tracks Radiat. Meas., vol.21, no.1, pp.11~13, 1993.
- [9] A.V. Gektin, A.I. Gorelov, V.I. Rykalin, V. I. Selivanov, N.V. Shiran and V.G. Vasil'Chenko, “CsI-based scintillators in  $\gamma$ -Detection systems”, Nucl. Instr. and Meth., vol. A294, pp.591~594, 1990.
- [10] S. Sakuragi, S. Hashimoto, T. Ito and S. Kubota, Read at the Annual Meeting of physical society of Japan, kobo, oct. 1986.
- [11] E. Tanaka, “Recent Progress on Single Photon and Positron Emission Tomography-From DETectors to Algorithms-”, IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. NS-34, no.1, pp.313~320, 1987.
- [12] B.K. Utts and S.E. Spagno, “ An Investigation on the Characteristics of pure CsI Crystals”, IEEE Trans. Nucl.Sci., vol.37, no.2, pp.134~138, 1990.
- [13] S. Keszthelyi-Lándori, I. Földvari, R. Voszka, Z. Fodor and Z. Seres, “Decay time Measurements on pure CsI Scintillators Prepared by diffrent methods”, Nucl. Instr. and Meth. vol. A303, pp.374~380. 1991.
- [14] B.C. Grabmaier, “Crystal Scintillators”, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-31, no.1, pp. 372~376. 1984.
- [15] J. A. M. Dikhoff, “Crosssectional Resistivity Variations in Germanium Single Crystals”, Solid-state Electronics, vol.1, pp.202~210, 1960.
- [16] B. Cockayne and J. M. Roslington, “The Dislocation-free Growth of Gadolinium Gallium Garnet Single Crystals”, J. Mater. Sci., vol. 8, pp.601~605, 1973.

---

 著 者 紹 介
 

---

## 오 문 영

1948년 7월 1일생  
 2000년 8월 31일 부경대학교 대학원 이학박사  
 1989년~현재 동아대학교 병원 진단 방사선 팀장  
 주관심분야 : 방사선 센서, 방사선 계측 및 진단 방사선학

## 정 용 조

1972년 8월 29일생  
 2000년 8월 31일 부경대학교 대학원 이학석사  
 2000년 7월 3일~ 현재 부경대학교 물리학과 조교

## 강 갑 중

「센서학회지 제7권 제4호」 논문 98-7-4-02, p18 참조

## 김 도 성

「센서학회지 제1권 제1호」 논문 92-07, p59 참조  
 현재 대구대학교 사범대학 물리학과 교수



## 이 우 교

『센서학회지 제7권 제4호』 논문 98-7-4-02, p18 참조

## 김 완

『센서학회지 제7권 제3호』 논문 98-7-3-05, p.179 참조

현재 경북대학교 방사선과학연구소 연구원

## 도 시 흥

『센서학회지 제2권 제2호』 논문 93-2-2-01, p3 참조  
현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 교수

## 강 희 동

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-07, p.59 참조  
현재 경북대학교 자연과학대학 물리학과 교수