

논문 2003-12-1-01

CsI:X(X=Li⁺, K⁺, Rb⁺) 단결정의 섬광특성

강갑중*, 도시홍*, 이우교**, 오문영***

**Scintillation Characteristics of CsI:X(X=Li⁺, K⁺, Rb⁺)
Single Crystals****Gap-Jung Gang*, Sih-Hong Doh*, Woo-Gyo Lee**, Moon-Young Oh*******요 약**

CsI에 활성제로 Li, K, Rb를 첨가하여 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 단결정을 Czochralski 방법으로 육성하였다. ¹³⁷Cs(0.662 MeV)에 대한 CsI(Li:0.2 mole%) 섬광체의 에너지 분해능은 14.5 %이었고 CsI(K:0.5 mole%) 섬광체는 15.9 %이었으며 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체는 17.0 %이었다. 이들 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체의 γ 선 에너지에 대한 에너지 교정곡선은 선형적 이었다. 일정비율 시간분석법(CFT:constant-fraction timing method)으로 측정된 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체의 시간 분해능은 각각 9.0 ns, 14.7 ns 및 9.7 ns이었다. CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체의 형광감쇠시간은 각각 $\tau_1 = 41.2$ ns, $\tau_2 = 483$ ns, $\tau_1 = 47.2$ ns, $\tau_2 = 417$ ns 및 $\tau_1 = 41.3$ ns, $\tau_2 = 553$ ns이었다. 그리고 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 단결정의 인광감쇠시간은 각각 0.51 s, 0.57 s 및 0.56 s이었다.

Abstract

CsI single crystals doped with lithium, potassium or rubidium were grown by using Czochralski method at Ar gas atmosphere. The energy resolutions of CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) and CsI(Rb:1.5 mole%) scintillators were 14.5 %, 15.9 % and 17.0 % for ¹³⁷Cs(0.662 MeV), respectively. The energy calibration curves of CsI(Li), CsI(K) and CsI(Rb) scintillators were linear for γ -ray energy. The time resolutions of CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) and CsI(Rb:1.5 mole%) scintillators measured by CFT(constant-fraction timing method) were 9.0 ns, 14.7 ns and 9.7 ns, respectively. The fluorescence decay times of CsI(Li:0.2 mole%) scintillator had a fast component and slow one of $\tau_1 = 41.2$ ns and $\tau_2 = 483$ ns, respectively. The fluorescence decay times of CsI(K:0.5 mole%) scintillator were $\tau_1 = 47.2$ ns and $\tau_2 = 417$ ns. And the fluorescence decay times of CsI(Rb:1.5 mole%) scintillator were $\tau_1 = 41.3$ ns and $\tau_2 = 553$ ns. The phosphorescence decay times of CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) and CsI(Rb:1.5 mole%) scintillators were 0.51 s, 0.57 s and 0.56 s, respectively.

Key Words : CsI scintillator, single crystal, pulse height spectrum, energy resolution, time resolution, decay time

1. 서 론

- * 부경대학교 물리학과(Dept. of Physics, Pukyong Nat'l Univ.)
 ** 한국원자력 연구소 MMIS팀(MMIS team Korea Atomic Energy Research Institute)
 *** 동아대학교 병원(Dong-A Univ. Hospital)
 <접수일자 : 2002년 10월 24일>

CsI 단결정⁽¹⁾의 섬광체 특성은 NaI(Tl)과 거의 같은 시기에 발견되었고, 활성제로 thallium을 첨가한 CsI(Tl)^(2,3)은 밀도와 유효원자번호가 크고 radiation length가 짧으며, 지금

까지 알려져 있는 섬광체 중에서 단위체적당 γ 선 검출효율과 단위에너지당 광수율이 가장 큰 것 중의 하나로 방사선 검출기로 여러 분야에 많이 이용되어 왔다.

그러나 CsI(Tl) 섬광체는 형광감쇠시간(약 1 μ s)과 인광감쇠시간(4.1 s)이 길고 radiation hardness가 약하므로 고에너지의 방사선을 측정하거나 γ 선이나 X선의 방출이 10^7 개/s 이상의 고선량을 이용하는 분야에서는 사용이 제한되어 왔다. Kubota 등⁽⁴⁾은 활성제를 첨가하지 않은 CsI(pure) 단결정의 자외선 발광 영역(약 305 nm)에서 매우 짧은 형광감쇠시간(약 10 ns)을 발견하였다. 또한 CsI(pure)는 radiation hardness가 크다. 이는 열량계, 방사선 이용 의료기기인 X선 CT(computer tomography)와 PET(positron emission tomography) 등에서 요구되는 조건, 즉 밀도와 radiation hardness가 크며, 형광감쇠 시간이 짧고, 우수한 시간 분해능 등을 만족한다.

이 점에서 CsI(pure) 단결정의 자외선 발광(intrinsic ultraviolet luminescence)⁽⁵⁾은 섬광체 연구분야에서 관심의 대상이 되어 자외선 발광에 대한 연구가 계속되어 왔다.

그러나 CsI(pure)의 광수율은 NaI(Tl)의 1 ~ 4 %정도이다⁽⁶⁾. CsI(pure)와 같이 방사선 손상을 적게 받고 형광감쇠특성이 좋으면서 광수율이 CsI(pure) 보다 높은 CsI를 기초로 한 섬광체를 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. A. V. Gektin 등⁽⁷⁾은 CsI에 CsBr을 혼합한 새로운 섬광체의 개발에 관한 연구를 하였고, A. V. Gektin과 N. V. Shiran 등⁽⁸⁾은 CsBr을 첨가한 CsI 단결정의 자외선 발광 특성을 넓은 온도영역에서 연구하였다. A. N. Belsky 등⁽⁹⁾은 CsI에 동족원소를 활성제로 첨가하여 육성한 단결정들의 자외선 발광 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 Czochralski법으로 CsI(Aldrich)분말에 알카리금속 lithium, potassium 및 rubidium을 활성제로 첨가하여 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 단결정들을 육성하였다.

그리고 육성한 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 단결정들의 γ 선에 대한 파고스펙트럼을 파고분석법으로 측정하여, γ 선의 에너지에 대한 에너지 분해능, 에너지 교정곡선 등을 구하였다.

또한 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 시간 특성을 알기 위하여 형광감쇠시간, 시간 분해능 및 인광감쇠시간 등을 구하였다.

II. 실험

본 연구에서는 여러 가지 CsI 단결정들을 결정성장에서 가장 널리 사용되는 방법중의 하나인 Czochralski 방법⁽¹⁰⁾으로 육성하였다. 출발 물질은 순도 99.999 %의 CsI(Aldrich)분말을 사용하였고, 그리고 활성제로는 LiI(Aldrich, 99.999 %), KI(Aldrich, 99.999 %) 및 RbI(Aldrich, 99.9 %)를 각각 적당량(mole%) 첨가하였다.

섬광체의 광출력은 섬광체의 크기와 모양에 따라 다르다⁽¹¹⁾. 본 실험에서는 γ 선 파고 스펙트럼을 측정하기 위해 시편을 직경 10 mm, 높이 20 mm의 원통형으로 제작하였다.

밀면은 광전자 증배관과 시편의 직접적인 접촉을 피하고 습기로부터 시편을 보호하기 위하여 식품 포장용 랩(염화비닐수지, LLD-PE)으로 1회 감았다. 이 랩의 광투과율의 감소는 200~800 nm사이에서 약 2 %정도였다. γ 선 에너지 스펙트럼은 펄스파고 분석법으로 측정하였고, 고전압 전원은 3120(CANBERRA), 주증폭기는 TC245(TENNELEC), MCA card는 SIERRA MICROFAST MCA 그리고 광전자 증배관은 R374(HAMAMATSU)를 사용하였다. 에너지 분해능, 시간분해능 등에 사용한 γ 선원은 ¹³⁷Cs(10 μ Ci), ⁵⁴Mn(1 μ Ci) 및 ²²Na(1 μ Ci)을 사용하였다.

그림 1은 섬광체 검출기의 시간분해능을 측정하기 위한 일정비율시간분석법⁽¹²⁾ 회로도이다. 플라스틱 검출기와 CsI 검출기에서 나온 신호는 각각 Constant-Fraction-Discriminator를 거쳐 TAC(time to amplitude converters)의 start와 stop에 입력시켰다. 그리고 CsI 검출기의 양극(anode)에서 나온 신호는 증폭기를 거쳐 T-SCA(time single channel analyzers)에 입력하고, 그 출력 신호는 BNC Tee connector를 사용하여 하나는 Linear-Gate의 Gate신호로 하였으며, TAC의 출력신호는 Linear-Gate의 linear신호로 입력하였다. 그리고 출력은 MCA에 입력하여 스펙트럼을 측정하였다. T-SCA에서 나온 또 다른 하나는 다른 Linear-

Gate-Stretcher의 Gate신호로 입력하고, 여기서 나온 신호는 MCA에 입력하여, ²²Na의 붕괴에서 양전자 소멸로 인하여 발생한 에너지 (0.511 MeV)를 관찰하면서 T-SCA로 조정할 수 있도록 하였다. CsI를 기초로 한 섬광체의 형광 감쇠시간은 oscilloscope(LeCroy 9350 AM, 500 MHz)를 사용하여 측정하였고 인광 감쇠곡선은 Fluorescence 분광계(HITA-CHF-4500)를 이용하여 측정하였다.

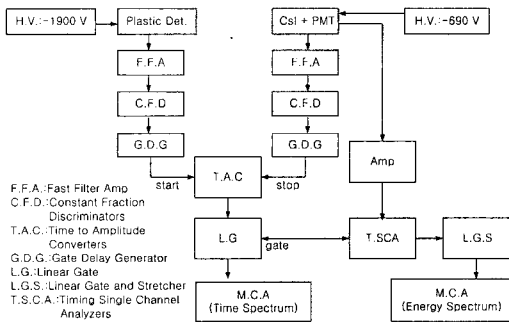


그림 1. 시간 분해능을 측정하기 위한 개략도.

Fig. 1. Block diagram of the electric system used to measure the time resolution.

III. 결과 및 논의

1. 파고 스펙트럼과 에너지 분해능

그림 2, 그림 3 및 그림 4는 활성제들의 농도를 여러 가지로 변화시켜 제작한 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn 및 ²²Na γ 선에 대한 파고 스펙트럼이다. 측정시 검출기에 걸어준 바이어스 전압은 -690 V이었고, 주증폭기의 펄스성형시간은 3 μ s로 하였다.

표 1은 활성제 Li를 0.02, 0.1, 0.2 및 0.3 mole% 첨가한 CsI(Li) 섬광체들의 ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn 및 ²²Na γ 선에 대한 그림 2의 파고 스펙트럼으로부터 구한 에너지 분해능과 상대광출력을 나타내었다. 상대광출력은 에너지 분해능이 가장 좋은 섬광체의 ¹³⁷Cs(0.662 MeV)에 대한 광출력(photopeak channel)을 기준으로 하여 나타내었다.

활성제 Li의 농도를 증가할수록 에너지 분해능과 상대 광출력은 향상하였으며, Li 농도가 0.2 mole%일 때 가장 좋았다. 그리고 0.3 mole%부터는 에너지 분해능과 상대 광출력은

저하되었다.

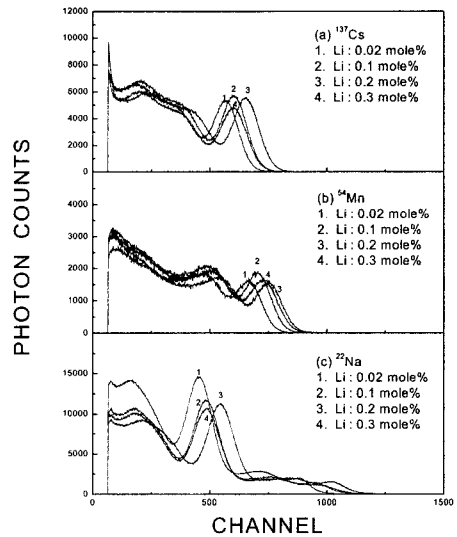


그림 2. CsI(Li) 섬광체들의 (a) ¹³⁷Cs, (b) ⁵⁴Mn 및 (c) ²²Na γ 선에 대한 펄스파고 스펙트럼.

Fig. 2. Pulse height spectra of the CsI(Li) scintillators to (a) ¹³⁷Cs, (b) ⁵⁴Mn and (c) ²²Na gamma radiations.

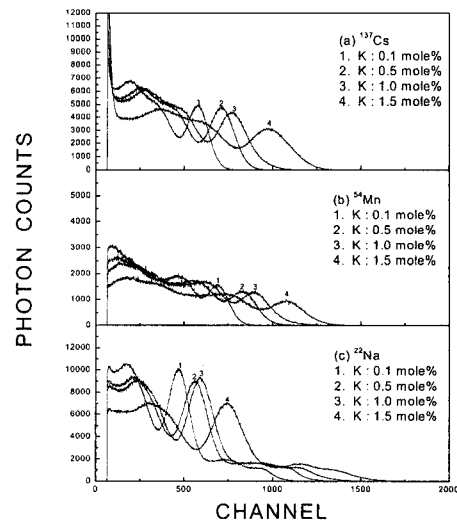


그림 3. CsI(K) 섬광체들의 (a) ¹³⁷Cs, (b) ⁵⁴Mn 및 (c) ²²Na γ 선에 대한 펄스파고 스펙트럼.

Fig. 3. Pulse height spectra of the CsI(K) scintillators to (a) ¹³⁷Cs, (b) ⁵⁴Mn and (c) ²²Na gamma radiations.

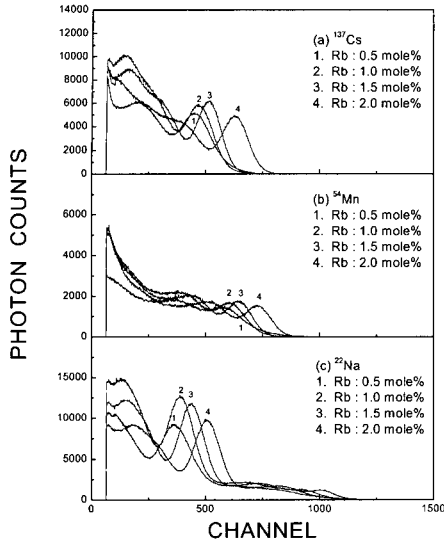


그림 4. Csl(Rb) 섬광체들의 (a) ^{137}Cs , (b) ^{54}Mn 및 (c) ^{22}Na γ 선에 대한 펄스파고 스펙트럼.

Fig. 4. Pulse height spectra of the Csl(Rb) scintillators to (a) ^{137}Cs , (b) ^{54}Mn and (c) ^{22}Na gamma radiations.

표 1. Csl(Li) 섬광체들의 에너지 분해능과 상대 광출력.

Table 1. Energy resolutions and relative light outputs obtained from Csl(Li) scintillators.

Energy (MeV)		0.511	0.662	0.835	1.275
Li 0.02 mole%	Relative light output	0.69	0.86	1.02	1.35
	Resolution (%)	19.9	15.2	12.3	8.2
Li 0.1 mole%	Relative light output	0.74	0.92	1.08	1.45
	Resolution (%)	19.3	15.2	12.0	8.1
Li 0.2 mole%	Relative light output	0.83	1	1.15	1.56
	Resolution (%)	17.7	14.5	11.4	7.9
Li 0.3 mole%	Relative light output	0.74	0.92	1.12	1.48
	Resolution (%)	19.6	15.4	12.3	8.7
Measurement condition	Coarse gain : 5, Fine gain : 0.6, Shaping Time : 3 μs , HV : -690 V				

Li 농도가 0.2 mole%의 경우 ^{137}Cs (0.662 MeV)에 대한 에너지 분해능은 14.5 %이었고, ^{54}Mn (0.835 MeV)에 대한 에너지 분해능은 11.4 %이었다. 그리고 ^{22}Na 의 붕괴에서 양전자 소멸로 인하여 발생한 에너지(0.511 MeV)에 대한 분해능은 17.7 %이었고, ^{22}Na 딸 핵종에서 방출하는 에너지(1.275 MeV)에 대한 분해

능은 7.9 %이었다.

표 2. Csl(K) 섬광체들의 에너지 분해능과 상대 광출력.

Table 2. Energy resolutions and relative light outputs obtained from Csl(K) scintillators.

Energy (MeV)		0.511	0.662	0.835	1.275
K 0.1 mole%	Relative light output	0.67	0.81	0.97	1.33
	Resolution (%)	20.6	16.3	13.0	8.8
K 0.5 mole%	Relative light output	0.81	1	1.18	1.54
	Resolution (%)	19.6	15.9	13.2	9.4
K 1.0 mole%	Relative light output	0.83	1.09	1.27	1.62
	Resolution (%)	19.1	16.8	13.3	10.0
K 1.5 mole%	Relative light output	1.19	1.39	1.52	2.06
	Resolution (%)	19.3	18.0	13.1	9.9
Measurement condition	Coarse gain : 5, Fine gain : 0.6, Shaping Time : 3 μs , HV : -690 V				

표 3. Csl(Rb) 섬광체들의 에너지 분해능과 상대 광출력.

Table 3. Energy resolutions and relative light outputs obtained from Csl(Rb) scintillators.

Energy (MeV)		0.511	0.662	0.835	1.275
Rb 0.5 mole%	Relative light output	0.72	0.89	1.15	-
	Resolution (%)	28.7	22.1	17.4	-
Rb 1.0 mole%	Relative light output	0.76	0.92	1.19	1.71
	Resolution (%)	23.4	19.5	14.5	10.1
Rb 1.5 mole%	Relative light output	0.85	1	1.26	1.81
	Resolution (%)	21.1	17.0	13.0	8.7
Rb 2.0 mole%	Relative light output	0.98	1.26	1.42	1.97
	Resolution (%)	22.6	18.0	13.7	9.5
Measurement condition	Coarse gain : 5, Fine gain : 0.6, Shaping Time : 3 μs , HV : -690 V				

표 2는 활성제 K를 0.1, 0.5, 1.0 및 1.5 mole% 첨가한 경우 ^{137}Cs , ^{54}Mn 및 ^{22}Na γ 선에 대한 에너지 분해능과 상대광출력을 나타내었다. K를 0.5 mole% 첨가하였을 때, 에너지 분해능이 가장 좋았으며 ^{137}Cs (0.662 MeV)에 대한 에너지 분해능은 15.9 %이었고, ^{54}Mn (0.835 MeV)에 대한 에너지 분해능은 13.2 %이었다. 그리고 ^{22}Na 의 0.511 MeV와 1.275 MeV γ 선에 대한 에너지 분해능은 각각 19.6 %와 9.4 %이었다. 그리고 상대 광출력은 K의 농도가 증가할수록 향상되었다.

그리고 활성제 Rb를 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 mole% 첨가한 CsI(Rb) 섬광체의 ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn 및 ²²Na γ 선에 대한 에너지 분해능과 상대 광출력은 표 3과 같다. 에너지 분해능은 Rb를 1.5 mole% 첨가하였을 때 가장 좋았으며 ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn 및 ²²Na γ 선에 대한 에너지 분해능은 각각 17.0 %, 13.0 % 및 21.1 %와 8.7 %이었다. Rb를 0.2 mole% 첨가한 CsI(Rb) 섬광체의 ²²Na의 γ 선 에너지(1.275 MeV)에 광붕우리의 강도는 작아서 Compton edge와 구별되지 않아 에너지 분해능을 구할 수 없었다. Rb의 농도가 증가할수록 상대 광출력은 향상되었다.

그림 5는 에너지 분해능이 가장 좋은 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 에너지 분해능을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 CsI(Li:0.2 mole%) 섬광체의 γ 선 에너지에 대한 에너지 분해능 사이의 관계식은 $\ln(FWHM\%) = -0.89 \ln E + 2.28$ 이었으며 CsI(K:0.5 mole%) 섬광체의 관계식은 $\ln(FWHM\%) = -0.80 \ln E + 2.44$ 이었으며 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체의 관계식은 $\ln(FWHM\%) = -0.98 \ln E + 2.40$ 이었다. Li를 0.02, 0.1, 0.2 및 0.3 mole% 첨가한 CsI(Li) 섬광체의 γ 선 에너지에 대한 에너지 분해능은 측정에너지 범위 0.511 ~ 1.275 MeV 사이에서 선형적이었으며, 그 기울기들의 범위는 $-0.89 \sim -0.96$ 사이이었다. 그리고 CsI(K) 섬광체에 대한 에너지 분해능의 직선 기울기는 $-0.73 \sim -0.93$ 이었으며, CsI(Rb) 섬광체에 대한 에너지 분해능의 직선 기울기는 $-0.95 \sim -1.02$ 사이이었다.

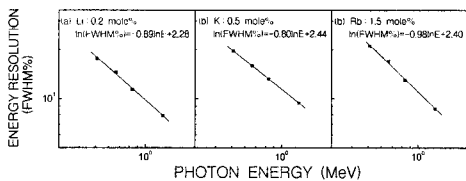


그림 5. CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 에너지 함수에 대한 에너지 분해능.

Fig. 5. Energy resolution of CsI(Li), CsI(K) and CsI(Rb) scintillators as a function of energy.

2. 에너지 교정곡선

그림 6은 그림 2의 파고스펙트럼으로부터 구한 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 에너지 교정곡선이다. 그림에서 보는 바와 같이 CsI(Li:0.2 mole%) 섬광체의 에너지 교정곡선은 $E_\gamma = 1.60(ch.) - 378$ 이었으며 CsI(K:0.5 mole%)와 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체의 에너지 교정곡선은 각각 $E_\gamma = 1.48(ch.) - 381$, $E_\gamma =$

$1.51(ch.) - 142$ 이었다. 활성제 Li의 농도가 0.02, 0.1, 0.2 및 0.3 mole%일 때, 에너지 교정곡선들의 기울기는 거의 유사하였으며, 기울기의 크기는 1.57~1.79 사이이었다. 그리고 CsI(K) 섬광체에 대한 에너지 교정곡선의 기울기 범위는 1.23~1.48 사이이었다. 또한 CsI(Rb) 섬광체에 대한 에너지 교정곡선의 기울기 범위는 1.46~1.54 사이이었으며 이들의 선형성은 매우 좋았다.

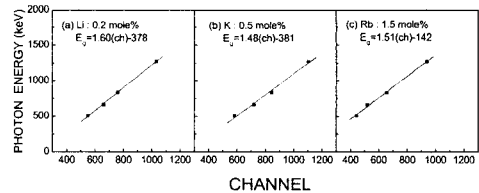


그림 6. CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 에너지 교정 곡선.

Fig. 6. Energy calibration curves for CsI(Li), CsI(K) and CsI(Rb) scintillators.

3. 시간분해능

본 실험에서 시간 분해능은 일정비율 시간분석법(CFT: constant-fraction time method)을 사용하여 측정하였으며 Fast-Filter-Amp의 미분 시정수(D)를 100 ns, 적분 시정수(I)를 100 ns로 하였고 1 채널당 시간은 0.488 ns이었다.

그림 7은 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 시간스펙트럼과 시간 분해능이다. 시간 분해능은 Li를 0.02 mole% 첨가하였을 때, 가장 좋게 나타났으며 약 7.9 ns이었다. K를 활성제로 첨가한 CsI(K) 섬광체들의 시간 분해능은 K를 0.1 mole% 첨가하였을 때, 약 11.6 ns로 가장

좋았으며, K의 농도를 증가할수록 시간 분해능은 저하하였다. 그리고 Rb를 활성제로 첨가한 CsI(Rb) 섬광체들은 Rb농도 0.5~2.0 mole % 범위 내에서 시간 분해능의 변화는 8.8~10.7 ns로서 큰 변화는 없었다.

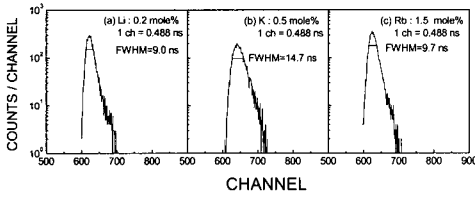


그림 7. CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 ^{22}Na 의 0.511 MeV γ 선에 대한 시간분해능.

Fig. 7. Time spectra measured with CsI(Li), CsI(K) and CsI(Rb) scintillators for 0.511 MeV γ -rays from ^{22}Na .

4. 형광 및 인광특성

형광과정은 몇 가지 방법에 따라 특정물질들이 여기된 후 매우 짧은 시간($\sim 10^{-8}$ s) 동안에 나타나는 가시광의 即發放出(prompt emission) 현상이며 인광은 형광보다 파장이 긴 광의 방출이며 동시에 일반적으로 그 특성시간이 더욱 길다. 그리고 인광특성은 출발물질의 순도, 활성제의 종류와 농도 및 결정육성 방법 등에 의존한다^[4,13].

CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 형광감쇠곡선은 그림 8에 나타내었다. 형광감쇠시간은 이 섬광펄스곡선에 자연대수를 취하여 직선이 되는

부분에 1차함수 형태로 최소자승법 fitting하여 구하였으며 형광감쇠곡선은 빠른 감쇠성분(τ_1)과 느린 감쇠성분(τ_2)으로 구성되어있었다.

본 실험에서 제작한 CsI(Li)섬광체들의 형광감쇠시간은 Li의 농도가 0.02 mole%에서 0.3 mole%로 증가함에 따라 빠른 감쇠성분(τ_1)은 38.6 ns ~ 43.1 ns로 거의 일정하였고, 느린 감쇠성분(τ_2)은 373 ns에서 433 ns로 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 K를 0.1 mole%에서 1.5 mole%로 증가함에 따라 CsI(K) 검출기의 빠른 감쇠성분(τ_1)은 36.8 ns에서 51.4 ns로 약간 증가하였다. 그러나 느린 감쇠성분(τ_2)은 515 ns에서 292 ns로 감소하였다. 또한 Rb의 농도가 0.5 mole%에서 2.0 mole %로 증가함에 따라 CsI(Rb) 섬광체의 빠른 감쇠성분(τ_1)은 36.6 ns ~ 43.1 ns로 거의 일정하였고, 느린 감쇠성분(τ_2)은 893 ns에서 633 ns로 감소하는 경향을 나타내었다.

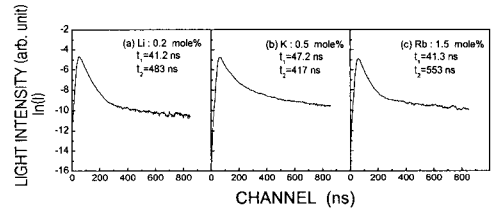


그림 8. CsI(Li); CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체들의 형광곡선.

Fig. 8. Fluorescence decay curves for CsI(Li), CsI(K) and CsI(Rb) scintillators.

형광감쇠시간의 빠른 감쇠성분은 첨가한 활성

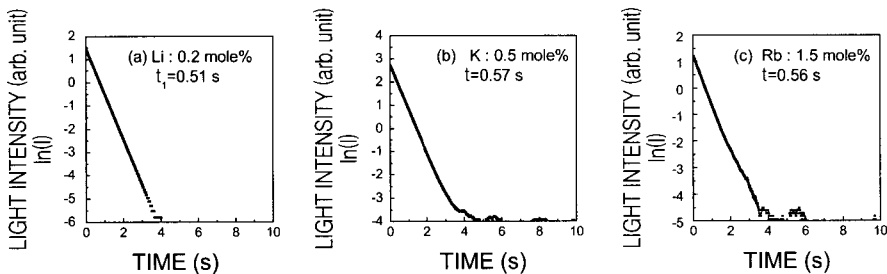


그림 9. CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 단결정들의 인광곡선.

Fig. 9. Phosphorescence decay curves for (a) CsI(Li), (b) CsI(K) and (c) CsI(Rb) single crystals.

제의 종류(Li, K 및 Rb)에 관계없이 큰 변화가 없었고, 느린 감쇠성분은 활성제의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

그림 9는 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 단결정들의 방사선 조사후 측정된 인광감쇠곡선이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 단결정들의 인광감쇠시간은 각각 0.51 s, 0.57 s 및 0.56 s로 나타났다. 그리고 활성제 Li를 0.02 mole%에서 0.2 mole%까지 첨가한 CsI(Li) 단결정의 인광감쇠시간은 빠른 성분($\tau_1 \approx 0.5$ s)만 나타났으며 그 값은 일정하였다. 그러나 Li의 농도가 0.3 mole%에서의 인광 감쇠시간은 빠른 감쇠성분(τ_1)과 느린 감쇠성분(τ_2)으로 나타났고 그 값은 각각 0.53 s 및 17.00 s였다. 그리고 K와 Rb를 활성제로 첨가한 CsI(K)와 CsI(Rb) 단결정들의 인광감쇠곡선은 활성제와 농도에 관계없이 한가지 성분만 나타났고, 그 값은 거의 일정(≈ 0.6 s)하였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 활성제로 알칼리족 원소인 Li⁺, K⁺ 혹은 Rb⁺ 이온을 첨가한 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 단결정들을 Czochralski 방법으로 육성하였다. 육성한 단결정들의 섬광특성과 시간 특성은 활성제 Li, K 및 Rb의 농도가 각각 0.2 mole%, 0.5 mole% 및 1.5 mole%일 때 가장 좋았으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 ¹³⁷Cs γ 선(0.662 MeV)에 에너지 분해능은 각각 14.5 %, 15.9 % 및 17.0 %이었고, ⁵⁴Mn γ 선(0.835 MeV)에 대한 에너지 분해능은 각각 11.4 %, 13.2 % 및 13.0 %이었으며 ²²Na의 양전자 소멸로 인한 0.511 MeV에 대한 에너지 분해능은 각각 17.7 %, 19.6 % 및 21.1 %이었고 1.275 MeV에 대한 에너지 분해능은 각각 7.9 %, 9.4 % 및 8.7 %이었다.

(2) 일정비율시간분석법(CFT)으로 측정된 CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 시간분해능은 9.0 ns, 14.7 ns 및 9.7 ns이었다.

(3) 형광감쇠상수는 활성제의 종류와 농도에 관계없이 빠른 성분(τ_1)과 느린 성분(τ_2)으로 나타났다. CsI(Li:0.2 mole%), CsI(K:0.5 mole%) 및 CsI(Rb:1.5 mole%) 섬광체들의 빠른 성분(τ_1)이 각각 41.2 ns, 47.2 ns 및 41.3 ns이었고 느린 성분(τ_2)은 각각 483 ns, 417 ns 및 553 ns이었다.

(4) CsI(Li) 단결정의 인광감쇠상수는 0.2 mole%까지는 빠른 성분($\tau_1 \approx 0.5$ s) 하나만 나타났고 lithium을 0.3 mole% 첨가시킨 단결정의 인광감쇠상수는 빠른 성분($\tau_1 \approx 0.5$ s)과 느린 성분($\tau_2 \approx 17.0$ s)으로 나타났다. 그리고 CsI(K)와 CsI(Rb) 단결정들의 인광감쇠상수는 농도에 관계없이 한가지 성분으로 0.6 s 정도였다.

이상에서와 같이 본 연구에서 제작한 CsI(Li), CsI(K) 및 CsI(Rb) 섬광체는 에너지 분해능이 다소 크지만, 형광감쇠시간이 짧고, 시간 분해능이 좋으며 인광감쇠시간이 짧으므로 방사선이 10⁷ 개/s 이상의 고선량을 이용하는 여러 가지 응용분야에 이용될 수 있다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 부경대학교 발전기금 연구비의 지원에 의한 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Hofstadter, "Properties of Scintillation Materials", Nucleonics, vol. 6, no. 5, pp. 70~72, 1950.
- [2] R. Gwin and R. B. Murray, "Scintillation Process in CsI(Tl). I. Comparison with activator Saturation Model", Phys. Rev., vol. 131, no. 2, pp. 501~508, 1963.
- [3] R. Gwin and R. B. Murray, "Scintillation Process in CsI(Tl). II. Emission Spectra and the Possible Role of Self-Trapped Holes", Phys. Rev., vol. 131, no. 2, pp. 508~512, 1963.
- [4] S. Kubota, S. Sakuragi, S. Hashi-

- moto and J. Ruan, "A New Scintillation Material: Pure CsI with 10 ns Decay Time", Nucl. Instr. Meth., vol. A268, pp.275~277, 1988.
- [5] C. H. Chen, M. P. McChann and J. C. Wang, "Room temperature Two-Photon Induced Luminescence in Pure CsI", Solid State Commun., vol. 61, pp. 559~562, 1987.
- [6] M. Ishii and M. Kobayashi, "Single Crystals for Radiation detectors", Prog. Crystal Growth and Character. Matter, vol. 23, pp. 245~311, 1992.
- [7] A. V. Gektin, A. I. Gorelov, V. I. Rykalin, V. I. Selivanov, N. V. Shiran and V. G. Vasil'chenko, "CsI-based Scintillators in γ -Detection System", Nucl. Instr. Meth., vol. A294, pp. 591~594, 1990.
- [8] A. V. Gektin, N. V. Shiran, A. N. Belskey 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. 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 spectroscopy of New scintillators based on CsI", Rev. Sci. Instrum., vol. 63, no. 1, pp. 806~809, 1992.
- [10] B. C. Grabmaier, "Crystal Scintillators", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-31, no. 1, pp. 372~376, 1984.
- [11] Y. J. Wang, B. E. Patt, J. S. Iwanczyk, S. R. Cherry and Y. Shao, "High Efficiency CsI(Tl)/HgI₂ Gamma Ray Spectrometers", IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 42, no. 4, pp. 601~605, 1995.
- [12] G. F. Knoll, *Radiation detection and measurement*, John Willey & Sons, pp. 680~704, 1979.
- [13] 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.

著 者 紹 介

강 갑 중

1963년 2월 경북대학교 사범대학 물리학과 졸업(이학사)

1982년 8월 부산대학교 교육대학원 물리학과 졸업(물리교육학 석사)

1989년 8월 영남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학 박사)

현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 교수

도 시 홍

1944. 9. 29 생

1969. 2. 경북대학교 문리대 물리학과 졸업(이학사)

1972. 2. 경북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)

1988. 8. 경북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사)

1990. 9 ~ 1991. 9 일본 福井大學 객원교수

1980. 11. - 현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 교수

이 우 교

1987년 2월 동의대학교 자연과학대학 물리학과
졸업(이학사)

1991년 2월 부산수산대학교 대학원 물리학과
졸업(이학석사)

2000. 2. 25 부경대학교 대학원 물리학과 졸업
이학박사

2000. 4. 10 ~ 현재 한국원자력연구소 Post
Doc.

주관심 분야 : 방사선검출기, 방사선 영상 기술

오 문 영

1948년 7월 1일생

2000년 8월 31일 부경대학교 대학원 물리학과
졸업 이학박사

1989년~현재 동아대학교 병원 진단 방사선 팀
장

주관심 분야 : 방사선 센서, 방사선 계측 및 진
단 방사선학