

## CsI 단결정 섬광체의 열형광특성과 육성조건

도시홍\*, 이우교\*, 홍시영\*, 방신웅\*, 강갑중\*, 김도성\*\*, 김완\*\*\*, 강희동\*\*\*

## TL Characteristics of CsI Single Crystal Scintillators and their Growth Conditions

S. H. Doh\*, W. G. Lee\*, S. Y. Hong\*, S. W. Bang\*, K. J. Kang\*,  
D. S. Kim\*\*, W. Kim\*\*\* and H. D. Kang\*\*\*

## 요 약

Czochralski 방법을 사용하여 격자결함이 적은 CsI 단결정 섬광체를 육성하기 위한 최적육성조건을 구하기 위하여 광투과율의 변화와 열형광특성을 이용하였다. 결정화과정을 반복할수록 불필요한 불순물 분포와 열형광강도 및 glow 피크의 수가 감소하였다.

결정성장방향은 (110)이었고, 육성한 CsI의 결정구조는 체심입방체이었다. 그리고 격자상수는 4.568Å 임을 확인할 수 있었다. CsI:3rd의 활성화 에너지(trap깊이)는 약 0.45 eV 이었고, 주파수인자는  $5.18 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$ 이었다.

## Abstract

Changes in transmission and thermoluminescent characteristics were used in order to find out the optimum growth condition of CsI single crystal scintillators which were made relatively defect-free using Czochralski method. Impurity distribution in the crystals and the intensity and number of thermoluminescent glow peaks decreased as the process of crystallization was repeated.

The direction of crystal growth turned out to be (110), the crystal structure of grown CsI was bcc, and its lattice constant was found to be 4.568Å. The activation energy (trap depths) of CsI:3rd was 0.45 eV and its frequency factor was  $5.18 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$ .

## 1. 서 론

CsI 단결정의 섬광체 특성은 NaI(Tl)과 거의 같은 시기에 발견되었다<sup>[1]</sup>. CsI(pure)는 NaI(Tl)에 비해 광생

성율이 낮고, thallium을 활성화제로 첨가한 CsI(Tl)<sup>[2,3]</sup>은 NaI(Tl)보다 광생성율은 높지만 감쇠시간( $\tau \sim 1 \mu\text{s}$ )이 길며, 발광스펙트럼이 광전자증배관의 스펙트럼 감도와 부정합함으로 인해 오랫동안 매우 제한적으로 사용되어 왔다. 그러나 입자가속기의 강도와 에너지가 증가함에 따라 감쇠시간이 짧고, 밀도가 크며 그리고 방사선 손상이 적은 단결정 섬광체를 개발하여 열량계로 사용하기 위한 연구가 진행되었으며, 그 결과의 하나로

\* 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 : 1998년 5월 22일>

CsI(pure)는 1988년 Kubota에 의해 재발견 되었다<sup>[4]</sup>. Kubota등은 CsI(pure)에서 처음으로 약 305 nm에서 감쇠시간이 매우 짧은 성분( $\tau \sim 10 \mu s$ )을 발견하였다.

CsI는 흡습성이 약하므로 NaI(Tl)처럼 밀봉할 필요가 없으며, 밀도는  $4.51 \text{ g/cm}^3$ 이다. 복사길이(radiation length)는 1.86 cm로서, BGO를 제외한 일반적인 섬광체 중에서 가장 짧다. 그리고 방사선 손상을 적게 받으며 기계적 충격과 열자극에 대해 안정하고 가공하기가 쉬우며, 열처리에 의해 기계적 특성을 향상시킬 수 있는 장점이 있으므로 고에너지 물리학 실험에 사용되는 열량계<sup>[5,6]</sup>뿐만 아니라 PET(Position Emission Computed Tomography)와 같은 방사선 사용 의리기구에도 이용된다<sup>[7]</sup>.

CsI 단결정을 성장시키는 방법은 Kyropoulos방법<sup>[8]</sup>, Bridgman방법<sup>[9]</sup>, zone melting방법<sup>[10]</sup> 및 Czochralski방법<sup>[11]</sup> 등이 있으며, CsI의 섬광체 특성은 불순물의 종류와 농도, 불순물-공격자 쌍과 같은 여러 가지 격자결합의 결합 등에 관계되므로 단결정 성장방법 뿐만 아니라 성장조건(시작물질의 순도, 도가니, 성장률과 성장분위기 등)에도 관계된다.

본 연구에서는 Czochralski방법을 사용하여 void, 불순물 및 색중심 등 여러 가지 격자결합이 적고 방사선 손상을 적게 받는 CsI 단결정 섬광체를 육성하기 위하여 결정화과정을 반복하여 불필요한 불순물을 제거하였으며, 그리고 육성된 단결정에 18 MeV의 전자선을 100 Gy 조사하였을 때 광투과율의 변화가 없고, 그리고 자외선에 대한 열형광강도(격자결합의 밀도에 비해)와 glow피이크의 수(trap준위에 관계)가 최소가 되도록 하는 최적 육성조건을 결정하였다. 그리고 육성한 CsI 단결정의 결정구조와 격자상수를 확인하고, trap의 깊이(활성화에너지) 및 주파수 인자를 구하였다.

## II. 실험

### 1. 종자결정과 CsI 단결정 육성

Czochralski방법으로 CsI 단결정을 육성하는데 필요한 종자결정을 육성하기 위하여 한쪽 끝면이 W자 모양인 백금봉(직경 2.5 mm)을 CsI 용액에 넣고 용액의 온도가 620 °C일 때 백금봉의 회전속도를 20 rpm으로 유지하면서 5 mm/h의 속도로 인상시켰다. 이렇게 성장한 결정의 크기와 모양은 직경이 약 10 mm, 길이가 약 30 mm 정도인 4각의 타원형이었다. 이 CsI 결정

중에서 결정질이 좋은 중간 부분을 결정성장을 위한 종자결정으로 사용하였다.

일반적으로 할로겐화 알칼리 단결정의 섬광체 특성은 출발물질, 육성방법 및 육성분위기 등 결정성장 매개변수와 밀접한 관계가 있다. 그리고 Czochralski방법으로 단결정을 육성하는 경우 단결정의 품질에 큰 영향을 미치는 여러 가지 격자결합 및 void의 발생은 성장계면의 형태와 변화에 밀접한 관계가 있다<sup>[12,13]</sup>. 그 때문에 여러 연구자들은 성장계면의 형태, 인상속도, 온도분포, 육성분위기 및 결정회전속도 등의 영향을 조사하였다<sup>[14,15]</sup>.

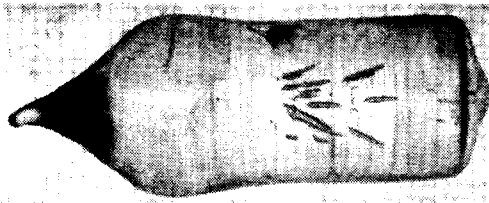
본 실험에서는 성장계면의 온도변화를 최소로 하기 위하여 고주파 유도 가열코일을 내경 26 cm, 길이 30 cm의 원통형 스텐레스통(챔버)속에 장치하고, 발열체인 백금도가니를 석영관, 알루미늄관 및 알루미늄 뚜껑으로 감싸서 유출되는 열을 차폐하였다. 그리고 결정성장 초기에 결함(defect)의 전파 방지와 용이 성장 속도로의 성장을 유도하기 위해 목을 만들었다.

CsI 분말에 포함되어 있는 음이온 불순물과 물질을 취급하는 동안 공기로부터 유입된 불순물( $H_2O, CO_2$ )을 제거하기 위하여 원료분말을 온도 450 °C,  $10^2$  torr의 진공 속에서 60분간 건조시킨 후 용융하였다.

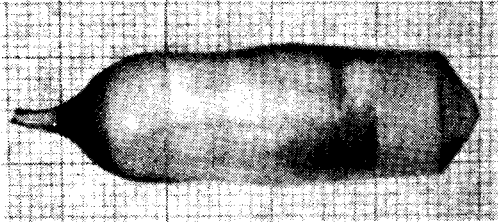
처음에 인상속도를 5 mm/h, 결정회전속도를 30 rpm으로 고정하고 챔버내의 질소가스 압력을 1 atm으로 하였을 경우에는 결정성장시 CsI가 매우많이 증발하고, 또한 CsI 용액내에 기포가 발생하였다(그림 1(a)). 따라서 본 실험에서는 CsI의 증발과 기포의 발생을 억제하기 위하여 챔버내의 질소가스 압력을 1.5 atm이상 유지하였다.

인상속도는 예비적 실험에서 3, 5, 8, 10 mm/h로 변화시키면서 단결정을 육성하여 보았으나 이 범위 내에서는 인상속도가 육성한 단결정의 질에 큰 영향을 주지 않으므로 육성시간과 에너지를 절약하기 위하여 본 실험에서는 8 mm/h로 하였다. 다음에 인상속도를 8 mm/h로 고정하고 결정회전속도를 10, 20, 30, 40, 50, 60 rpm으로 변화시켰다. 결정회전속도를 60 rpm으로 하여 성장시킨 단결정은 표면에 주름이 생기고 약간 구부러졌다.

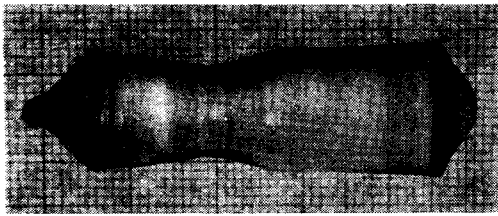
그림 1은 본 실험에서 육성한 CsI 단결정들이며, 그림 1(a)는 1 atm의 질소 분위기속에서, (b)와 (c)는 1.5 atm의 질소 분위기속에서 회전속도를 각각 40 rpm과 60 rpm으로하여 육성한 CsI 단결정들이다.



(a) CsI(10):1st



(b) CsI(40):1st



(c) CsI(60):1st

그림 1. 본 실험에서 육성한 CsI 단결정  
Fig. 1. Photographs of grown CsI single crystals.

CsI 분말속에 포함 되어있는 여러 가지 종류의 불순물 가운데 어떤 원소들은 방사선 조사에 의해 착색을 일으키며, 섬광체 특성을 저하 시키는 원인이 되므로 본 실험에서는 CsI 단결정내의 불필요한 불순물과 이로 인한 격자결함을 줄이기 위하여 결정화과정을 반복하였다. 순도 99.9 %의 CsI 분말을 출발물질로 하여 1차 육성한 단결정 중에서 결정질이 좋은 부분만을 잘라서 2차 결정성장을 위한 출발물질로 사용하였으며, 이러한 결정화 과정을 4회 반복하였다. 그러나 3회 이상부터는 불순물의 농도가 거의 감소되지 않았다.

## 2. 시편제작 및 측정

육성한 CsI 단결정의 광투과율을 측정하기 위한 시편은 직경 10 mm, 두께 6 mm의 원통형으로 제작하였다. 그리고 열형광 glow곡선을 측정하기 위한 시편

의 크기는  $7 \times 7 \times 1 \text{ mm}^3$ 으로 만들었다. CsI 단결정은 흡습성이 약간 있으므로 시편의 양면을  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $0.02 \mu\text{m}$ ) 분말로 연마한 후 polishing cloth(BUEHLER)위에서 메칠알콜과 ZnO 분말을 사용하여 연마하였다. 그리고 시편을 준비하는 과정에서 일어날 수 있는 역학적인 변형과 햇빛 및 방사선조사에 의해 trap에 포획된 전자들을 완전히 방출하기 위해 모든 시편들은 측정 전후  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  진공 속에서 15 분간 열처리하였다.

시편의 종류는 결정회전 속도 (10, 20, 30, 40, 50, 60 rpm)에 따라 CsI(10):1st, CsI(20):1st, CsI(30):1st, CsI(40):1st, CsI(50):1st, CsI(60):1st로 표시하였으며, CsI:1st중에서 void, 색갈 및 이물질 등이 없는 결정질이 좋은 부분만을 잘라내어 이것을 시작물질로하여 결정화과정을 반복한 CsI 단결정, 즉 결정화과정을 2회 반복한 CsI 단결정을 CsI:2nd라 하였으며, 결정화과정을 3회 반복하여 성장시킨 CsI 단결정을 CsI:3rd로 표시하였다.

육성된 여러 가지 CsI 단결정의 방사선손상을 측정하기 위하여 본 실험에서는 NEC1018 선형가속기에서 나오는 18 MeV의 전자빔을 시료에 조사하였다. 그리고 전자빔의 선량은 MARKUS type plate chamber로 측정하였다. 전자빔 조사 전후의 광투과율은 분광광도계(UV spectrophotometer : HITACHI U-3210)로 측정하였다. 그리고 광투과율은 공기를 기준으로 하여 측정하였으며, 측정시 시료의 표면에서 일어나는 반사와 산란에 의한 광투과율의 손실에 대해서는 보정하지 않았다.

열형광 glow 곡선을 측정하기 위하여 시료 위에 250~400 nm범위만을 주로 통과시키는 band pass filter(CVI SUG-11)를 놓고 자외선 형광등에서 나오는 자외선을 조사하였다. 그리고 열형광을 측정하기 위한 장치는 직접 제작한 열형광 측정장치를 사용하였다. 가열시 섬광체에서 방출되는 열형광은 광전자증배관(RCA type 5819)으로 검출하여 전기적 신호로 바꾸고 직류증폭기에서 증폭한 후 ADC(Analogue Digital Converter)에서 디지털신호로 변환하여 386컴퓨터에 입력하였다.

또한 육성한 CsI 단결정 내에 포함된 불필요한 불순물농도는 ICP-AES(ICP-Atomic Emission Spectrometer, model ICO-IRIS)와 AAS(Atomic Absorption Spectrophotometer, model AASCANI and Smith-Hieftje 4000)을 사용하여 분석하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. XRD분석

백금봉을 사용하여 육성한 CsI 종자결정의 X선 회절상을 측정하였다. X선원은 nickel 필터를 통과시켜 얻은  $\text{CuK}\alpha$ 로 파장  $\lambda$ 는 1.5406Å 이었고, 주사속도는 분당 2° 로 하였으며,  $2\theta$  각은 20° 부터 80° 까지 측정하였다. 그림 2는 CsI 종자결정의 성장방향에 수직한 면의 Miller지수이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 종자결정은 대략 (110)면으로 성장되었다.

그림 3은 본 실험에서 육성한 CsI 단결정의 격자상수와 결정구조를 분석하기 위하여 분말법으로 구한 X선 회절상이다. 회절무늬는 (110), (200), (211), (220), (310), (222) 및 (321)면 등에서 피크가 나타났다. 이 Miller지수 ( $h k l$ ) 값들은 JCPDS 값과 잘 일치하므로, 육성한 CsI 단결정은 CsCl 구조와 같은 체심입방체로

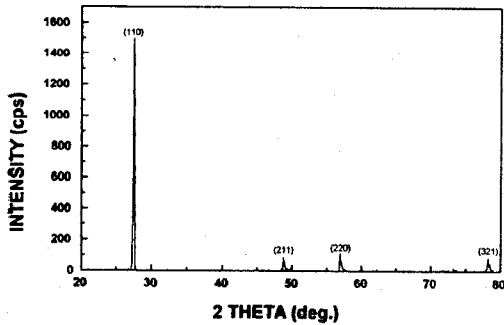


그림 2. CsI 종자결정의 X선 회절상  
Fig. 2. X-ray diffraction pattern of CsI seed crystal.

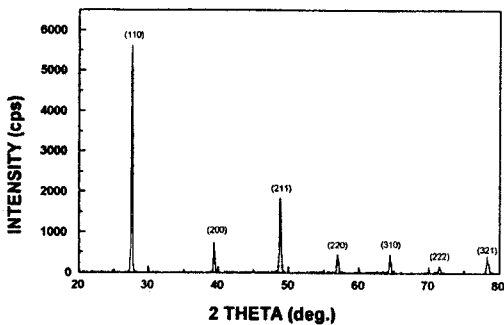


그림 3. 육성한 CsI 단결정분말의 X선 회절상  
Fig. 3. X-ray diffraction pattern of CsI crystal powder.

성장 되었음을 알 수 있었다. 그리고 측정된  $2\theta$ 로부터 구한 단결정의 격자상수  $a_0$ 는 약 4.568Å 이었다.

#### 2. 광투과율

일반적으로 단결정 섬광체는 섬광체내에 공격자, 격자간 원자, 전위(dislocation), 불순물, void등의 격자결함이 많을수록 방사선 손상을 잘 받으며, 또한 방사선 손상을 받은 섬광체는 광생성을, 에너지분해능 및 광투과율 등이 저하한다. 따라서 최적육성조건을 구하기 위하여 여러 가지 결정회전속도로 육성한 CsI:1st에 방사선을 조사하기 전과 후의 광투과율을 측정하였다.

그림 4는 여러 가지 결정회전속도로 육성한 CsI(pure) 단결정에 18 MeV의 전자빔을 100 Gy 조사하기 전과 후의 광투과율의 변화이며, 조사율(照射率)은  $1.8 \times 10^4$  rad/hr이었다. 결정회전속도를 10 rpm과 20 rpm으로 하여 육성한 CsI(10):1st와 CsI(20):1st에 전자빔을 조사한 후 300~800 nm 사이에서 측정된 광투과율은 전자빔 조사 전에 비해 각각 약 5% 감소하였다. 반면에 CsI(30):1st, CsI(40):1st, CsI(50):1st 및 CsI(60):1st의 광투과율은 300 nm 부근에서 약간의 감소가 있을 뿐 장파장에서는 거의 변화가 없었다. 이것은 결정회전속도가 작을 경우 결정중심부에 형성된 faceted core에 의해 여러 가지 격자결함들이 생성되었기 때문에 이로 인해 방사선 손상을 많이 받았으며, 또한 광투과율이 감소하였다고 생각된다.

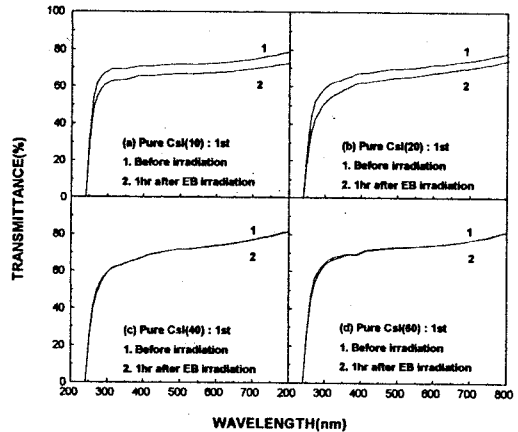


그림 4. 18 MeV 전자빔으로 조사하기 전과 후의 광투과율곡선  
Fig. 4. Transmission curves before and after the irradiation with 18 MeV electron beam.

3. 열형광 glow곡선

열형광 glow곡선은 금지대내에 있는 trap준위에 대한 정보를 가지고 있으며, 이 trap들은 단결정내의 공격자, 격자간 원자 혹은 불순물 등과 같은 격자결함들이다. 그리고 이러한 격자결함은 CsI 섬광체의 광투과율, 광생성을 및 에너지 분해능 등을 저하시키며, 또한 방사선손상을 일으키는데 중요한 역할을 한다.

그림 5와 6은 본 실험에서 육성한 CsI 단결정에 자외선을 1분간 조사한 후 6.8 °C/sec의 선형가열율로 가열하여 측정된 열형광 glow곡선이다. 열형광강도는 trap의 밀도에 비례하며 glow피크의 수는 trap준위에 관계된다. 그림 5는 결정회전속도를 10, 20, 40, 60 rpm으로하여 육성한 CsI 단결정의 열형광 glow곡선이다. peak 1, peak 2 및 peak 3의 온도와 상대적 열형광강도는 표 1에 나타내었다. 열형광강도는 CsI(10):1st와 CsI(20):1st가 상대적으로 매우 높고, 반면에 CsI(40):1st의 열형광강도는 가장 작을 뿐만 아니라 peak 3이 나타나지 않았다. 이것은 결정회전속도가 10, 20 rpm일 때에는 faceted core에 의해 공격자, 격자간 원자 등의 열형광 trap이 많이 생성되었고, 결정회전속도가 40 rpm일 때에는 trap의 밀도가 상대적으로 감소하였으며, 또한 peak 3에 해당되는 trap이 생성되지 않았기 때문이다. 각 시편들의 열형광강도의 크기는 모두 달랐으나

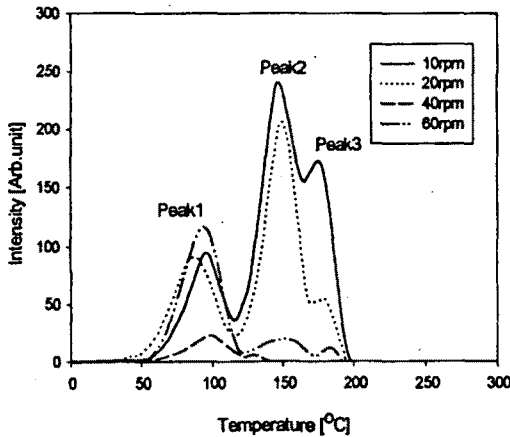


그림 5. 열형광 glow 곡선

(a) CsI(10):1st, (b) CsI(20):1st, (c) CsI(40):1st, (d) CsI(60):1st

Fig. 5. Thermoluminescence glow curves of

(a) CsI(10):1st, (b) CsI(20):1st, (c) CsI(40):1st, (d) CsI(60):1st.

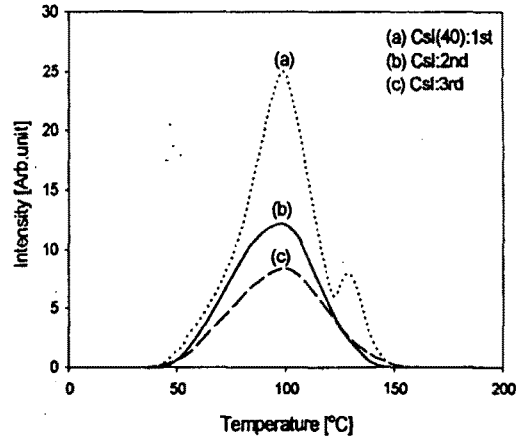


그림 6. 열형광 glow 곡선 (a) CsI(40):1st, (b) CsI:2nd, (c) CsI:3rd

Fig. 6. Thermoluminescence glow curves of (a) CsI(40):1st, (b) CsI:2nd, (c) CsI:3rd.

peak 1, peak 2, peak 3의 peak온도는 대체로 일치하였으며, 열형광 glow곡선의 전체적인 구조는 변화가 없었다. 이것은 본 실험에서 육성한 CsI 단결정 내에는 에너지 준위가 같은 trap들이 존재한다는 것을 의미한다.

일반적으로 섬광체가 방사선 손상을 받는 원인은 두 가지이다. 하나는 결정의 고유특성에 기인한 것으로 F 중심과, 이 보다 더욱 복잡한 색중심들에 기인한 착색으로써 host물질의 종류와 방사선원에 의존한다. 그리고 다른 하나는 불순물에 기인한 특성으로써 착색과 잔광 및 열형광을 일으킨다. 어떤 금속원소 불순물은 방사선조사에 의해 생성된 전자 혹은 정공을 포획하여 host격자에서 고유의 가전자를 변화시킨다. 불순물에 기인한 가전자의 변화는 가시광선 혹은 자외선 영역에 흡수띠를 일으키고, 그리고 광출력을 감소시킨다. 그러므로 host물질에서 불순물을 가능한 완전히 제거 해야 한다.

표 2는 CsI 분말(Aldrich 순도 99.9%)과 CsI 분말을 출발물질로 하여 육성한 CsI:1st, 결정화 과정을 반복하여 육성한 CsI:2nd 및 CsI:3rd 단결정 내에 분포되어 있는 불순물의 농도이다. 여기서 Ba, Ca, Pb, Mg, Sr, Zn, Li 및 Fe는 ICP-AES로 분석하였고, Na, Ag, K농도는 AAS로 측정하였다.

CsI 분말속의 금속원소 불순물의 총량은 약 15,823 ppm이었고, CsI:1st내의 금속원소 불순물의 총량은

표 1. CsI 단결정들의 활성화에너지 E, 주파수인자 s, 열형광 강도 및 피이크 온도

Table 1. Activation energy E, frequency factor s, TL intensity and peak temperature of CsI single crystals.

Sample		CsI(10)	CsI(20)	CsI(40)	CsI(60)	CsI	CsI
Item		:1st	:1st	:1st	:1st	:2nd	:3rd
Peak 1	Temperature (°C)	95	87	97.5	92.5	98	99
	TL intensity (arb. unit)	100	91	25	137	12.2	8.5
Peak 2	Temperature (°C)	147	150	127.5	152	-	-
	TL intensity (arb. unit)	245	206	7.9	39.8	-	-
Peak 3	Temperature (°C)	175	177	-	182	-	-
	TL intensity (arb. unit)	178	55	-	32	-	-
Activation energy (eV)		-	-	-	-	-	0.45
Frequency factor (s <sup>-1</sup> )		-	-	-	-	-	5.18×10 <sup>5</sup>

표 2. CsI 원료분말과 결정화 과정을 반복한 CsI 단결정내 포함되어 있는 불순물농도[ppm]

Table 2. Trace impurity concentrations [ppm] in the CsI powder and CsI crystals repeated crystallization processes.

Sample	Impurity										
	Na	Ag	K	Ba	Ca	Pb	Mg	Sr	Zn	Li	Fe
CsI powder	5.706	0.700	3.293	2.027	2.863	0.200	0.296	0.112	0.542	0.031	0.053
CsI(40):1st	2.013	0.518	2.937	0.049	1.842	0.103	0.210	0.015	0.543	0.023	0.035
CsI:2nd	0.951	0.493	1.791	0.021	1.280	-	0.190	0.007	0.517	-	0.025
CsI:3rd	0.610	0.428	1.560	0.005	0.573	-	0.128	-	0.423	-	0.012

8.288 ppm 이었다. 그리고 결정화과정을 반복한 CsI:2nd와 CsI:3rd의 경우에는 각각 5.275 ppm 및 3.739 ppm 이었다. 이와 같이 결정화과정을 반복하면 불필요한 불순물 농도가 감소함을 알 수 있다.

그림 6은 결정화과정을 반복하여 얻은 CsI 단결정의 열형광 glow곡선이다. 이때 CsI:2nd와 CsI:3rd 단결정의 육성시 결정회전속도는 40 rpm으로 하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 CsI(40):1st의 열형광강도가 가장 컸으며, CsI:3rd의 glow곡선은 단일 peak이었다. 이것은 결정화과정을 반복할수록 불순물의 밀도가 감소함으로써 인해 격자결함인 trap의 종류와 밀도가 감소하였

음을 의미한다.

그림 7은 CsI:3rd의 활성화에너지와 주파수인자를 가열율법(various heating rate method)으로 구하기 위하여 선형가열율  $\beta$ 를 4.34 °C/sec~9.05 °C/sec로 변화시키면서 측정된 glow곡선이다. 열형광강도는 가열율의 증가에 따라 증가하였다. 각각의 glow곡선의 피이크온도  $T_m$ 을 구하고,  $\ln(T_m^2/\beta)$ 을  $1/T_m$ 에 대해 최소자승법으로 fitting하면 그림 8과 같다. 이 직선의 기울기로부터 구한 활성화에너지 E는 약 0.45 eV이었고, 이것을  $\beta E/kT_m^2 = s \exp(-E/kT_m)$ <sup>[16]</sup>에 대입하여 구한 주파수인자 값은  $5.18 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ 이었다.

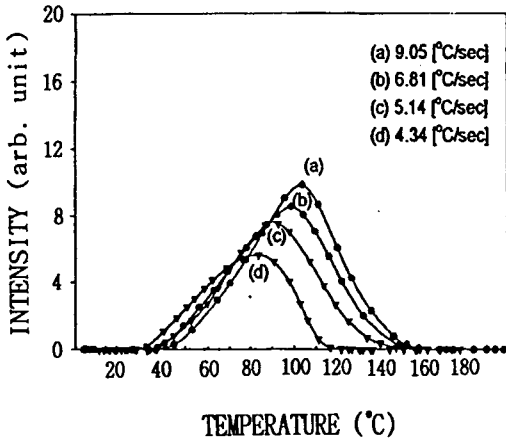


그림 7. 가열율에 대한 CsI:3rd 단결정의 glow 곡선  
 Fig. 7. Glow curves of the grown CsI:3rd single crystal with various heating rates.

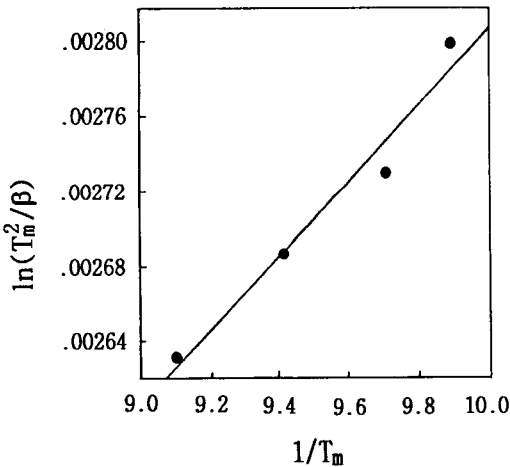


그림 8. CsI:3rd 단결정에서 가열율변화에 따른

$$\frac{1}{T_m} \text{에 대한 } \ln \frac{T_m^2}{\beta}$$

Fig. 8. Various heating rate plots of  $\ln \frac{T_m^2}{\beta}$  vs.

$$\frac{1}{T_m} \text{ for the grown CsI:3rd single crystal.}$$

IV. 결 론

섬광체 특성이 좋고 방사선 손상을 적게 받으며, 그리고 기포와 void가 없고 격자결함이 적은 CsI 단결정을 육성하기 위한 결정성장 매개변수를 결정하기 위하

여 1.5 atm의 질소 분위기에서 결정회전속도(rpm)와 인상속도(mm/h)등을 변화시켜 육성한 CsI 단결정에 18 MeV 전자선을 100 Gy 조사한 후 광투과율의 감소가 적고, 그리고 열형광 glow곡선을 측정하여 열형광 강도(trap의 밀도에 비례)와 glow피이크의 수(trap준위에 관계)가 적게되는 CsI 단결정의 육성조건을 최적육성조건으로 하였으며, 이때 인상속도는 8 mm/h, 결정회전속도는 40 rpm이었다. 그리고 결정화과정을 반복할수록 불필요한 불순물의 분포와 열형광강도 및 glow 피이크의 수가 감소하였다. 이것은 육성한 CsI 단결정 내에서 격자결함의 종류와 밀도가 감소하였음을 의미한다.

종자결정의 성장방향은 (110)이었다. 그리고 육성한 CsI 단결정의 결정구조는 체심입방체였으며, 격자상수  $a_0$ 은 4.568 Å이었다. CsI:3rd의 경우 활성화 에너지(trap깊이)는 약 0.45 eV이었고, 주파수 인자는  $5.18 \times 10^5 \text{ sec}^{-1}$ 이었다.

감사의 글

※ 본 연구는 1997년도 과학기술처에서 시행한 원자력연구 개발사업의 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] R. Hofstadter, "Properties of scintillation materials", Nucleonics, vol.6, no.5, pp 70, 1950.
- [2] R. Gwin and R. B. Murray, "Scintillation Process in CsI(Tl).I. Comparison with Activator Saturation Model", Physical Review, 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", Physical Review, vol. 131, no.2, pp 508~512, 1963.
- [4] S. Kubota, S. Sakuragi, S. Hashimoto and J. Ruan, "A New Scintillation Material : Pure CsI with 10ns Decay Time", Nucl. Instr. and Meth., vol.A269, pp 275~277, 1988.
- [5] Z. Bian, J. Dobbins and N. Mistry, "The use of Silicon Photodiodes in a CsI(Tl) Calorimeter",

- Nucl. Instr. and Meth., vol. A239, pp 518~526, 1985.
- [6] C. Bebek, "A Cesium Iodide Calorimeter with Photodiodes Readouts for CLEO II," Nucl. Instr. and Meth., vol. A265, pp 258~265, 1988.
- [7] M. R. Farukhi, "Scintillation Detectors for CT Applications", Workshop on Transmission and Emission Computed Tomography, seoul, korea, 1978.
- [8] A. V. Shvnikov and N. N. Sheftal, Growth of Crystals, vol. 1, Consultants Bureau, Inc., pp 202~206, 1959.
- [9] P. Avakian and A. Smakula, "Color Centers in Cesium Halide Single Crystals", Physical Review vol. 120, no. 6, pp 2007~2014, 1960
- [10] H. Besson, D. Chauvy et al J. Rossel, "Note sur la conductivite ionique et la luminescence de CsI purifie par fonte zonale", Helv. Phys. Acta., vol.35, pp 211~219, 1962.
- [11] R. Nitsche, "Crystal Growth and Electrooptical Effect in Bismuth Germanate", J. Appl. Phys. vol. 36, pp 2358, 1965.
- [12] J. A. M. Dikhoff, "Cross-sectional Resistivity Variations in Germanium Single Crystals", Solid-state Electronics, vol.1, pp 202~210, 1960.
- [13] B. Cockayne and J. M. Roslinton, "The Dislocation-free Growth of Gadolinium Gallium Garnet Single Crystals", J. Mater. Sci., vol. 8, pp 601~605, 1973.
- [14] B. Cockayne, M. Chesswas, P. J. Born and J. D. Filby, "The Morphology and Defect Characteristics of Vertically Pulled  $MgAl_2O_4$  Single Crystals", J. Mater. Sci., vol. 4, pp 236~241, 1969.
- [15] B. Cockayne, M. Chesswas and D. B. Gasson, "Faceting and Optical Perfection in Czochralski Grown Garnets and Ruby.", J. Mater. Sci., vol.4, pp 450~456, 1969.
- [16] R. Chen, "On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factors from Glow Curves", J. Appl. Phys., vol. 40, no. 2, pp 570~585, 1969.



著 者 紹 介

도 시 흥

『센서학회지 제2권 제2호』 논문 93-2-2-01, p.3 참조.  
현재 부경대학교 자연과학대학 물리학과 교수



이 우 교

1987년 2월 동의대학교 자연과학  
대학 물리학과 졸업(이학사),  
1991년 2월 부산수산대학교 대학  
원 물리학과 졸업(이학석사),  
1997년~현재 부경대학교 대학원  
물리학과 박사과정. 주관심분야 :

방사선검출기, 방사선 영상 기술



홍 시 영

1983년 2월 국민대학교 공과대학  
전자공학과 졸업(공학사), 1988년  
7월 경북대학교 보건대학원 보건  
학과 졸업(보건학 석사), 1996년~  
현재 부경대학교 대학원 물리학과  
박사과정. 현재 경북 김천대학교

방사선과 교수. 주관심분야 : 방사선 영상기술



방 신 응

1996년 2월 부경대학교 자연과학  
대학 물리학과 졸업(이학사),  
1998년 2월 부경대학교 대학원 물  
리학과 졸업(이학석사). 주관심분  
야 : 방사선검출기



강 갑 중

1963년 2월 경북대학교 사범대학  
물리학과 졸업(이학사), 1982년 8  
월 부산대학교 교육대학원 물리학  
과 졸업(물리교육학 석사), 1989년  
8월 영남대학교 대학원 물리학과  
졸업(이학 박사), 현재 부경대학교

자연과학대학 물리학과 교수

김 도 성

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

김 완

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

강 희 동

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