

## CdTe검출기에서 전하수송에 대한 몽테-까를로모의

염진혁, 김만호

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 현실발전의 요구에 맞게 나라의 과학기술을 빨리 발전시켜야 하겠습니다.》

(《김정일선집》 증보판 제11권 134페이지)

화합물반도체검출기들은 넓은 금지띠, 상온에서 동작하는것을 비롯하여 여러가지 우점들을 가지므로 오늘날 세계적으로 광범히 리용되고있다. 그러나 CdTe검출기는 섬광검출기나 다른 반도체검출기들과는 달리 고유한 스펙트르이지러짐을 가지고있다. 이것을 개선하기 위하여 검출기의 스펙트르에 대한 모의와 스펙트르 및 분해능을 개선하기 위한 여러가지 회로적인 방법들에 대한 연구[1, 2]들이 진행되었지만 구체적인 모의방법에 대하여 밝혀진것이 없다.

론문에서는 CdTe검출기의 스펙트르이지러짐을 회로적으로 개선하기 위한 합리적인 방법을 찾기 위하여 CdTe검출기에서의 전하수송과정에 대한 모의를 정확히 진행할수 있는 모의방법을 확립하기 위한 연구를 진행하였다.

CZT와 CdTe검출기들은 검출효율이 높고 펄티에효과에 의한 뎡각을 리용할수 있으므로 검출부를 작게 할수 있으며 상온에서도 스펙트르측정을 할수 있는 우점이 있다.

CdTe검출기는 이러한 우점을 가지고있는 반면에 HPGe 및 Si(Li)검출기와는 달리 전극에서 나르개들을 완전히 수집하지 못하여 저에너지구역의 스펙트르가 이지러지는 결함도 있다.[2] 일반적으로 반도체검출기에서는 과잉전하가 발생할 때 열적인 평형이 파괴되게 되며 포획위치에서 일어나는 재결합과정을 통하여 평형상태로 되돌아온다. 이때 전자와 구멍은 각각  $\tau_e$ 와  $\tau_h$ 만 한 수명을 가지고 지수함수적으로 줄어든다. Si와 Ge는 포획위치들이 대단히 적으며 나르개들의 수명은 수ms이다. 그러나 CdTe의 경우 수명은 전형적으로  $\tau_e = 1 \cdot 10^{-6}$ s와  $\tau_h = 0.05 \cdot 10^{-6}$ s이다. 따라서 구멍의 수명은 수송시간보다 훨씬 짧게 되며 유도전류가 감소하게 된다.

CdTe검출기들은 2극소자구조를 가지며 보다 높은 편극전압을 걸어주면 전자공학잡음을 줄일수 있다. 또한 CdTe 2극소자들이 얇기때문에 전하들의 이동거리가 작으며 이것은 스펙트르를 개선하는데 유리한 환경으로 된다. 정량적으로 전체 전하에 대한 유도전하의 비 즉  $Q/Q_0$ 로 정의되는 전하수집효율은 호상작용깊이에 따르는 함수이며 일반적으로는 포획깊이를 리용하여 표시할수 있다. 내부전기마당이 균일하다면 헤츠(Hecht)관계식에 의하여 다음과 같이 쓸수 있다.[1]

$$\eta(x) = \left( \frac{\lambda_e}{L} \right) \left( 1 - e^{-\frac{x}{\lambda_e}} \right) + \left( \frac{\lambda_h}{L} \right) \left( 1 - e^{-\frac{L-x}{\lambda_h}} \right)$$

여기서  $\lambda_e, \lambda_h$ 들은 각각 전자와 구멍의 포획깊이들이며  $L$ 은 검출기두께이다.

CdTe검출기인 경우 전자들은 거의 모두 수집되지만 구멍들은 전체가 수집되지 않는다. 따라서 이 검출기로  $\gamma$  선스펙트르를 정확히 측정하자면 일정한 보정을 해야 한다.

우리는 CdTe검출기에서 전하수송과정을 중성자 및 대전립자수송모의프로그램 MCNP-5를 리용하여 모의하였다.

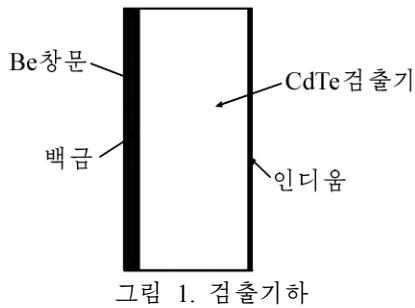


그림 1. 검출기하

모의에서 검출기하는 그림 1과 같이 구성하였다. 검출기의 앞에는  $100\mu\text{m}$ 의 Be창이 있고 그뒤에 백금( $0.2\mu\text{m}$ , 음극)과 인디움( $0.1\mu\text{m}$ , 양극)으로 된 두 전극들사이에 두께가 1mm이고 면적이  $9\text{mm}^2$ 인 CdTe결정(시준기는 작은 구멍을 가진 텅스텐(두께 2mm, 직경 5mm)을 리용하였고 원천은 검출기로부터 1m 거리에 스펙트르에서 겹침효과와 불감시간손실이 최소로 되도록 정면에 설치하였다. 원천으로는  $^{57}\text{Co}$ 과  $^{241}\text{Am}$ 을,

텔리카드로는 F8을 리용하였다. 세포카드와 표면카드를 표에 주었다.

표. 세포카드와 표면카드

| 세 포 카 드 |                       |         |  | 표 면 카 드 |              |
|---------|-----------------------|---------|--|---------|--------------|
| 1       | 1 -1.85 -10 20 -30    | Be창문    |  | 10      | cx 0.169 3   |
| 2       | 2 -21.4 -10 30 -40    | Pt전극    |  | 20      | px -0.010 02 |
| 3       | 3 -6.20 -10 40 -50    | CdTe검출기 |  | 30      | px -0.000 02 |
| 4       | 4 -7.31 -10 50 -60    | In전극    |  | 40      | px 0         |
| 5       | 0 -70 (10 : -20 : 60) |         |  | 50      | px 0.1       |
| 6       | 0 70                  |         |  | 60      | px 0.100 01  |
|         |                       |         |  | 70      | so 500       |

모의계산에서 오차를 최대한 줄이기 위하여 시간계수방법을 리용하였으며 계산시간을 300min으로 하였다. 모의결과들은 그림 2-4와 같다.

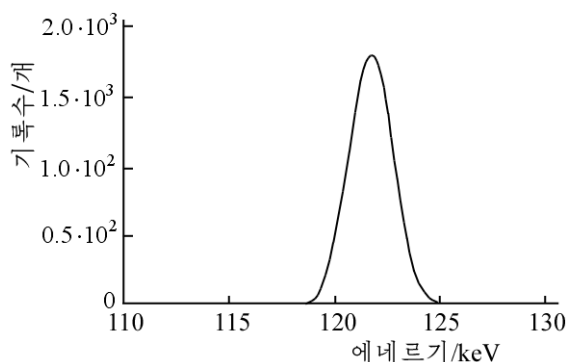


그림 2. NaI(Tl)검출기로 얻은  $^{57}\text{Co}$ 의 122keV 스펙트르

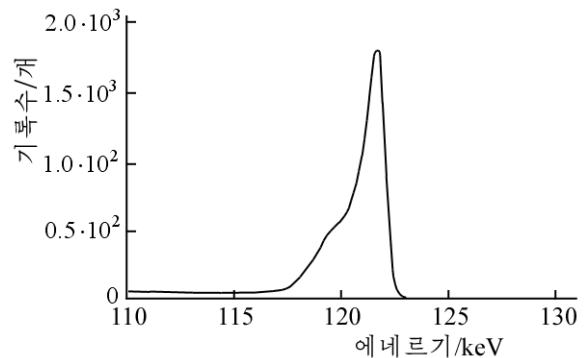


그림 3. CdTe검출기로 얻은  $^{57}\text{Co}$ 의 122keV 스펙트르

그림 2에서 NaI(Tl)검출기로 측정된  $^{57}\text{Co}$ 의 122keV봉우리에 대한 스펙트르를 보여주었는데 가우스분포모양의 봉우리가 나타난다는것을 알수 있다. 그러나 그림 3에서 보여준 것과 같이 같은 원천에 대하여 CdTe검출기로 측정된 스펙트르에서는 비대칭 즉 저에너지기부분에서의 긴 꼬리가 생기었다. 이것은 CdTe검출기가 섬광검출기나 다른 반도체

검출기와는 달리 고유한 스펙트럼이 지러짐을 나타내며 선행연구결과[1]와도 일치한다는 것을 보여준다.

그림 4에  $^{241}\text{Am}$  원천인 경우 CdTe검출기로 측정된 스펙트럼과 모의스펙트럼을 비교하여 보여주었다.

그림 4에서 보는바와 같이 실험결과와 모의결과는 거의 일치하다는 것을 알 수 있다. CdTe검출기의 저에너지부분에서 스펙트럼이 이지러지는 것은 바로 전극에서 전하포획이 일어나 나르개들이 전부 수집되지 못하기 때문이다.

연구된 모의방법은 CdTe검출기의 스펙트럼이 지러짐을 줄이기 위한 회로적인 방법을 개발하는데 리용할 수 있다.

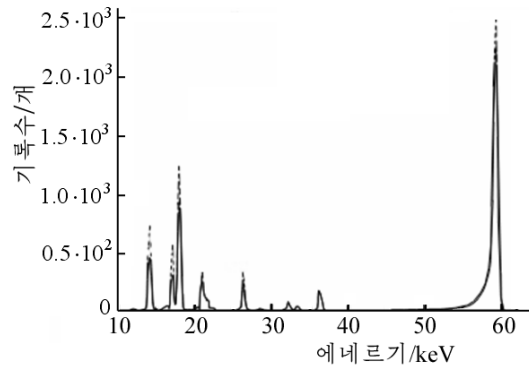


그림 4.  $^{241}\text{Am}$  원천인 경우 CdTe검출기로 측정된 스펙트럼과 모의스펙트럼  
실선-실험결과, 점선-모의결과

## 맺는 말

논문에서는 중성자 및 대전립자수송모의프로그램 MCNP-5를 리용하여 전하의 불완전 수집효과를 반영하는 CdTe검출기의 스펙트럼을 정확하게 얻을 수 있는 모의방법을 확립하였다. 모의결과들은 실험결과들과 정확하게 일치하였다.

## 참고 문헌

- [1] Robert Redus et al.; ANCZT-2, 3, 1, 2007.
- [2] Alessandra Tomal et al.; ISSSD, 642, 2014.

주체106(2017)년 12월 5일 원고접수

## Monte-Carlo Simulation of the Charge Transport in CdTe Detectors

Yom Jin Hyok, Kim Man Ho

In this paper we have established simulation method by which we could obtain correctly the spectrum of CdTe detector representing incomplete charge collection effect by using MCNP-5.

Key words: CdTe detector, charge trapping