

연속 엑스선 에너지에 대한 반도체 검출기의 흡수효율 추정

강상식 · 이광옥, 박상진, 문용수, 윤인찬 · 허예지 · 김찬욱 · 박정은 · 박지균*
한국국제대학교 방사선학과
E-mail: kss94@nate.com

중심어 (keyword) : MCNP, 반도체, X-ray, 흡수효율

서 론

최근 방사선 방호를 위한 목적으로 반도체를 이용한 전자선량계가 개발되어 사용되어지고 있다. 기존 가스충전형 검출기에 비해 Si, Ge과 같은 반도체 검출기는 에너지 분해능이 좋고, 변환효율 및 응답특성등이 우수한 장점이 있다. 하지만, Si과 Ge과 같은 반도체는 열적잡음에 의한 노이즈의 증가에 따른 냉각장치의 필요성과 고순도 반도체 증착이 요구되므로 제조비용이 높은 단점이 있다. 또한 최근 진단 영역의 연속 X선을 이용하여 의료영상 정보를 디지털 영상으로 획득하는 디지털 방사선영상 검출기가 보급되어 반도체 검출기에 대한 연구가 활발하다. 현재 상용화되어 있는 비정질 셀레늄(a-Se)은 상온에서도 열적 잡음이 낮아 높은 신호대 잡음비(SNR)를 가지며 영상신호의 분해능도 우수한 장점이 있다. 하지만, 낮은 원자번호에 의해 높은 에너지에 대한 흡수효율을 높이기 위해 변환층의 두께를 높여야 하는 문제점이 있다. 본 연구에서는 연속 X선 에너지 영역에서 최근 연구되어지고 있는 반도체 물질들에 대한 에너지 흡수효율을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 모의 추정하여 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

시뮬레이션에 이용된 방사선 변환체 물질은

최근 활발히 연구되고 있는 Se, CdTe, HgI₂, GaAs, Si, CsI 이며, 면적은 2cm×2cm로 하였고, 100 μ m에서부터 500 μ m까지 두께에 따른 X선 광자의 흡수율을 추정하였다. 이용된 X선 Source는 진단 영역의 70 kVp에 해당하는 X선 Spectrum를 이용하였다. 각 물질에 대해서 X선이 상호작용한 흡수율은 다음의 수식과 같다.

$$\Delta I = I_0 - I, I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

여기서 I_0 는 입사 X선 강도, I 는 투과된 X선 강도, μ 는 선감약계수이고 x 는 물질의 두께이다. 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 임의의 x 에 대한 I 를 추정하여 ΔI 를 계산하여 그 결과값을 비교하였다.

본 연구에서 이용된 몬테카를로 시뮬레이션 프로그램은 Los Alamos National Laboratory(LANL)에서 개발된 Monte Carlo Neutron and Photon Code version 4C(MCNP 4C)를 이용하였다. 변환층은 단일 pixel로 구성되고, 면적은 4cm²으로 정의하였다. 사용된 Data card는 Mode, Cell and Surface parameters, Source specification, Tally specification, material specification, Problem cutoffs로 구성하였다.

진단 영역의 X선 Photon들에 대해 입사한 Photon이 물질과 상호 작용하여 통과한 Photon들의 에너지 스펙트럼을 알기 위해 Mode P를 이용하여 X선 Photon들의 Transport를 정의하였다. Cell과 Surface parameter card에서는 광자에 대한 Important를 "1"로 하여 tracking를 계속하였으며, 시편 외부 빈 공간에서는 광자를 막기 위해 Important를 "0"으로 하였다.

본 연구에서 시뮬레이션에 이용된 ERG는 진단 X-선 발생장치의 텅스텐 재질의 X선 Tube에서 발생하는 연속 X선 광자의 에너지 분포 데이터를 Source information(SI), SP(Source probability)를 이용하여 Source energy의 Histogram를 정의하였다. 본 실험에서 X선 관전압을 70 kVp을 이용하였으며, Ripple를 13%, 2.5mm Al의 Filtration에 의해 생성되는 에너지 스펙트럼을 Source data로 이용하였다. Source particle의 Sampling은 SUR를 이용하여 반도체 변환체 직육면체의 표면에서 X-선 광자들을 출발시켰다. Source particle type를 정의하는 PAR는 광자에 해당하는 PAR 2를 이용하였다. 끝으로, Tally specification cards는 F1 Tally를 이용하여 X선의 한 표면에 입사하는 광자가 반대쪽 표면을 통과할 확률을 추정하였다. 50000개의 Source particle들이 진단 영역의 연속 X선 스펙트럼과 동일한 확률로 샘플링 하였다. 또한 이러한 연속 에너지를 가지는 광자의 투과 확률을 에너지별로 구분하여 총 흡수효율을 계산하였다.

결과 및 고찰

아래의 그림 1. 은 MCNP 4C code를 이용하여 다양한 광도전체의 두께에 대한 관전압 70 kVp의 발생 X선 에너지에 대한 흡수도를 나타낸 것이다.

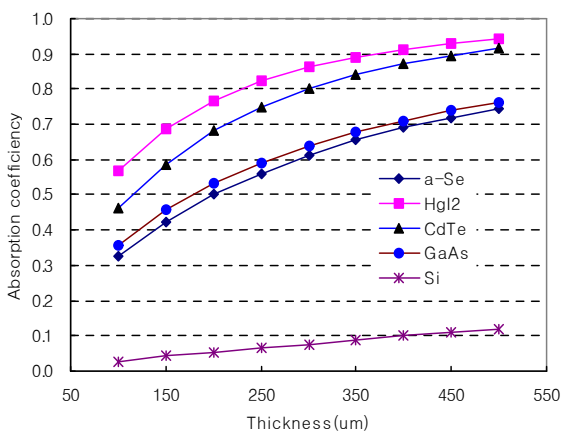


그림 1. 반도체 변환층의 두께에 따른 에너지 흡수효율

그림에서와 같이, HgI₂가 전반적으로 가장 높은 흡수도를 보이며, 250 μ m 이상에서 80% 이상의

에너지를 흡수한다. 이에 비해 a-Se는 500 μ m에서 에너지 흡수도는 74.5%로 HgI₂, CdTe 등의 광도 전체에 비해 흡수효율이 낮음을 알 수 있었다. 또한, a-Se, CsI 및 CsI/a-Se(30 μ m) 구조의 검출기에 대해 400 μ m 이상의 a-Se에서 70% 이상 에너지가 흡수되며, 이에 비해 CsI는 약 300 μ m에서 70%가 흡수되었고, CsI/a-Se(30 μ m)의 다층구조에서 CsI가 200 μ m에서 80% 이상이 흡수가 됨을 알 수 있었다.

결론

시뮬레이션 결과를 통하여 다양한 변환체의 두께에 따른 X-선 에너지 흡수도를 MCNP 코드를 이용하여 모의 추정할 수 있었다. 현재 상용화된 셀레늄(Se)에 비해 CdTe, HgI₂, GaAs와 같은 반도체 화합물을 방사선 변환층으로 사용할 경우 낮은 두께에서도 50keV 이상의 X선 에너지에 대한 흡수효율이 우수하여 상온에서 동작 가하여 높은 신호대 잡음비(SNR)를 얻을 수 있으므로 사료된다. 또한, 형광층으로 이용되고 있는 CsI는 X-선 에너지의 흡수도는 매우 높았으며, 이를 통하여 CsI와 Se의 이중접합 구조의 두께 최적 설계시 분해능과 검출효율이 우수한 새로운 구조의 고체 방사선 검출기 개발이 가능할 것으로 본 연구를 통해 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임. (No. 2009-0088856)

참고 문헌

1. M. Lachaine and B. G. Fallone, "Monte Carlo simulation of x-ray induced recombination in amorphous selenium", J. Phys. D: Appl. Phys. 33, 2000.
2. M. Hjelm, B. Norlin, and H. -E. Nilsson, "Monte Carlo simulation of the imaging properties of scintillator-coated X-ray pixel detectors", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 509, p. 76-85, 2003.