

전하결합소자의 pn이음층에서 γ 선포임에 의한 전자형성특성

조경수, 고병춘

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 과학기술분야에서 이룩한 성과에 만족하지 말고 나라의 과학기술을 새로운 높은 단계으로 발전시키기 위하여 적극 투쟁하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 133페이지)

전하결합소자는 그 구조와 동작물림새로부터 일반적인 화상수감부로 리용될뿐아니라 자외선과 X선, 적외선 등 넓은 대역의 전자기파들의 측정에도 효과적으로 리용되고있다.[2, 3]

논문에서는 전하결합소자에 의한 γ 선측정의 가능성을 평가하기 위하여 이 소자로 측정할수 있는 γ 선의 에네르기대역과 이 소자의 빛수감구역인 pn이음에서 γ 선의 전자형성특성을 고찰하였다.

1. 전하결합소자로 측정할수 있는 γ 선의 에네르기대역

일반적으로 리용되는 전하결합소자들은 모두 습기와 먼지 등 주위환경의 영향으로부터 화상수감부표면을 보호하기 위하여 소자의 빛입사면우에 약 0.5mm두께의 석영유리를 씌운다. 또한 이 소자를 리용하여 γ 선흐름을 측정하자면 암실조건에 있는 화상수감부에 γ 량자가 호상작용하여 만들어지는 열화소의 신호세기와 열화소수를 평가하여야 한다. 이러한 암실조건은 알루미늄 등 재료로 전하결합소자를 빛차폐하여 실현할수 있지만 이때에는 차폐결함에 의한 γ 선복사에너지흐름의 약화특성을 고려하여야 한다. 경우에 따라서는 γ 선원천과 전하결합소자를 보임광선이 완전차단된 실험실에 함께 설치하는 방식으로도 측정을 할수 있다.

대표적인 옷면수감전하결합소자와 밀면수감전하결합소자에서 전극재료와 빛수감구역 등으로 이루어지는 수직방향의 다층구조는 다음과 같다.(그림 1)

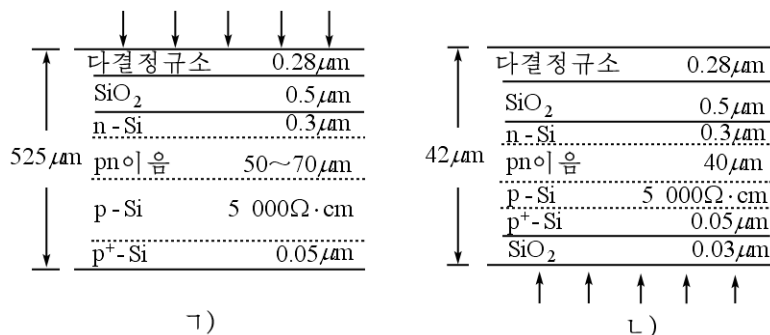


그림 1. 옷면수감전하결합소자(1))와 밀면수감전하결합소자(2))를 이루는 구조재료들의 층구조[1]

그림 1로부터 전하결합소자들의 빛수감부분인 pn이음은 옷면의 빛수감소자와 밑면의 빛수감소자에 따라 차이가 심하지 않으며 대체로 빛입사표면으로부터 약 $1\mu\text{m}$ 부터 수십 μm 까지의 깊이에 형성되어있다는것을 알수 있다.

우의 전하결합소자 수감부표면으로부터의 깊이 x 에서 에네르기가 E 인 γ 선의 흐름을 $\phi(E, x)$ 라고 할 때 이 γ 선의 흡수깊이(평균주행거리)는 방사선다층차폐모의프로그램 MULASSIS 1.19에 의하여 다음과 같은 조건으로부터 평가하였다.

$$\ln \phi(E, 0) - \ln \phi(E, d) = 1 \quad (1)$$

0.5mm SiO_2 보호유리층의 밑에 놓인 구조(그림 1)를 가진 빛결합소자들에서 pn이음층들의 두께구간($1\sim 60\mu\text{m}$)에 해당하는 흡수깊이를 가지는 γ 선의 에네르기구간은 1mm 두께의 보임광선차폐용알루미늄을 리용하는 경우에는 $31\sim 32\text{keV}$ 이며 일반암실조건에서는 $19\sim 20.5\text{keV}$ 이다.

이것은 보임광선대역의 화상수감용전하결합소자들을 리용하여 수십keV까지의 에네르기를 가지는 γ 선흐름을 충분히 측정할수 있다는것을 보여준다.

2. pn이음층에서 γ 선의 투과특성

전하결합소자에서 화상정보는 화소의 pn이음으로 만들어진 콘덴샤에 형성된 전자들의 수에 의하여 이루어진다. 그러므로 이 소자에 의한 γ 선의 측정가능성은 이 pn이음 콘덴샤에서 γ 선에 의한 전자형성특성에 의하여 결정된다.

규소는 원자번호($Z=14$)가 크지 않으므로 수십keV대역의 에네르기를 가지는 γ 선은 전하결합소자의 pn이음층에서 주로 빛전기효과에 의하여 전자를 형성하게 된다.

MULASSIS 1.19에 의하여 평가된 γ 량자가 전하결합소자의 pn이음층에 형성하는 2차 전자들의 에네르기스펙트르는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 1mm두께의 보임광선차폐용알루미늄을 가진 전하결합소자인 경우에 32keV γ 량자의 입사에서는 규소pn이음재료와의 빛전기효상작용에 의하여 에네르기가 17keV 인 단색전자(형성된 2차전자)들의 많은 몫을 차지한다는것을 알수 있다. 그리고 알루미늄이 없는 암실조건에서 19keV γ 량자의 입사경우에는 콤프톤효과에 의한 넓은 에네르기대역의 전자들이 불균일분포를 가진다는것을 알수 있다.

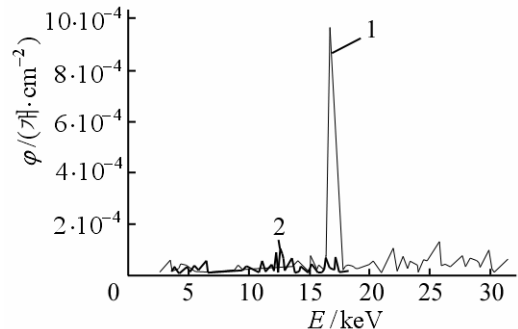


그림 2. γ 량자가 전하결합소자의 pn이음층에 형성하는 2차전자들의 에네르기스펙트르
1-Al 1mm, 32keV, 2-Al 0mm, 19keV

그림 3에서는 소자에서 형성된 2차전자들에 대한 수집효율을 100%로 보고 ^{60}Co (1.250MeV), ^{137}Cs (661.7keV), ^{241}Am (59.54keV)원천들에서 복사되는 γ 량자들이 전하결합소자에 입사할 때 검출기신호출구를 모의평가한 결과를 보여주었다.

우의 평가결과는 입사 γ 량자들의 에네르기에 무관계하게 전하결합소자에 존재하는 pn이음에 의하여 형성되는 출구신호들은 모두 약 30keV 근방에서 최대에네르기스펙트르를 가진다는것을 보여준다. 또한 입사한 γ 선의 에네르기가 클수록 임펄스의 높이는

커지지만 에너지분해능은 더 작아진다는것을 보여준다.

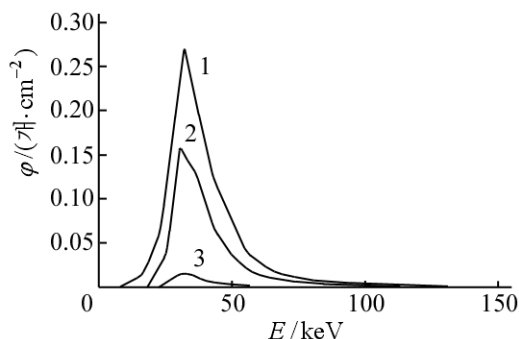


그림 3. γ 량자가 전하결합소자의 pn이음층에 형성하는 2차전자들의 에너지스펙트르

1-3은 γ 량자에너지가

1 250, 661.7, 59.54keV인 경우

이로부터 보임광선대역의 화상수감용으로 만들어진 일반전하결합소자들은 여러가지 방사선환경에서 존재하는 γ 선흐름의 계수용수감요소로 충분히 리용할수 있다.

맺 는 말

1) 보임광선대역의 화상수감용전하결합소자들을 리용하여 수십keV까지의 에너지를 가지는 γ 선흐름을 측정할수 있다는것을 밝혔다.

2) 전하결합소자 pn이음층에서 γ 선의 전자형성특성을 밝히고 보임광선대역의 전하결합소자를 γ 선흐름에 대한 계수용수감요소로 리용할수 있다는것을 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. S. Saoud et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., 61, 6, 3380, 2014.
- [2] B. E. Burke et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., 51, 5, 2322, 2004.
- [3] A. Belousov et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 743, 86, 2014.

주체109(2020)년 9월 5일 원고접수

On the Electron Formation Characteristics in pn Junction of CCD by γ -Ray Irradiation

Jo Kyong Su, Ko Pyong Chun

We have found that γ -ray flux with the energy less than tens of keV can be measured by using the visible ranging CCD. And we have found the electron formation characteristics of γ -ray in pn junction of CCD and have confirmed that the visible ranging CCD can be used as γ -ray counting sensor.

Keywords: CCD, pn junction