

CCD카메라의 중성자 및 γ 선조임에 의한 화질변화특성

고병춘, 황철훈

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)

원자로주변을 비롯한 방사선환경에서 리용되는 CCD카메라들은 일반적으로 중성자와 γ 선조임을 받으며 동작하게 된다. 이 과정에 반도체빛수감화소들속에 만들어지는 변위손상결함들과 이온화손상결함들은 카메라의 동작특성에 영향을 주며 촬영화상의 질을 떨어뜨린다.[1, 2]

본문에서는 몇가지 종류의 CCD카메라들에서 중성자와 γ 선의 조임선량에 따르는 화질변화특성을 실험적으로 평가하고 화질변화물림새를 고찰하였다.

방사선조임실험

CCD카메라들에 대한 중성자조임은 10.8MeV까지의 련속에네르기스펙트르(평균에네르기 4.5MeV)를 가지며 세기가 $1.2 \cdot 10^6$ 개/s 인 $^{239}\text{Pu}-\text{Be}$ 원천을 리용하여 진행하였다. 한편 γ 선조임은 ^{60}Co 원천을 리용하여 진행하였는데 이 원천에서 복사되는 γ 선들의 에네르기는 1.17, 1.33MeV(평균에네르기 1.25MeV)이며 선량세기는 0.009 8Gy/s이다.

CCD카메라들은 방온도에서 방사선이 렌즈를 통하여 화상수감부에 조임되도록 방사선원천앞에 설치하였으며 조임과정에 카메라들은 편의를 걸지 않은 상태에 있었다. 중성자 및 γ 선조임선량에 따르는 CCD카메라의 화질변화특성은 암실조건의 화상에서 열화소수의 변화와 화소들사이의 전하전달률변화들을 측정하여 평가하였다. 암실조건의 화상에서 열화소수의 평가는 MATLAB의 화상처리도구를 리용하여 진행하였으며 전하전달률은 ^{241}Am 의 γ 선원천에 의한 섬광화상들을 처리하여 측정평가하였다.

실험에서 리용한 몇가지 CCD카메라들의 기술적특성은 표와 같다.

표. 몇가지 CCD카메라들의 기술적특성

CCD카메라 종류	화소수	화소크기($\mu\text{m} \times \mu\text{m}$)	렌즈두께/mm	전하전달률
KS720	720×1 280	3×3	3(석영)	0.999 94
STEBOO	480×640	6.45×6.45	1(수지)	0.999 92
LJ 4007	480×640	8.2×8.4	2(수지)	0.999 90

실험결과 및 분석

$1.6 \cdot 10^{12}$ 개/cm²의 중성자조임과 200Gy(Si)의 γ 선조임후 암실조건에서 KS720 CCD카메라의 화상들은 그림 1과 같다.

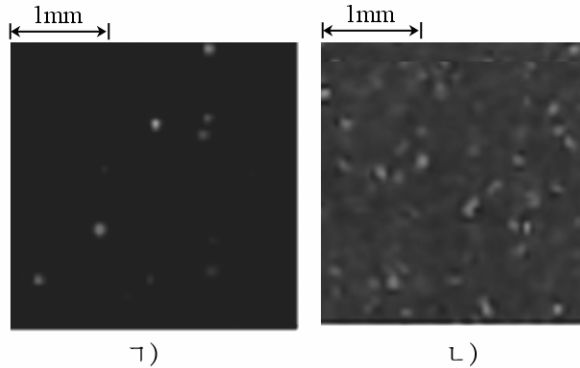


그림 1. 중성자(1) 및 γ 선(2)조임후 암실조건에서 KS720 CCD카메라의 화상

그림 1에서 보는바와 같이 중성자와 γ 선조임한 경우에 암실조건에서 CCD카메라들의 화질변화특성이 서로 다르다는것을 알수 있다. 즉 중성자조임을 받은 카메라에서는 암실조건의 화상에서 열화소들이 뚜렷한 경계를 가지고 나타나지만 γ 선조임의 경우에는 암실조건의 화상에서 대조도가 매우 낮은 불명확한 열화소들이 높은 밀도로 관측되었으며 화상에서 암실조건이 반영되지 못하고 일정한 세기의 밝은 배경화상이 형성되었다는 것을 알수 있다.

CCD카메라들에서 중성자 및 γ 선조임선량(D)에 따르는 전하전달률(η)의 변화에 대한 측정결과는 그림 2, 3과 같다.

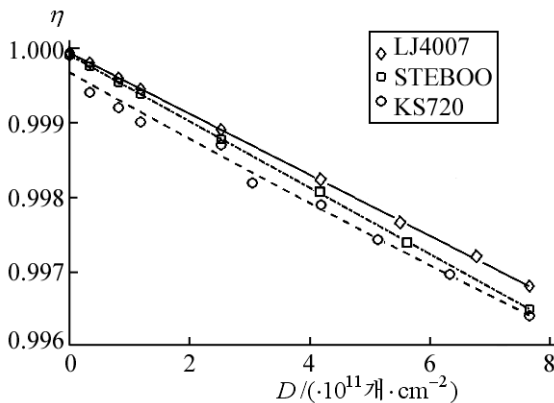


그림 2. CCD카메라들의 중성자조임선량에 따르는 전하전달률의 변화

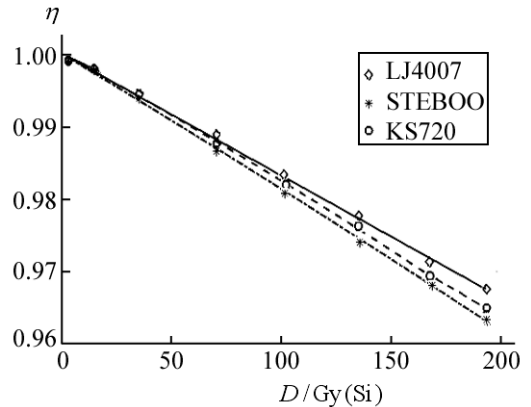


그림 3. CCD카메라들의 γ 선조임선량에 따르는 전하전달률의 변화

CCD카메라의 빛수감화소들은 MOS구조의 콘덴샤로 되어있으며 그 체적의 대부분은 규소반도체로 되어있다.[2] 이 화소들에 고에너지의 중성자를 조임하면 규소살창원자들과의 탄성충돌에 의한 변위손상에 의하여 A-중심(빈살창점-산소원자복합체)과 E-중심(빈살창점-린원자복합체), 쌍빈살창점들과 같은 살창결합들이 형성될수 있다. 이러한 결함복합체들은 화소에 입사한 빛량자들이 형성한 전자들에 대하여 포획중심으로 작용하며 따라서 암실조건의 화상에서 열화소들을 형성한다.

한편 γ 선조임의 경우에는 ^{60}Co - γ 선의 평균에너지가 1.25MeV이고 CCD의 빛수감구역의 두께가 수 μm 정도로 매우 얇으므로 화소에 변위효과에 의한 전자포획중심을 만들

확률은 매우 작다. 그러나 이러한 γ 선은 CCD의 전극밑에 있는 얇은 규소산화물층에 이온화효과에 의하여 양이온들을 효과적으로 형성할수 있다. 한편 이 양이온들은 방온도조건에서 안정하게 존재하면서 그밑의 전하전달통로에 있는 전자들을 끌롱인력으로 끌어당기므로 이때 CCD의 암실조건의 화상에서 열화소들이 형성될수 있다.

중성자조임경우에 생겨나는 열화소들의 크기가 γ 선조임경우보다 더 크고 뚜렷한것은 중성자와 규소살창원자들사이 충돌카스케드에 의하여 미소화소구역안에 전자포획중심들이 집중되기때문이다. 이와 대조적으로 γ 선조임경우 암실조건의 화상이 전반적으로 미약하고 기하학적으로 미세한 점들을 많이 포함하는것은 화상수감부의 웃면산화물층에 형성된 양이온들이 개별적으로 분산되어있기때문에 나타나는 현상이라고 볼수 있다.

γ 선조임에 의한 이러한 열화소발생물림새는 KS720 CCD카메라가 ^{60}Co 원천으로 약 12h동안 γ 선을 련속 조임한 후 촬영불가능하게 열화되는 결과도 충분히 설명한다. 즉 CCD화상수감부의 규소산화물층에 γ 선조임으로 형성된 양이온들의 밀도가 충분히 커지면 매 화소들의 전극들에 전하이동을 실현하기 위한 임폴스전압신호가 걸려도 화소내의 전자들이 양이온들의 강한 끌롱인력때문에 이동할수 없게 되므로 전하결합소자로서의 동작을 할수 없게 되는것이다.

그림 2에서 보는바와 같이 CCD카메라에서 중성자조임선량이 커짐에 따라 화소들사이의 전하전달률은 선형감소를 나타내며 이러한 감소는 화소들의 기하학적크기가 작을수록 더 빨리 이루어진다. 이것은 화소의 크기가 작을수록 화소내부에 빛조임에 의하여 형성되는 전하수가 작아지며 따라서 방사선조임후 이웃화소에 전하들을 전달하는데서 포획중심들의 영향이 상대적으로 더 커진다는것을 의미한다. 여기에 화소들사이 전하전달을 실현하는 매물통로층에 형성된 살창결합들의 영향도 더 첨부된다.

그림 3에서 보는바와 같이 γ 선조임선량이 증가함에 따라 전하전달률이 감소하는것은 화소의 산화물(SiO_2)층속에 γ 선의 이온화작용으로 형성된 양이온들에 의한 끌롱포텐샬의 영향이 양이온의 밀도에 비례하며 CCD에서 화소들의 기하학적크기가 작을수록 화소들사이 전하이동(전하결합)을 실현하는 임폴스전압의 크기에 비해 양이온들에 의한 끌롱포텐샬의 상대적영향이 더 커지기때문이다.

맺 는 말

1) 방사선조임선량이 증가할수록 CCD카메라 암실조건의 화상에서 열화소들의 수는 증가하며 화소들사이 전하전달률은 조임선량에 따라 선형감소한다.

2) CCD카메라 화소들의 기하학적크기가 작을수록 중성자 및 γ 선조임에 의한 화질감소는 더 크게 나타난다.

참 고 문 헌

- [1] Zujun Wang et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 771, 49, 2015.
- [2] J. Janesick et al.; IEEE Trans. Nucl. Sci., NS 36, 572, 1989.

Study on the Image Quality Change Characteristics of CCD Camera by Neutron and γ Ray Irradiation

Ko Pyong Chun, Hwang Chol Hun

The increase of radiation dose makes the number of hot pixels be larger and the charge transfer efficient between pixels be smaller in images of CCD camera under dark room condition.

The smaller the geometric sizes of CCD pixels, the larger the image degradation by neutron and γ ray irradiation is.

Key words: CCD camera, radiation irradiation, image quality change