의학물리. 제5권 2호 1994

^{137}Cs 감마선 여기에 의한 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광

김태규, 이병용*, 김성규**, 박영우+, 추성실++
전주교육대학교 과학교육과
울산대학교 의과대학 치료방사선과학교실*
영남대학교 의과대학 치료방사선과학교실**
연세대학교 원주의과대학 기초과학교실+
연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실++

초 록

Na^+ 이온을 주입시킨 후, ^{137}Cs 감마선으로 조사된 Al_2O_3 및, Na^+ 이 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광을 340K~620K의 온도 구간에서 측정하였다. Na^+ 이온을 주입시킨 후, ^{137}Cs 감마선으로 조사된 Al_2O_3 의 열자극 발광 곡선은 415K, 452K, 508K, 및 568K에서 TL peak를 가지는 곡선으로 분해되었다. Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3 는 , Na^+ 이온만 주입된 Al_2O_3 와 ^{137}Cs 감마선 만 조사된 Al_2O_3 보다 각각 defect traps에 구속된 전하운반체의 밀도와 defect traps의 밀도가 증강되었기 때문에, Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3보다 각각 20배, 5배 증가되었다.

주입 이온 선량과 에너지의 증가는 defect trap 밀도의 증가를 초래함으로, 이온 주입된 시료의 열자극 발광 세기는 이온의 선량과 에너지에 의존함을 알았다. 입사 이온의 질량이 증가함에 따라 열자극 발광 세기는 기하급수적으로 급격히 감소하였고, 이것은 열자극 발광 세기가 결함 생성률 뿐만 아니라, 이온의 주입 깊이에도 밀접한 관계가 있음을 보여주었다.

Ⅰ. 서 론

Aluminum oxide은 지난 수년 동안 근본적인 분야와 응용적인 분야의 연구가 활발히 이루어져왔다[1,2] Al_2O_3는 높은 dielectric strength 때문에 절연체로, 높은 융점과 낮은 원자수 때문에 원자로의 차폐벽 재료로 사용되는 등 다양하게 응용되고 있고, microeledctronic device fabrication에 이용되기 때문에 Al_2O_3의 결함에 관한 연구가 관심을 끌고 있다.[3] Al_2O_3의 열자극 발광(Thermoluminescence : TL)은 방사선 선량계로서 널리 응용될 수 있어서, Mehta 등[4,5] 은 Al_2O_3의 열자극 발광을 감마선 선량계로의 응용과 Si, Ti의 불순물이 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 특성 및 자외선에 대한 열자극 발광 선량계(Thermoluminescence Dosimeter : TLD)로의 응용에 관하여 보고하였다.

최근에는 크롬 또는 니켈의 불순물이 포함된 Al_2O_3의 열자극 발광이 TLD-100보다 약 50배 이상의 고감도를 가지고 있어서, Al_2O_3에 포함된 불순물이 열자극 발광의 특성에 미치는 영향에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.[6,7] 에너지를 가진 이온을 시료에 주입시키면, 입사 이온에 의해 시료 안에 electron traps, hole traps, inerstitial ions 및 substitutional ions 등이 형성된다. 이온 주입된 시료에 X-선, 감마선, 자외선 및 particle beams 등으로 조사시키면, 이온 주입에 의해 생성된 traps에 전자 및 hole들이 채워지게 된다. 이 시료를 일정한 률로 열로 가하면 trap에 구속된 전하운반체가 방출되면서 열자극

발광을 방출하게 된다.[8]

엑스-선, 감마선 및 자외선으로 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광에 관한 많은 연구와 이온 주입된 시료의 전자선 여기에 의한 열자극 발광에 관한 부분적인 연구[9]가 이루어졌지만, 다양한 이온으로 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광에 관한 연구는 아주 미미한 상태이다. 본 연구에서는 Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs의 감마선으로 조사시킨 Al_2O_3의 열자극 발광을 분석하고, Na^+ 이온의 입사에너지와 주입 이온 선량에 따른 Al_2O_3의 열자극 발광 특성을 알아보았다. 더불어 Li와 K의 알칼리 금속 이온 및 Mg과 Ca의 2족 이온을 주입시킨 후, ^{137}Cs의 감마선으로 여기된 Al_2O_3의 열자극 발광을 측정하여 주입 이온 종류에 따른 Al_2O_3의 열자극 발광 특성도 조사하였다.

II. 실험기구 및 방법

그림 1은 본 실험을 위하여 제작한 실험 장치의 개략도이다. 열자극 발광과 열자극 전자방출(Thermally Stimulated Electron Emission : TSEE)을 동시에 측정하도록 고안하였으며, 자외선 및 엑스선을 조사할 수 있도록 수광창을 부착하였다. 전자선 조사방법에 의한 전자 주입 및 이온 주입에 의한 열자극 발광을 연구하기 위해서, 전자총과 소형 가속기를 설치하였고, 진공을 깨지 않고 연속적인 조사 및 측정을 할 수 있도록 시료 지지대를 제작하였다. 모든 열자극 발광 측정은 로타리 펌프와 유확산 펌프 및 LN_2 cold trap을 사용하여 $5x10^{-7}$ torr까지 배기시킨 측정함에서 측정하였다.

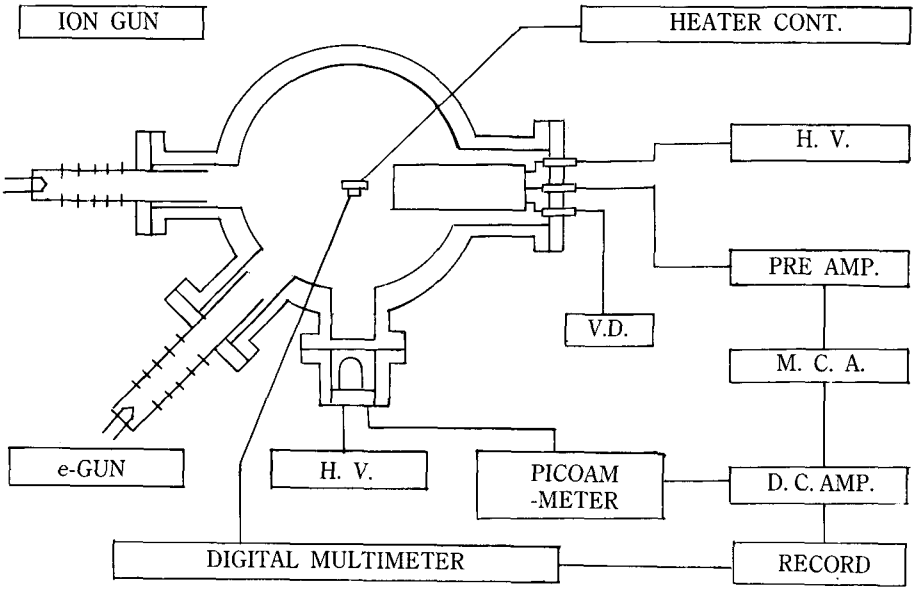

Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus for measuring TL and TSEE.

Al_2O_3 (ESPI K-277, sapphire)의 크기는 직경이 10mm, 두께가 1mm이다. 감마선 조사와 이온 주입 전에 모든 시료는 800℃에서 1시간 동안 열처리하여 시료 안에 잔존하고 있는 열자극 발광에 기여하는 결함 center를 제거하였고, 열처리 이후 갑작스러운 온도하강은 defect quenching을 초래함으로 0.01K sec^{-1}의 온도하강률로 상온까지 시료를 식혔다.

감마선원은 ^{137}Cs을 사용하였고, 이온원을 교체할 수 있는 소형 가속기를 제작하여 Li^+ Na^+, K^+, Mg^{++} 및 Ca^{++} 이온을 시료에 주입시키고, ^{137}Cs의 감마선으로 여기시켰다. 시료의 이온 주입 및 감마선 조사는 상온에서 실시하였다. 주입 이온 전류는 $0.5\mu Acm^{-2}$이고, 정전4극 렌즈와 slit을 이용하여 이온이 시료 표면에 균일하게 주입되도록 이온선의 크기를 조절하였다. 열자극 발광을 얻기 위해서는 여기된 시료를 열적으로 자극을 주어야 함으로 본 실험에서는 $1K\ sec^{-1}$의 온도 상승률로 시료의 온도를 올려서 340K부터 620K의 온도 범위에서 열자극발광을 측정하였다. Al_2O_3의 표면 온도는 copper-constantan 열전쌍을 digital multimeter(BBC MA5D FF3.15/250G)로 측정하였고, 열자극에 의해 방출되는 여기된 시료의 광은 광증배관(R456 PMT : Hamamatsu)으로 측정하였다. 이 측정된 온도와 열자극 발광 세기를 각각 X-Y 기록계의 X축과 Y축에 연결하여 열자극 발광 곡선을 측정하였다.

III. 실험결과 및 분석

이온 주입은 시료의 물리적, 화학적 특성을 변화시키므로, 이온 주입된 시료의 전기전도도[10], 열자극 전류[11], 굴절률을 이용한 integrated optics[12] 등에 관한 연구가 활발히 연구되어지고 있다. Bangert등[13] 은 Ca^{+3} 이온 주입된 CaF_2의 열자극 발광이 화학적으로 Ce 원소가 주입된 CaF_2와 순수한 CaF_2보다 매우 큰 세기를 가진다고 보고하였고, Abu-Hassan과 Townsend[14] 는 LiF에 주입된 이온의 선량과 에너지에 따른 시료 내에 생성된 color center의 농도에 대하여 연구하였다. 본 연구에서는 낮은 에너지의 알칼리 금속 이온 및 2족 이온이 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 특성을 조사하였다. 에너지를 가진 이온을 시료에 주입시키면, 입사 이온은 시료의 구성 원자와 상호 작용으로 말미암아 구성 원자 핵과의 충돌로 인한 에너지 손실(핵저기능, nuclear stopping power)과 구성 원자 전자와의 충돌로 인한 에너지 손실(전자저지능, electronic stopping power)이 생겨서 입사 이온이 시료 내에 정지하게 된다. 이 과정에서 시료 내에는 입사 이온에 의해 결함이 생기고, 구성 원자가 여기된다. 그러나 수 keV의 낮은 에너지 영역에서는 입사 이온의 에너지는 핵저지능으로 대부분 소진된다.

그림 2는 6 keV의 Na^+ 이온을 $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 주입시킨 후, 10Gy의 ^{137}Cs 감마선으로 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선이다. 이 곡선은 452K, 508K 및 568K에서 정점 온도를 가지고, 415K 근방에서 shoulder를 갖는다. 수치해석적인 방법[15] 을 이용하면 415K에서 정점을 갖는 열자극 발광 곡선으로 분해되고, 분해된 각각의 열자극 발광 곡선의 변수는 표 1과 같다.

Table 1. Thermal parameters of isolated peaks.

	curve 1	curve 2	curve 3	curve 4
kinetic order(1 or 2)	1	1	1	1
activation energy(eV)	1.48	1.73	1.98	2.50
frequency factor(sec^{-1})	$9.4x10^{16}$	$1.9x10^{18}$	$3.9x10^{18}$	$1.3x10^{21}$
peak temperature(K)	415	452	508	568

그림 3의 점선은 6keV의 Na^+ 이온 만을 $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 주입시킨 시료의 열자극 발광 곡선이고, 일점쇄선은 10Gy의 ^{137}Cs 감마선 만 조사시킨 시료의 열자극 발광 곡선이다.

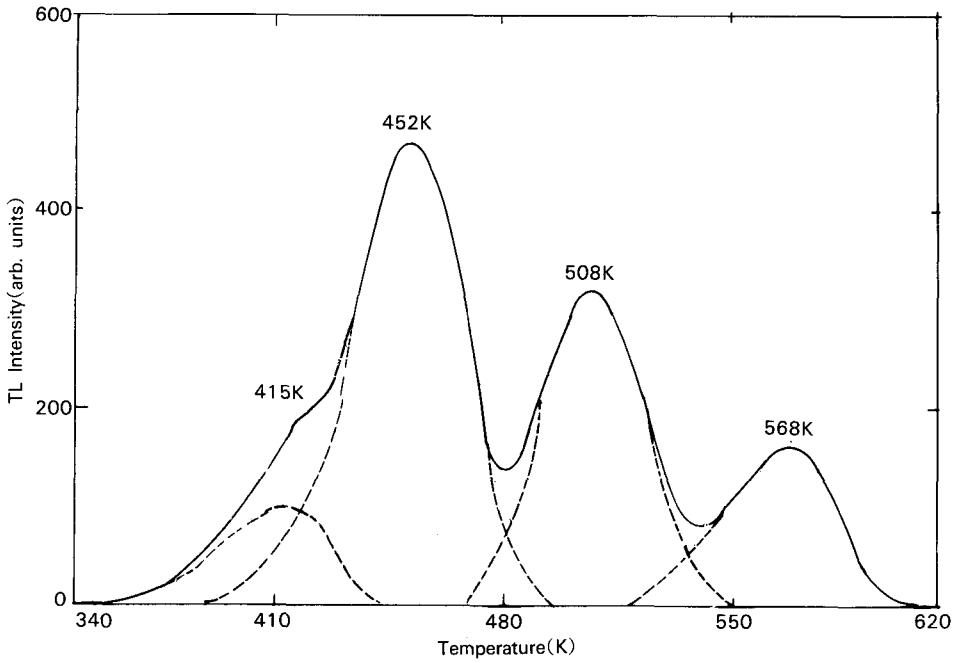

Fig.2 ^{137}Cs gamma ray induced TL curve of Na^+ ion implanted Al_2O_3 over the temperature range of 340K~620K The duplicated curve is split into the isolated peak located at 415K, 452K, 508K using numerical analysis.

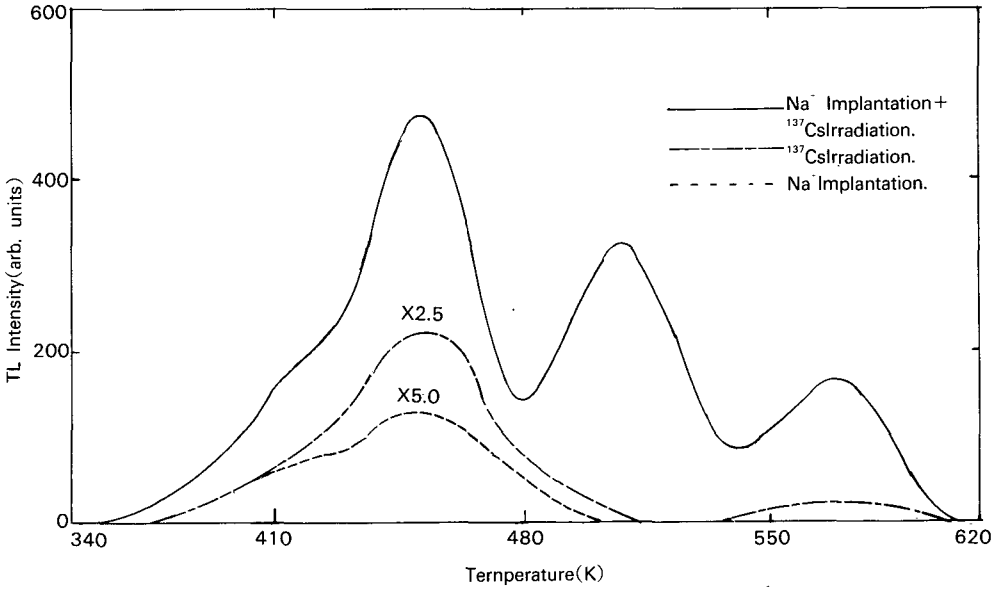

Fig.3 TL curve of Na^+ ion implanted Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray is solid line. The dash-dot line and dot line are the TL curve of Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray is solid line. The dash-dot line and dot line are the TL curve of Al_2O_3 only irradiated with ^{137}Cs gamma ray and Na^+ ion only implanted Al_2O_3, respectively.

실선은 6keV의 Na^+ 이온을 $5x10^{15}cm^{-2}$ 의 선량으로 주입시킨 후, 10Gy의 ^{137}Cs 감마선으로 조사시킨 시료의 열자극 발광 곡선이다. 이온 만 주입된 시료에서는 이온 주입에 의해 생성된 defect trap과 원래 시료의 생장과정에서 생성된 defect trap에 입사 이온의 에너지 손실에 의해 전하운반체가 구속되고, 이 구속된 전하운반체가 열적인 자극을 받아 시료에서 열자극 발광을 방출하게 된다. 6keV의 Na^+ 이온 만을 $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 주입시킨 시료의 열자극 발광 곡선은 415K과 452K에서 TL peak를 가진다. 이 시료의 열자극 발광 세기는 입사 이온 에너지에 의해 여기되어 defect trap에 구속되는 전하운반체의 밀도가 매우 낮기 때문에, ^{137}Cs 감마선 만 조사된 시료와 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 시료보다 매우 작다. ^{137}Cs의 감마선을 시료에 조사시키면 시료의 생장과정에서 생성된 defect traps에 ^{137}Cs의 감마선조사에 의해 전하운반체가 구속되고, 시료를 가열하면 이 구속된 전하운반체가 trap에서 이탈되면서 열자극 발광을 방출된다. 10Gy의 ^{137}Cs 감마선 만 조사시킨 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선은 415K, 452K 및 568K에서 TL peak를 가지며, 이 TL의 근원은 Al_2O_3의 생장과정에서 생성된 defect에 기인한다.

Al_2O_3에 에너지를 가진 Na^+ 이온을 주입시킨 후 ^{137}Cs의 감마선을 조사시키면, Na^+ 이온에 의해 형성된 defect trap이 원래 Al_2O_3 내에 이미 존재하고 있는 defect trap에 부가되어 이온을 주입시키지 않은 Al_2O_3보다 trap밀도가 증가된다. 이 증가된 trap에 입사이온의 에너지 손실과 ^{137}Cs의 감마선 조사에 의해서 전하운반체가 구속된다. Na^+ 이온 주입 후, ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3는 ^{137}Cs의 감마선 조사에 의해 Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3보다 defect trap에 구속된 전하운반체의 밀도가 더 증강되고, Na^+ 이온 주입에 의해 ^{137}Cs의 감마선 만 조사된 Al_2O_3보다 defect traps의 밀도가 증강되기 때문에, Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기는 Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3 및 ^{137}Cs의 감마선 만 조사된 Al_2O_3보다 증가된다. 6keV의 Na^+ 이온을 $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 주입시킨 후, 10Gy의 ^{137}Cs 감마선으로 조사시킨 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선은 414K, 452K, 508K 및 568K에서 TL peak를 가진다. Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선 중 452K TL peak의 세기는 Na^+ 이온만 주입된 Al_2O_3 및 ^{137}Cs의 감마선 만 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기보다 각각 20배, 5배 증가되었다.

508K TL peak는 Na^+ 이온 만 주입시킨 Al_2O_3와 ^{137}Cs 감마선 만 조사시킨 Al_2O_3에서는 나타나지 않고, Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사시킨 Al_2O_3에서 만 나타나고 있다. Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3의 508K TL peak는 Na^+ 이온 주입에 의해 이 TL peak에 관여되는 defect가 생성되지만, 이 defect trap에 구속된 전하운반체의 밀도가 Na^+ 이온주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3보다 상대적으로 극히 적기 때문에 나타나지 않는다. 또한 시료의 생장과정에서 508K TL peak에 관계되는 defect가 형성되지 않아서 ^{137}Cs 감마선에 의해서 전하운반체가 이 defect trap에 구속되지 않으므로 이 peak가 나타나지 않는다. Al_2O_3의 생장과정에서 생긴 defect traps에 의해 415K, 452K와 568K TL peak가 생기고, 508K TL peak에 기여하는 defect는 존재하지 않는다. Na^+ 이온 주입 후, ^{137}Cs 조사된 Al_2O_3의 508K TL peak는 Na^+ 이온에 의해서 defect가 생성되고 ^{137}Cs 감마선 조사에 의해 생성된 defect trap에 전하운반체가 구속되기 때문에 매우 큰 열자극 발광 세기를 가진다.

주입 이온 선량에 따른 열자극 발광 세기를 알아보기 위하여 6keV의 Na^+ 이온을 $5x10^{13}cm^{-2}$부터 $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 Al_2O_3에 주입시킨 후, 각각 10Gy의 ^{137}Cs 감마선으로 조사시킨 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선을 측정하였다. 그림 4는 주입 이온 선량에 따른 이온

주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선 중 452K TL peak의 세기를 보여준다. 주입 이온의 선량이 증가함에 따라 Al_2O_3 내에 생성되는 defect trap의 밀도가 증가함으로 Na^+ 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기는 주입 이온의 선량에 의존된다. $5x10^{14}cm^{-2}$ 이상의 주입 선량에서는 열자극 발광 세기가 급격히 증가하고, $5x10^{15}cm^{-2}$이상의 주입 선량에서는 defect trap 밀도의 증가량이 둔화되어 열자극 발광 세기가 급격히 변하지 않는다.

그림 5는 입사 이온의 에너지에 따른 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기와 TRIM code[16]의 계산에 의한 단위 입사 이온당 생성되는 결함수이다. $5x10^{15}cm^{-2}$의 선량으로 고정시키고, 1keV부터 8keV까지의 범위에서 Na^+ 이온을 Al_2O_3에 주입시킨 후, 각각 10Gy의 ^{137}Cs 감마선을 조사시킨 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선을 측정하고 그 중 452K TL peak의 세기와 입사 이온 에너지의 의존성을 알아보았다. 입사 이온의 에너지에 따른 결합 생성수은 1000개의 Na^+ 이온을 넣고 simulation하여 구하였다. 수 keV의 낮은 에너지 영역에서는 입사 이온의 에너지가 증가 할 수록 핵저지능이 증가함으로, 입사 이온의 에너지가 표적 원자에 전이되는 량이 증가되어 입사 이온에 의한 결합 생성률이 증가된다. TRIM code에 의한 1keV, 3keV, 6keV 및 8keV의 에너지를 가지는 Na^+ 이온의 단위 입사 이온당 결함 생성수는 각각 14.7, 42.9, 82.0 및 106.9개 이다. 그림 5는 열자극 발광 세기는 입사 이온 에너지의 의해 생성된 defect trap 밀도에 의존함을 보여준다. 그림 4와 그림 5로부터 열자극 발광 세기는 입사 이온의 선량 뿐만 아니라 에너지의 의존성이 있음 알 수 있다.

Perez[17]는 defect 농도가 이온이 도달하는 깊이에서 최대로 분포됨을 보고하였다. 열자극 발광 메카니즘에서 이 defect농도는 열자극 발광 세기와 밀접한 관련이 있다.[8] 그래서 본 실험에서는 열자극 발광 세기와 이온 도달거리의 관계를 알아보기 위하여, 입사 이온의 에너지와 선량을 동일하게 하고, 입사 이온의 질량을 변화시키면서 이온 주입된 시료의 열자극 발광 특성을 조사하였다. 그림 6은 $5x10^{14}cm^{-2}$의 선량으로 6keV의 에너지를 가진 다양한 종류의 이온으로 Al_2O_3에 주입시킨 후, 각각 10Gy의 ^{137}Cs 감마선으로 조사된 시료의 열자극 발광 곡선 중 452K TL peak의 세기와 각각의 이온이 Al_2O_3에 주입된 깊이를 나타내고 있다. 6keV의 Li^+, Na^+, Mg^{++}, K^+, 및 Ca^{++} 을 주입시키면, TRIM code에 의해 입사이온 당 생성되는 결함수는 각각 56.3, 81.8, 82.7, 83.1 및 83.7개로 계산됨으로 입사 이온의 질량이 증가하미에 따라 입사이온 당 생성되는 결함수가 증가함을 알 수 있다. 그러나 그림 6은 입사 이온이 질량이 증가할 수록 생성되는 결함률의 증가됨에도 불구하고 열자극 발광 세기는 기하급수적으로 감소하고 있다. 이것은 열자극 발광 세기가 입사이온 당 생성되는 결함수 뿐만 아니라, 결함 깊이 분포도에 영향을 주는 이온의 주입 깊이에도 관계가 있음을 보여준다. 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기의 이온 주입 깊이의 의존성을 알아보기 위해서 TRIM code를 이용하여 1000개의 Li^+, Na^+, Mg^{++}, K^+, 및 Ca^{++} 이온을 넣고 각각 이온 주입 깊이를 계산하였다. 6keV의 에너지를 가지는 Li^+, Na^+, Mg^{++}, K^+, 및 Ca^{++} 이온의 주입 깊이는 각각 26.3nm, 8.2nm, 7.7nm, 5.6nm 및 5.5mn이고, 이온 분포 반경은 각각 16.9nm, 4.0nm, 3.8nm, 2.3nm 및 2.3nm이다. 이온 주입된 사료의 열자극 발광 세기는 이온 주입 깊이 근처에서의 이온 주입에 의해 생성된 defect 영역의 크기에 밀접하게 의존한다. 그림 6은 이온 주입 깊이의 증가에 따라 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기가 기하급수적으로 증가함을 보인다. 이상의 결과로부터 이온 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광 세기는 defect trap 밀도, 구속된 전하운반체의 밀도 뿐만 아니라

이온의 주입 깊이에 매우 밀접한 의존성이 있음을 알 수 있다.

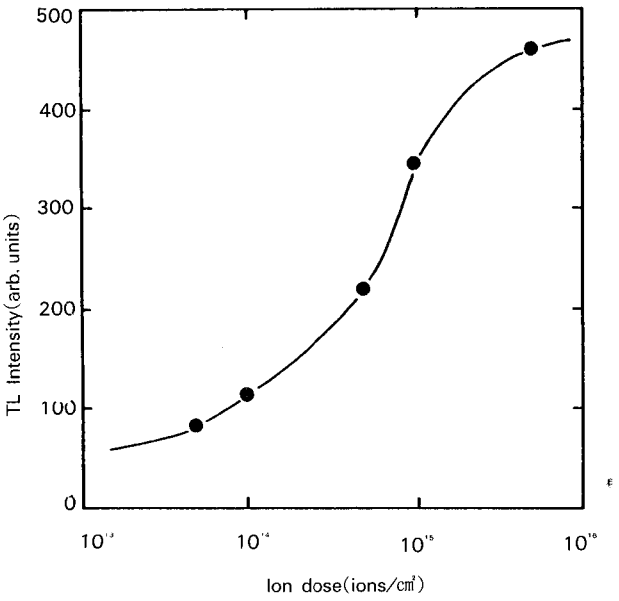

Fig.4 Dose dependence of the 452K TL peak intensity of Na^+ ion implanted Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray. Na^+ ion implantation are carried out at room temperature with 5keV energy.

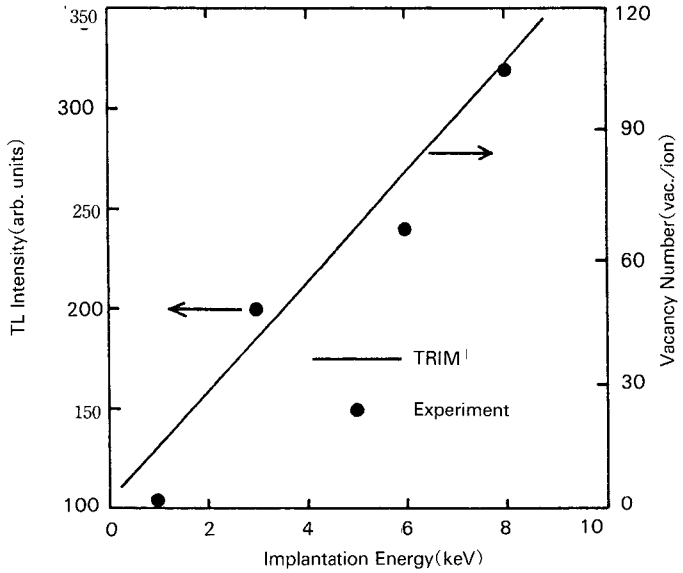

Fig.5 Experimental value of the 452K TL peak intensity of Na^+ ion impalnted Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray and caculated number of vacancies per ion using TRIM code as a functin of Na^+ energy. The total dose of $5x10^{15}$ ions $percm^2$

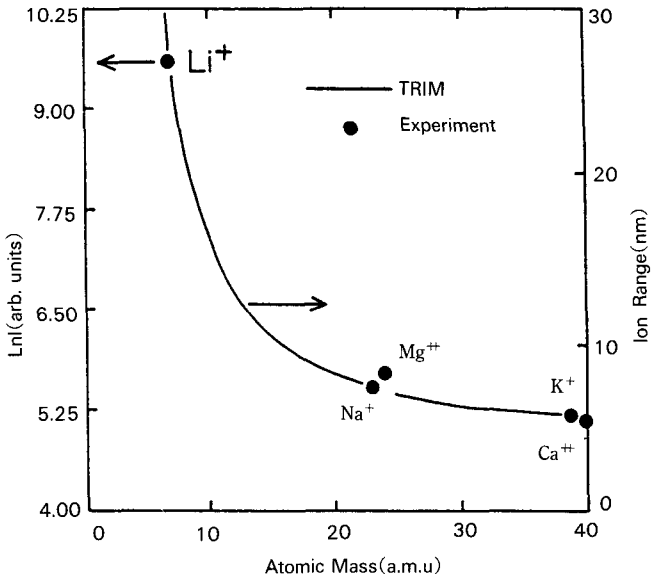

Fig.6 The 452K TL peak intensity of ^{137}Cs gamma ray induced Al_2O_3 implanted with 6keV ion and caculated depth range of incident ion usiog TRIM code as a function of incident ion mass.

Ⅳ. 결 론

Na^+ 이온을 주입시킨 후, ^{137}Cs 감마선으로 조사된 Al_2O_3, ^{137}Cs 감마선 만 조사된 Al_2O_3 및, Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3의 열자극 발광을 340K~620K의 온도 구간에서 측정하였다. Na^+ 이온을 주입시킨 후, ^{137}Cs 감마선으로 조사된 Al_2O_3의 열자극 발광 곡선은 수치해석적인 방법을 이용하면 415K, 452K, 508K 및 568K에서 TL peak를 가지는 곡선으로 분해되고, 각각의 곡선에 대한 활성화 에너지와 이탈진동수는 1.48eV, $9.4x10^{16}sec^{-1}$, 1.73eV, $1.9x10^{18}sec^{-1}$, 1.98eV, $3.9x10^{18}sec^{-1}$ 및 2.50eV, $1.3x10^{21}sec^{-1}$이다. Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3는 Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3와 ^{137}Cs 감마선 만 조사된 Al_2O_3보다 각각 defect traps에 구속된 전하운반체의 밀도와 defect traps의 밀도가 증강되었기 때문에, Na^+ 이온 주입 후 ^{137}Cs 감마선 조사된 Al_2O_3의 452K TL peak세기는 Na^+ 이온 만 주입된 Al_2O_3 및 ^{137}Cs의 감마선 만 조사된 Al_2O_3보다 각각 20배, 5배 증가되었다.

주입 이온 선량과 에너지의 증가는 각각 결함 생성수와 생성률의 증가를 초래함으로 452K TL peak세기는 주입 이온 선량과 에너지가 증가함에 따라 증가되었다. 452K TL peak 세기가 주입 이온 선량과 에너지에 의존함을 알았다. 입사 이온의 질량이 증가함에 따라 결함 생성률이 증가하여 열자극 발광 세기가 증가되어야 함에도 불구하고 기하급수적으로 감소하였다. 이것은 열자극 발광 세기가 입사 이온 당 생성되는 결함수 뿐만 아니라, 결함 깊이 분포도에 영향을 주는 이온의 주입 깊이에도 관계가 있음을 보여준다. 이상의 실험 결과로부터 열자극 발광 곡선의 세기는 결함 생성수, 결함 생성률 및 이온 주입 깊이에 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었고, 주입 이온의 종류와 에너재에 의한 시료의 구성 원소 및 입사 원소의 이온화률에 대한 열자극 발광의 의존성이 더 연구되어야

할 것이다.

〈감사의 글〉
이 논문은 1993년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해서 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. B. D. Evans and M. Stapelbroek : Optical properties of the F^+ center in crystalline Al_2O_3 : Phy. Rev., B18, 7089−7098(1978)
2. R. W. Klaffky, B. H. Rose, A. N. Goland, and G. J. Dienes : Radiation−induced conductivity of Al_2O_3 : Experiment and theory : Phys. Rev., B21, 3610−3634(1980)
3. E. Harari : Optical studies of the back−channel leakage in N−channel MOSFET on silicon −on−sapphire(SOS) : Appl.Phys.Lett., 29, 25−27(1976)
4. S. K. Mehta and S. Sengupta : Gamma dosimetry with Al_2O_3 thermoluminescent phosphor : Phys. Med. Biol., 21, 955−964(1976)
5. S. K. Mehta and S. Sengupta : Photostimulated thermoluminescence od Al_2O_3 (Si, Ti) and its application to uitraviolet radiation dosimetry : Phys. Med. Biol., 23 471−480(1978)
6. P. Pokorny and A. Ibarra : On the origin the thermoluminescence of Al_2O_3 : Cr,Ni : J. Appl. Phys., 75. 1088−1092(1994)
7. P. Pokorny and A. Ibarra : Impurity effects on thermoluminescence of Al_2O_3 : J. Phys. CM, 5, 7387−7396(1993)
8. R. Chen and Y. Kirsh : *Analysis of Thermally Stimulated Process* : Pergamon Press, Oxford (1981), PP. 2−3
9. C. N. Whang, T. K. Kim, S. T. Kang, Y. K. Koh, C. C. Lee, and H. S. Choe : Electron beam induced thermoluminescence from Li^+ implanted Al_2O_3 : Nucl. Instr. and Meth., B23, 353-358(1987).
10. M. L. Kaplan, S. R. Forrest, P. H. Schmidt, and T. Venkatesan : Optical and electrical properties of ion−beam irradiated films of organic molecular solids and polymers : J. Appl. Phys., 55, 732−742(1984)
11. C. N. Whang, J. J. Woo, C. C. Lee, and R. Y. Lee : Thermally stimulated current from ion implanted mylar film : Nucl. Inster. and Meth., B33, 752−755(188).
12. P. D. Townsend : Optical effcets of ion implantation : Rep. Prog. Phys., 50, 501−558 (1987)
13. U. Bangert, K. Thiel, K. Ahmed, and P. D. Townsend : Thermally induced changes in the TL of ion implated CaF_2 : Rad. Eff., 64, 153-160(1982)
14. L. H. Abu−Hassan and P. D. Townsend : Ion implantation in LiF to form F and F_2 centers : J. Phys. C, 19. 99−110(1986)
15. J. E. Hoogenboom, W. de Vries, J. B. Dielhof, and A. J. J. Bos : Computerzied analysis of glow curves form thermally activated processes : J. Appl. Phys., 64, 3193−3200(1988)
16. J. E. Ziegler, J. P. Biersack, and U. Littmark : *The Stopping Ranger of Ions in Solids* : Pergamon Press, New York(1985)
17. A. Ferez and P. Thevenard : Defect creation in ion bombarded inorganic insulators, in P. Mazzoldi and G. W. Arnold (eds), Ion beam modification of insulators : Elsevier, Oxford(1987)

^{137}Cs Gamma Ray Induced Thermoluminescence from ion Implanted Al_2O_3

Tae Kyu Kim, Ph. D., Byong Yong Yi, Ph. D.* , Sung Kyu Kim. Ph. D**
Young Woo Vahc, Ph. D.+, Seong Sil Chu, Ph. D.++
Det.of Sci.Education.Chonju University of Education, Choju, Korea
Dept.of Ther.Radio., Asan Med. Center of Med., Univ.of Ulsan,Korea*
Dept.of Ther.Radio.College of Medicine, Yeungnam Univ., Teagu,Korea**
College of Wonju Medicine, Yonsei University, Korea+
Dept.of Radia.Oncology, Coll.of Med., Yonsei Univ., Seoul,Korea++

Abstract

^{137}Cs gamma ray induced thermoluminescenc(TL) from Na^+ ion implanted Al_2O_3 and unimplanted Al_2O_3 and the TL from Na^+ ion implanted Al_2O_3 are measured over the temperature range of 340K~620K. The TL curve of Na^+ ion implanted Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray is split into isolated TL peak located at 415K, 452K, 508K, and 568K. Because that the concentration of trapped charhe carries of ^{137}Cs gamma ray induced Al_2O_3 implanted with Na^+ ion is larger than that of Na^+ ion only implanted Al_2O_3, and the trap concentration of Na^+ ion implanted Al_2O_3 is much than that of ^{137}Cs gamma ray only irradiated Al_2O_3, the TL intensity of Na^+ ion implanted Al_2O_3 induced by ^{137}Cs gamma ray is about 20 times and 5 times higher than that of Al_2O_3 only implanted with Na^+ ion and Al_2O_3 only irradiated with ^{137}Cs gamma ray, respectively. In proportion as ion implantation does and energy are incresed, the number of generated defects and the rate of defect creation are incresed, respectively. Therefore the TL intensity of ion implanted Al_2O_3 is depend on ion dose and energy. Acccrding to increse of incident ion mass, the TL intensity of ion implanted Al_2O_3 is abruptly decresce. This result showes that the TL intensity of ion implanted Al_2O_3 is closely related to ion depth range as wll as rate of defect creatin. The TL intensity of ion implanted Al_2O_3 is found to be related with defects generated by ion implantation.

Table Caption