

소둔온도에 따르는 HfO_2 박막의 레이저파괴특성

박현철, 류명수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구사업을 더욱 강화하여 세포공학과 유전자공학, 초고압물리학, 극저온물리학을 발전시키며 레이저와 플라스마기술, 원자에너지와 태양에너지를 개발하여 인민경제에 받아들이는데서 나서는 과학기술적문제를 적극 풀어나가야 하겠습니까.》(《김정일선집》 증보판 제11권 139페이지)

광학박막들의 레이저빔에 의한 파괴문턱은 레이저체계의 믿음직한 운영을 담보하는 척도이기때문에 그것의 레이저파괴문턱을 높이기 위한 연구사업들이 진행되고 이 과정에 고굴절률재료로는 HfO_2 , 저굴절률재료로는 SiO_2 이 좋은 재료로 인정되였다.[1, 2] 또한 $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$ 형반사방지막과 반사증가막들에서 파괴시작점이 HfO_2 막에 있기때문에 그것의 파괴문턱을 높이기 위한 연구사업들이 진행되고있다.[3, 4]

우리는 임펄스레이저(Nd:YAG)증착기로 레이저빔파괴문턱이 높은 $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$ 형 다층광학박막들을 제작하기 위하여 HfO_2 막의 레이저파괴문턱에 주는 소둔온도의 영향을 연구하였다.

실험에서는 임펄스레이저의 임펄스당 레이저빔에너지는 40mJ, 레이저반복주파수는 10Hz로 고정하였다. HfO_2 박막두께는 주사전자현미경에 의한 직접측정과 박막의 투과스펙트럼을 리용하여 컴퓨터로 모의계산하는 간접측정방법을 리용하여 평가하였다. 1h동안에 입혀진 HfO_2 박막의 두께는 180nm정도였으며 박막침적속도는 3nm/min이였다.

실험에서 리용한 임펄스레이저증착기의 실험장치구성도는 그림 1과 같다.

다음 박막들의 굴절률과 침적속도를 결정한 조건에서 단층 및 다층박막들을 제작하고 레이저파괴문턱들을 비교하였다.

실험결과는 기판온도의 변화, 작업진공도와 산소주입량의 변화, 여러가지 세척방법들은 HfO_2 막들의 파괴문턱을 높이는데 실제적인 영향을 주지 못한다는것을 보여준다.

레이저파괴문턱의 실제적인 변화는 박막의 소둔온도에 따라 일어났다.

소둔온도에 따르는 HfO_2 막의 파괴문턱의 변화는 그림 2와 같다.

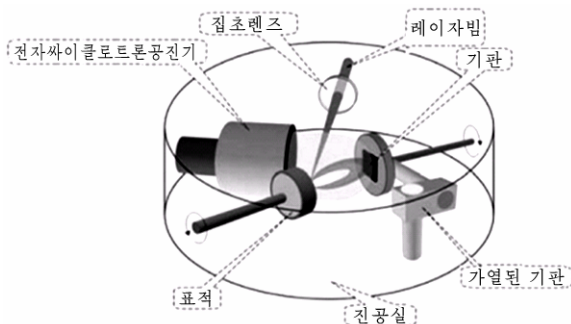


그림 1. 임펄스레이저증착기의 실험장치구성도

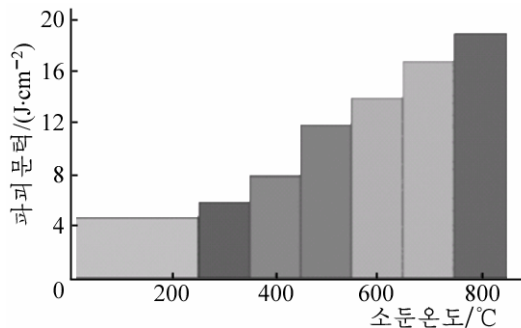


그림 2. 소둔온도에 따르는 HfO_2 막의 파괴문턱변화

그림 2에서 보는바와 같이 소둔온도가 높아질 때 파괴문턱도 계단식으로 증가하며 800°C 이상에서는 소둔전의 4배로 증가하였다.

우리는 이 원인을 해명하기 위하여 먼저 소둔온도에 따르는 HfO_2 박막의 X-선에돌이(XRD)스펙트르분석을 진행하였다.(그림 3)

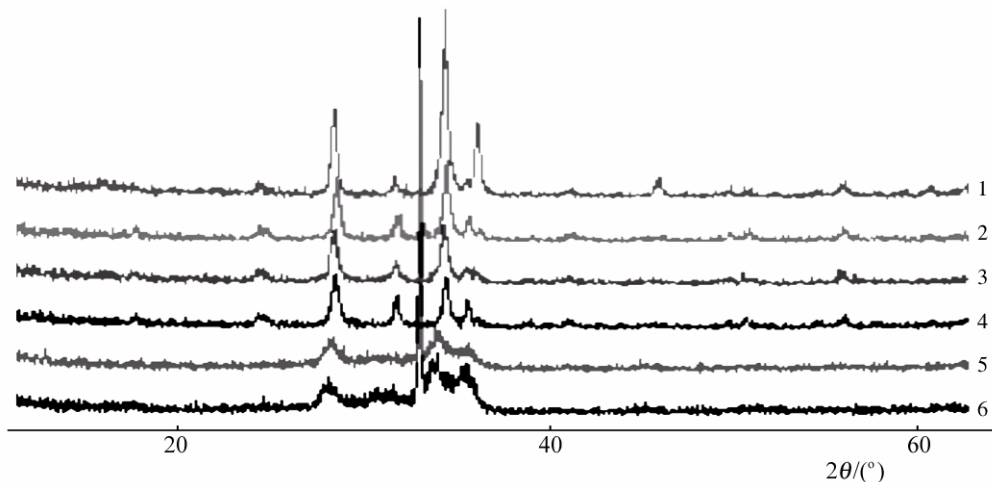


그림 3. 소둔온도에 따르는 HfO_2 박막의 XRD스펙트르변화
1-6은 소둔온도가 각각 20, 300, 500, 700, 900, 1100°C인 경우

그림 3에서 보는바와 같이 500°C 이상부터 HfO_2 박막의 단결정구조를 표시하는 (-111), (111), (020) 봉우리들이 점점 커진다.

다음 소둔온도에 따르는 HfO_2 박막의 라만스펙트르변화를 측정하였다.(그림 4)

그림 4에서 보는바와 같이 소둔온도가 700°C 일 때 단결정구조가 출현하기 시작하여 900°C 이상에서는 명백한 단결정구조상태에 해당하는 봉우리들이 증가한다. 박막의 푸리에 변환적외선분광측정결과를 보면 역시 900°C 이상에서 단결정상에 해당하는 416, 511, 609 cm^{-1} 스펙트르변화의 발생이 관측되었다.

따라서 소둔온도와 결정구조사이에는 그림 5와 같은 관계가 성립한다.

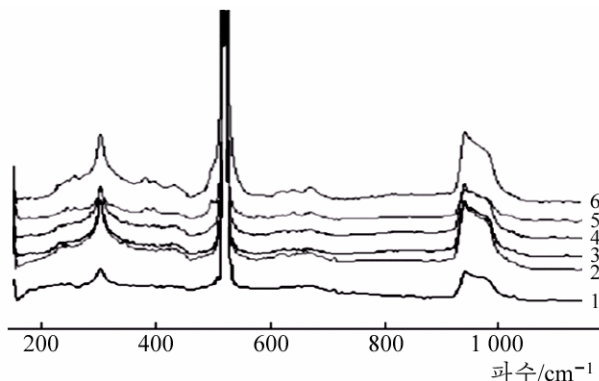


그림 4. 소둔온도에 따르는 HfO_2 박막의
라만스펙트르변화
1-6은 그림 3의 경우와 같음.

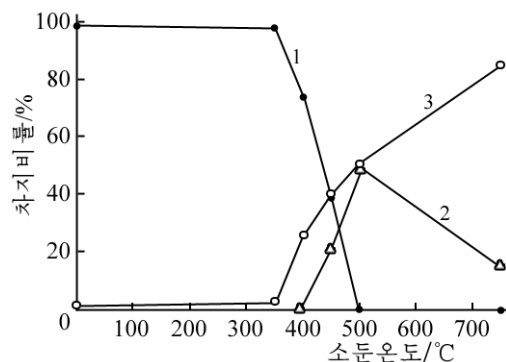


그림 5. 소둔온도와 결정구조사이의 관계
1-무정형, 2-립방정계, 3-단상정계

그림 5에서 보는바와 같이 소둔온도가 350°C 이하일 때에는 무정형결정상태이고 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 에서는 무정형결정상태로부터 사방결정, 단결정구조에로의 이행상태이다. 또한 $500\sim 700^\circ\text{C}$ 에서는 사방결정에서 단결정구조에로의 이행상태이며 700°C 이상에서는 유일한 단결정상태이다.

소둔온도와 박막결정구조레이저파괴문턱의 관계로부터 단결정구조를 가진 HfO_2 박막의 파괴문턱이 비교적 높다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) 임펄스레이저증착기로 단층 HfO_2 박막과 SiO_2 박막들을 제작하고 $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$ 형다층박막의 레이저파괴시작점인 HfO_2 박막의 레이저파괴문턱을 높이기 위한 연구를 하였다.

2) HfO_2 박막들의 소둔처리온도가 증가할 때 일어나는 박막의 결정구조변화과정을 해명하고 단결정구조를 가질 때 HfO_2 박막의 레이저파괴문턱이 비교적 높다는 결론을 얻었다. 이 연구결과는 대출력레이저용광학박막제작에 도입할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Zhao et al.; Applid Surface Science, **245**, 335, 2005.
- [2] X. Liu et al.; Applid Surface Science, **256**, 3783, 2010.
- [3] M. Modreanu et al.; Applied Surface Science, **253**, 328, 2006.
- [4] S. W. Wu et al.; Applied Surface Science, **253**, 1111, 2006.

주체104(2015)년 1월 5일 원고접수

Laser Induced Damage Characters of HfO_2 Film according to the Annealing Temperature

Pak Hyon Chol, Ryu Myong Su

We resolved the process of crystal framework variation of HfO_2 film with the increasing of annealing temperature and made a conclusion that laser-induced threshold of film was rather high in case of monocrystal framework.

Key words: HfO_2 film, laser, annealing