

반응성 스퍼터링에 의한 Arrester용 MoO₃ 박막 제작

한덕우, 곽동주, 성열문
경성대학교 전기전자공학과

MoO₃ thin film fabrication by reactive sputtering for arrester application

Deok-Woo Han, Dong-Joo Kwak, Youl-Moon Sung

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kyungung University

Abstract - 본 연구에서는 비선형 저항 특성을 지닌 산화 몰리브덴(MoO₃) 소자를 이용한 새로운 피뢰 소자 기술을 제안한다. MoO₃ 소자는 가열법과 RF 스퍼터링법에 의해 각각 제작하였으며, 이들을 서로 겹쳐서 제작된 양면박막의 갭형 소자에 대해, 절연내력, 응답특성 등의 전기적 특성과 방전 후의 표면 특성 변화 등에 대하여, 실험적으로 고찰하였다. 그 결과, MoO₃ 소자는 총 10회로 연속적으로 인가한 임펄스 전압 실험에서 양호한 동작을 보였으며, 2회 인가 시, 저항 값이 다소 감소하기는 하였으나, 약 800kΩ의 저항 값을 일정하게 유지하여 피뢰 소자로서의 성능을 계속 유지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

전력의 안정공급이 필수인 정보화 사회에 있어서 전력유통이 중요한 역할을 담당하고 있으며, 경제성과 환경 조화의 관점에서 전력기기의 사용 환경이 더욱 엄격해지고 있고, 특히 기기의 소형화가 요구되고 있는 추세이다. 특히, 도시지역에서는 변전소 등의 전력 유통 설비의 용지가 지극히 한정되어 있기 때문에, 대형 빌딩 등의 지하 공간을 활용한 변전소 건설이 현재 검토, 추진되고 있으며, 특히 소형화의 필요성은 더욱 증가하고 있다. 변전기에서는 그 절연 보호 기능을 수행하는데 있어서, 피뢰기의 역할은 무엇보다도 중요하다. 지금까지 피뢰기 개발에 있어서는, 보호 특성을 향상시켜 변전기기의 소형화를 위한 성능향상의 관점과 피뢰기 자체의 소형화를 실현하는 측면에서의 연구개발이 진행되어 왔다. 최근, 변전소의 축소화를 위해, 절연성이 뛰어난 SF₆ 가스를 이용한 가스 절연 개폐 장치(GIS: Gas Insulated Switchgear)가 많이 사용되고 있으며, 피뢰기의 소형화는 이러한 GIS용에 있어서 특히 요구되는 당면과제이다.

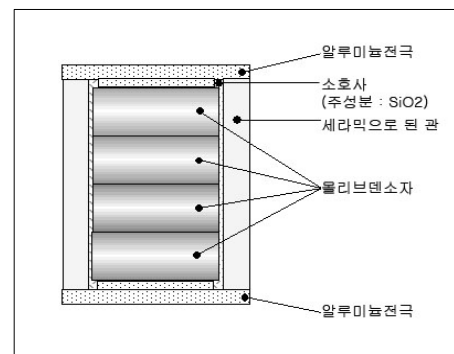
현재 피뢰 소자는 탄화규소(SiC)나 산화아연(ZnO)를 소재로 하는 비선형 저항 형과 전극 양단에서의 아크방전 열에 의해 전극표면으로부터 발생하는 고압가스에 의해 소호(消弧)를 하도록 하는 방출 형이 주류를 이루고 있다. 또한, 종래의 통신 회로와 같은 약 전력 회로를 보호하려고 하면, 300V이하의 저전압에서 동작하는 피뢰기가 요구된다. ZnO 방식의 피뢰소자를 저 전압에서 동작하는 소자에 적용하려면 정전용량이 크게 되어, 고주파 손실이 많은 단점이 있다. 그래서, 종래에는 정전용량이 적은 기중 방전 갭 혹은 특수 가스를 주입한 방전관 등이 사용되어 왔다. 이들의 단점으로서, 먼저 방전 갭 형의 경우, 300V라고 하는 매우 낮은 전압에서 방전해야하므로 양 전극간의 갭이 0.1mm 이하의 매우 짧은 거리를 유지해야 하는데, 대 전류의 직격뢰에 의해서 전극이 용해되어 단락과피로 이행하고 마는 문제점이 제기되고 있다. 가스주입 방전관의 경우, 직격뢰에서 가스구성이 손상되기 쉽다는 단점이 있다. 그러므로 배전 및 통신 설비의 경제성 운용을 위해서, 소형화가 용이하고, 직격뢰에 강하여 반영구적인데다, 정전용량이 작고, 응답 속도가 빠른 우수한 성능의 피뢰 소자 개발에 대한 관심과 필요성이 증대되고 있다.

본 연구에서는, ZnO의 대체 재료로서 최근 주목받고 있는 몰리브덴(Mo) 소재에 주목하여[1], 상기의 요구 사항들에 대응 가능하고 보다 소형화된 박막형의 차세대 피뢰소자의 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다. 먼저, 반응성 RF 스퍼터링에 의한 박막 갭형 MoO₃소자를 제작하고, MoO₃ 피뢰 소자의 물성적 특성과 박막 제작과정의 열처리 공정에 따른 특성 등에 대해 고찰하였다. 그리고 전류-전압 측정, 표면분석 그리고 ZnO와의 비교 실험 등을 통해, Mo 피뢰소자의 전기 물성적 특성에 대해 분석, 평가하였다.

2. 실험 및 고찰

2.1 MoO₃ 피뢰 소자

그림 1은 일반적인 가열법에 의해 제작된 MoO₃ 피뢰 소자 구조의 일례를 나타낸다. MoO₃ 피뢰 소자는 직렬로 접속된 특성 요소인 4개의 MoO₃ 소자가 세라믹 소재의 애자와 알루미늄 전극으로 밀봉되어 있는 비교적 간단한 구조로 이루어져 있다. 소자와 세라믹 애자 사이에는 속류 차단을 위해서 소호재(SiO₂)가 채워져 있다. 직렬 갭 방식은, 갭 길이와 방전개시 전압과의 사이에 일정한 관계가 존재하므로, 갭 길이의 설정으로 인한 방전개시 전압의 조절이 가능하다. 전극소재인 Mo는 용점은 높으나(2620℃), 과전류가 흐르게 되면 그 열(600℃)에 의해 쉽게 탄화하는 특성도 겸비하고 있다. Mo의 산화 피막은 높은 절연성을 지닌 반도체적 성질을 가진다. Mo를 피뢰소자로서 적용할 경우, 종래의 다른 소자들과 비교할 때, 극미량의 전류로써 방전이 개시되고, Junction streamer 작용에 의해 뇌 서지 등에 의한 노이즈 침입에 대해서도 서지 전류를 신속히 통과시켜 응답 속도가 약 4ns 정도로, 종래의 20배 정도의 빠른 응답속도를 가지는 것으로 알려져 있다[2]. 정전용량 또한 1.5-10pF 정도로써 통신 장비 등에도 적합할 것으로 기대되며, 방전내량이 20kA 이상으로 큰 절연 내력을 보유하고 있다. 그리고, 산화 몰리브덴(MoO₃) 피막은 절연 파괴/재생의 반복 능력이 우수하여, 서지 전압으로부터 발생된 에너지를 한순간 방출시키고, 속류를 신속히 차단할 수 있다.



<그림 1> MoO₃ 피뢰소자의 구조

2.2 MoO₃ 박막 제작

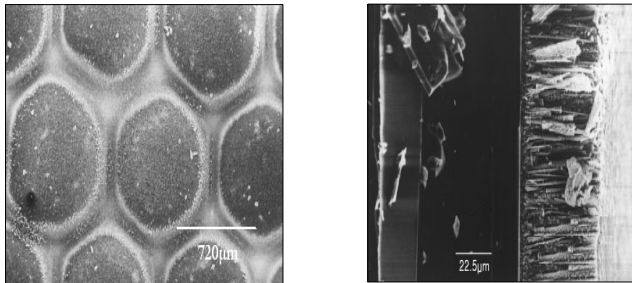
다음의 표 1은 MoO₃ 박막제작을 위한 스퍼터링 실험 조건을 나타낸다. 박막의 제작에는 Mo의 열에 탄화되는 특성을 고려할 때 최적인 RF 스퍼터링 공정을 실시 하였고, 타겟은 3-inch 직경의 MoO₃(110)를 사용하였으며, 반응성 스퍼터링을 위한 Ar과 O₂의 유량은 Mass Flow controller(MFC)를 사용하여 40 : 4의 비율로 고정시켰다. 본 실험에서 박막의 표면적 구조를 알아보기 위해서 SEM을 사용하여 측정하였고, 발광을 통한 방전 여부의 관측을 위해서 광전자 증배관을 사용하여 측정하였다. 본 연구에서는 구조적 특성 중에 기관의 열처리 에 따른 박막의 구조적 특성을 알아보기 위하여 박막제작의 조건에서 열처리의 조건을 다르게 해 주었으며, 그 밖의 압력, 타겟과 기관과의 거리, 스퍼터 전력, 기관온도, 스퍼터 시간 등을 고정시켰다.

<표 1> 스퍼터링 조건

타겟	MoO ₃ (99.99%)	
Ar-O ₂ 압력 (mTorr)	20	
유량(sccm)	Ar	40
	O ₂	4
타겟-기판간의 거리	400	
RF 전력(W)	room temperature(R.T)	
기판 온도(°C)	300	
열처리 온도(°C)	R.T~ 600°C	
열처리 시간(min)	30	

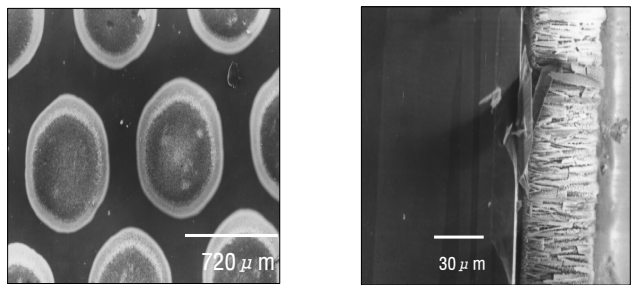
2.3 MoO₃ 박막 특성

그림 2는 열처리를 제외한 표1의 조건 하에서 제작된 MoO₃ 박막의 SEM 표면 사진을 측정된 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이, 박막 제작 시 피뢰 작용의 양면 방전 효과를 높이기 위해 기판을 마스크 처리하여, 원형의 3차원적인 구조의 MoO₃ 박막이 형성되도록 하였다. 그리고 열처리에 따른 구조적 특성 관찰을 위해, 그림3은 열처리 공정(600°C)을 거친 박막의 표면 사진을 나타낸다.



(a)표면 (b) 파단면

<그림 2> MoO₃ 박막의 SEM사진(열처리 없음)



(a)표면 (b)파단면

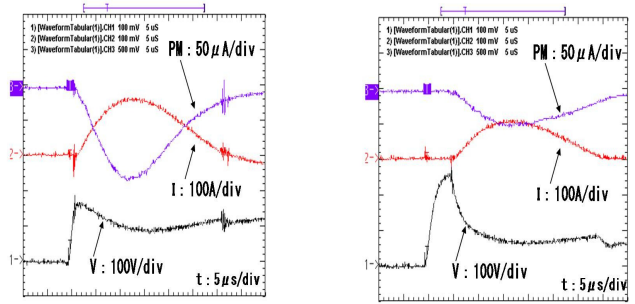
<그림 3>MoO₃ 박막의 SEM사진(열처리 공정)

그림 2(a)와 그림3(a)에서 보는 바와 같이 열처리 공정을 거친 박막의 구조는 열처리를 하지 않은 박막의 구조에 비해 서로 간의 간격이 더 넓고, 중첩 밀도의 정도가 더 중앙으로 모여 있는 것을 볼 수 있다. 또한 각각의 그림 (b)를 비교해 보면, 열처리 과정을 거친 박막의 파단면이 더욱 많은 기둥모양의 구조를 더 많이 가지고 있다는 사실을 알 수 있었다.

2.4 MoO₃ 소자의 전기적 절연 특성

MoO₃ 박막 소자의 방전 특성과 서지 전압에 대한 피뢰 소자로서의 성능 여부를 조사하기 위해, 각각의 샘플에 대하여 표준 (8/20µs) 임펄스 전압을 인가하여, 발광, 전압, 전류, 저항 특성을 고찰하였다. 그리고

비교 실험을 위해 샘플(A)는 단면 박막의 피뢰 소자로서 제작하였고, 샘플(B)는 양면 박막의 피뢰소자로서 제작하였다. 그리고 절연 성능 실험에 앞서, 두 소자의 저항을 측정하여 절연성을 확인하였다.



(a) 단면 MoO₃ 소자 (b)양면 MoO₃ 소자

<그림 3> 단면 및 양면 MoO₃ 소자의 방전 및 절연 특성

그림 3은 단면 및 양면 MoO₃ 소자의 방전 및 절연 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, (A)와 (B) 각각의 발광, 전압, 전류의 측정치를 보여주고 있다. 발광이 측정됨으로써 샘플 모두에서는 방전이 일어난 것을 확인할 수 있었다. 그리고 1회의 표준 임펄스 전압의 인가로 단면의 피뢰 소자는 작동을 멈추었으며, 양면의 경우, 초기의 절연의 성질이 1.4 kΩ이었고, 그 후에는 총 9회 동안의 실험에서 약 800kΩ을 유지함으로써 저전압의 피뢰 소자로서의 충분히 작동하였음을 알 수 있었다. 이와 같이, 샘플 (A)가 (B)에 비해 서지 전압에 대한 반복 작동이 매우 양호하게 나타난 것은, 절연 박막을 양면으로 형성시킴으로써, 박막 겹 간에 더 많은 수의 겹 방전 공간이 형성되기 때문으로 생각된다.

3. 결 론

본 연구에서는 반응성 RF 스퍼터의 공정으로써 제작된 산화몰리브덴(MoO₃)의 박막을 제작하여, 양면 박막 겹 형의 피뢰 소자를 제작, 표준 임펄스 대전류를 인가하여 방전 및 발광 특성에 대한 기초 연구를 수행하였다. 위의 결과와 같이 열처리 공정에 따른 박막의 구조가 달라지며, 열처리 시의 박막의 겹간격이 더 넓어져 피뢰소자로서의 기능이 더 우수하다는 것을 예상 할 수 있었으며, 또한 단면 겹 방식보다는 양면 겹 방식의 피뢰소자가 서지전압에 대한 피뢰 소자로서의 작동이 양호하다는 것을 확인할 수 있었다. MoO₃ 소자는, 향후 체계적인 연구를 통해, 종래의 널리 사용되던 산화아연(ZnO) 소자의 단점으로 지적되어 왔던 수명과 반응속도의 문제점이 개선 가능하고, 방전개시 전압, 전류 값이 낮기 때문에, 종래에 종종 발생하던 오동작의 문제점도 보완 가능할 것으로 기대되어, 차세대 피뢰소자로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 Brain Busan 21사업에 의하여 지원되었음

[참 고 문 헌]

[1] Youl-Moon Sung, Surface & Coatings Technology **193** (2005) 123.
 [2] H. Yokoyama, Youl-Moon Sung et al., Proc. 2001 Japan Korea Joint Symp. on Electrical Discharge and High Voltage Engineering (2001) p. 277.