

스퍼터링 박막공정

이 전 국(李鎭國)
한국과학기술연구원 박막기술연구센터

1. 스퍼터링 박막 공정 개론

스퍼터링법은 Table 1처럼 플라즈마, 이온빔, 아크 등을 사용하여 타겟 물질을 스퍼터하여 기판에 세라믹스 박막을 형성하는 방법이다. 스퍼터링법은 산화물 타겟을 쓰는 경우, 알곤 스퍼터링에 의해서 양질의 세라믹스 박막을 형성할 수 있지만, 대형 타겟 제조가 어렵고, 타겟을 열충격에 약한 단점이 있다. 따라서, 금속 타겟을 사용한 반응 스퍼터링이 많이 활용된다. 이 경우, 타겟 포이징 문제를 해결하기 위해 비대칭 펄스 직류 방식을 쓴다. 넓은 면적에 두꺼운 세라믹스 박막을 형성하기 위해서는 고주파 플라즈마 상호 스퍼터링을 사용하는 할로우 캐토드 아크 디스차지법을 사용한다. 이 방법은 박막 형성 속도가 기존 방법의 10배 이상으로 빠른 장점이 있다.

2. 직류 스퍼터링 공정

금속 박막을 형성하기 위한 직류 전압을 이용한 직류

Table 1. 스퍼터링의 종류 및 특징

박막공정	방법	특징
직류 스퍼터링	전압 차이에 의한 스퍼터링	금속 박막 형성
비대칭 펄스 직류 반응 스퍼터링	금속 타겟 사용 코팅 및 산화반응으로 형성	금속 타겟 사용 경제적, 재현성, 표면 거칠기 문제
고주파 스퍼터링	고주파 플라즈마 알곤 이온 타겟 충돌	다양한 성분 세라믹스 제조 재현성 향상
이온 빔 스퍼터링	이온 빔에 의한 타겟 스퍼터링	캐θο드가 간단하다. 대면적 코팅이 어렵다.
할로우 캐토드 디스차지	타겟 고주파 플라즈마 아크를 이용	증착 속도가 빠르다. 대면적화 가능

스퍼터링 법의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 진공 펌프로 진공이 유지된 챔버 내에서 스퍼터 기체로 알곤 가스를 흘려주면서 공정 압력 60 밀리 토르 정도를 유지한다. 코팅하고자 하는 물질 타겟에 10 W/cm² 정도의 직류 전원을 인가하면, 코팅하고자 하는 기판과 타겟 사이에 플라즈마가 발생한다. 이러한 플라즈마 내에서는 다음과 같은 현상이 일어난다. 고출력 직류 전계에 의해 알곤 기체가 양이온으로 이온화된다. 알곤 양이온은 직류 전계에 의해서 음극으로 가속되어 충돌하게 된다. 이 충돌 에너지에 의해서 코팅에 필요한 스퍼터된 입자가 튀어 나오게 된다. 이들 스퍼터된 중성 입자들이 기판에 도달하여 박막을 형성시키게 된다. 타겟에 충돌되는 알곤 양이온의 양을 증가시키기 위해 타겟 뒤쪽에 자력을 형성시켜서 전자기동 궤적을 변형하여 알곤 기체의 충

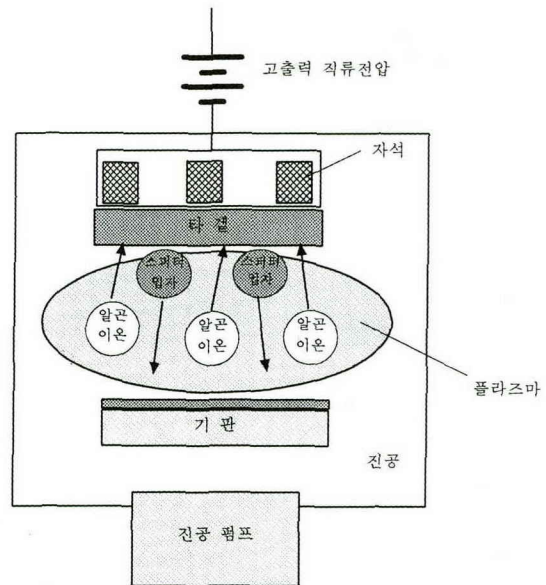


Fig. 1. 직류 스퍼터링의 개념도

돌 횡수를 증가시키고, 결국, 알곤 원자의 이온화를 촉진시킨다. 이러한 방식을 평면 마그네트론 방식이라고 한다. 이러한 이유로, 타겟 형태 및 자력선의 방향을 조절하여 원하는 형태의 박막 코팅을 한다. 일반적으로 증착 속도는 분당 10 nm 정도이다.

3. 반응 직류 스퍼터링

산화물 부도체 박막을 형성하기 위해서는 직류 스퍼터링법을 사용할 경우, 금속 스퍼터링과 반응성 산소를 함께 사용해야 한다. 이러한 반응 직류 스퍼터링의 경우, Fig. 2처럼 타겟 표면에 형성된 산화물 오염층이 캐패시터 형태가 되고, 직류 전계에 의해 표면에 양이온이 모이게 된다. 이 경우, 가속된 알곤 양이온이 도달할 수 없어서, 더 이상의 스퍼터링이 일어나지 않게 되고, 오염된 산화물 사이에 아크가 발생하기도 한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해, 음극에 양전압을 걸어주어서 산화물 오염층 위의 양이온을 제거하고, 이어서 음 전압을 걸어주어서, 오염층을 스퍼터 제거해 주는 방법을 사용한다. 이 경우, 음 전압과 양 전압을 일정한 간격으로 교대로 걸어주어야 한다.

간헐적으로 양전압을 걸어주어서, 오염층을 제거하는 방법으로는 비대칭 펄스 직류 전압을 걸어 주는 방법이 있다. 이 경우, 스퍼터링에 필요한 음전압을 많이 걸어 주고, 짧은 시간에 양전압을 걸어 주는 비대칭 펄스 전

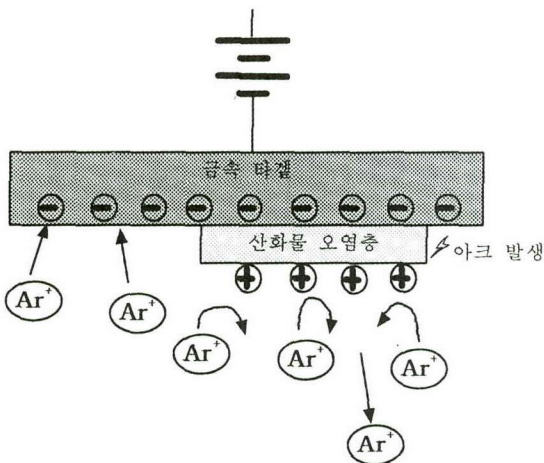


Fig. 2. 직류반응 스퍼터링에서 산화물 오염 현상

압이다. 이러한 방법을 사용하면, 반응 스퍼터링의 증착 속도를 직류 스퍼터링 수준까지 높일 수 있는 장점이 있다. 비대칭 펄스 직류 스퍼터링법으로 증착된 산화물 박막은 일반 직류 스퍼터링법에 비해서, 박막의 밀도가 높고, 박막의 표면 상태가 우수한 장점이 있다.

4. 고주파 스퍼터링 공정

산화물 타겟을 사용하여 스퍼터링하는 방법으로 고주파 스퍼터링법이 있다. 개념도는 Fig. 1과 유사하며, 단지 직류 대신에 고주파 전원을 인가하는 것만이 다르다. 13.56 MHz 고주파 전압을 타겟에 걸어주면, 플라즈마에 의해 알곤 기체가 이온화된다. 타겟과 기관 사이의 고주파 교류 전압의 극성 변화가 무척 빨라서, 알곤 이온과 전자의 상호 이동 속도의 차이가 거시적으로 음의 셀프 바이아스로 형성된다. 타겟에 걸리는 음의 셀프 바이아스 전계에 의해서, 알곤 이온 입자가 Fig. 1처럼 타겟에 가속되어 타겟에 물질을 깎아서 떼어내는 스퍼터링 공정이 이뤄진다. 이 방법으로 다성분 산화물 박막을 형성시킨다. 증착 속도는 분당 5 nm 정도로 느린 편이다. 본 방법은 다성분 산화물 타겟을 사용하여 코팅할 수 있는 장점이 있지만, 증착 속도가 느리고, 다성분의 화학양론 조절이 어려운 단점이 있다. 다성분 스퍼터링에 의한 성분의 변화 문제는 스퍼터링 압력을 조절하여, 알곤 이온 충돌로 생성된 스퍼터 입자의 운동 에너지 조절로

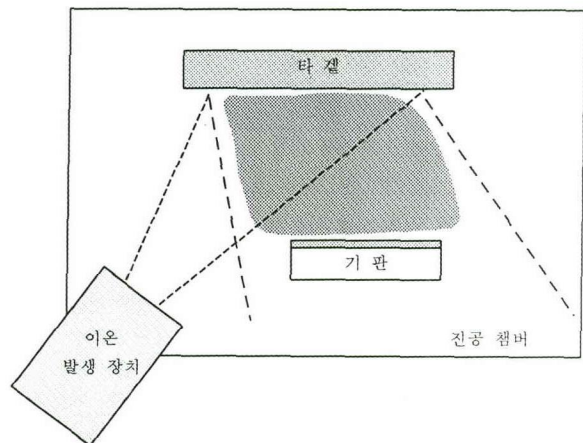


Fig. 3. 이온빔 스퍼터링 박막 공정

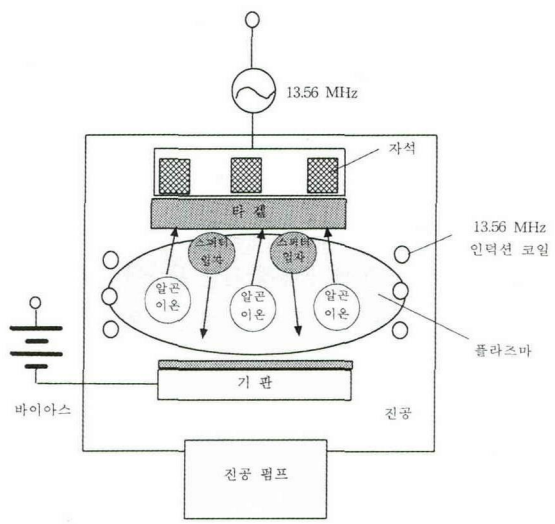


Fig. 4. 이온화 고주파 스퍼터링법

가능하다. 일반적으로 스퍼터 압력을 높이면, 알곤 가스와의 충돌 횟수가 많아져서, 스퍼터 입자의 운동 에너지가 감소하고, 단순한 농도 차이에 의한 확산 공정에 의해서 코팅이 이뤄지고, 스퍼터 박막의 조성 변화도 줄일 수 있다. 그러나, 이 경우 증착 속도가 현저히 느려지는 단점이 있다.

5. 이온 빔 스퍼터링 법

양질의 세라믹스 박막 형성법으로 Fig. 3과 같은 이온 빔 스퍼터링법이 사용된다. 10^{-4} 토르 이하의 고진공 중에서, 알곤 가스 이온 발생 장치를 통해 가속된 알곤 이온 빔이 타겟 표면을 스퍼터링하여 코팅을 수행하는 공정이다. 이 공정은 형성된 박막에 플라즈마 손상이 적어서 고품질의 박막을 형성하는 방법으로 많이 활용되고 있다. 산화물 박막의 특성이 우수하지만, 증착 속도가 분당 1 nm 정도로 늦은 단점이 있다. 이 공정은 이온 빔 발생 장치의 빔 크기의 한계로, 대면적 코팅에 어려움이 있다.

6. 이온화 고주파 스퍼터링

스퍼터링 박막 공정의 경우 기판의 트랜치 옆 면을 코팅하는 스텝 커버리지에 어려움이 있다. 이를 개선하기

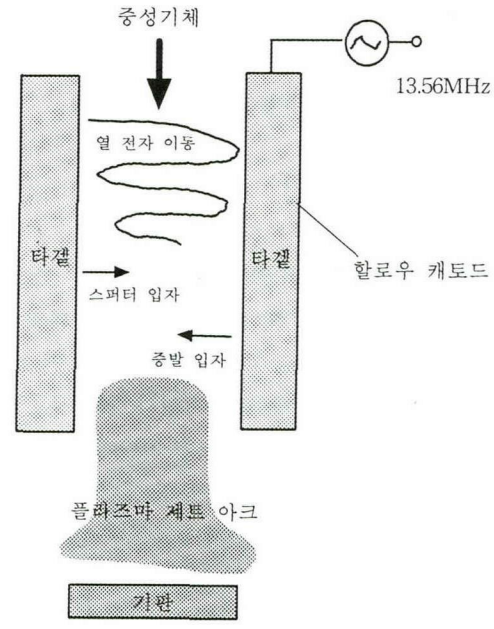


Fig. 5. 할로우 캐토드 디스차지 법

위해 Fig. 4와 같이 스퍼터 입자를 이온화 시키는 플라즈마 코일을 사용하는 이온화 고주파 스퍼터링법이 있다. 이온화된 입자를 코팅시키기 위해 기판에 -100 볼트 정도의 음의 바이아스를 가한다. 이 경우, 이온화된 입자는 운동에너지의 힘보다, 바이아스에 의한 전기적 인력으로 트랜치의 옆면에 코팅되게 된다. 이러한 방법으로 현재 구리 이중 상감 배선 공정에서 트랜치 보호층 및 씨앗층 형성 방법으로 이용되고 있다.

7. 할로우 캐토드 디스차지법

두꺼운 필름을 형성 시키는 경우 증착 속도가 분당 수십 nm 이상이 되어야 한다. 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 스퍼터링법으로 Fig. 5와 같은 할로우 캐토드 디스차지 법이 있다. 원통형 타겟에 할로우 캐토드가 되고, 상부에 넣어준 중성 기체와 타겟에 걸어준 고주파 전원 에 의해서 할로우 캐토드 내부에 많은 양의 스퍼터링 현상이 발생하고, 열전자 및 열이온화에 의해 타겟 증발도 수행되는 플라즈마 세트 아크가 발생하여 많은 양의 물질이 코팅된다. 이러한 방법은 기존 스퍼터링법에 비해 10배 이상의 증착 속도를 나타내고 있다. 이러한 방법으로 대면적 코팅을 수행하기 위해 평판 형태의 타겟 두



장을 불혀서 형성한 할로우 캐토드를 사용하면, 선형 아크 디스차지법이 된다. 이 방법으로 코팅하면서 기판을 직선적으로 이동하면 대면적 코팅도 가능하다.

8. 스퍼터링 제조 조건

스퍼터링된 산화물 박막의 특성을 결정하는 조건으로는 기판 온도, 스퍼터 압력, 산소분압, 고주파 파워, 타겟 기판 사이의 간격 등으로 이들 조건을 조절하면 원하는 조건의 산화물 박막을 제조할 수 있다. 일반적으로, 기판 온도가 높아지면, 스퍼터 입자가 기판에 도달하여 원하는 자리를 찾아 갈 수 있는 충분한 에너지를 얻을 수 있어서 결정화가 양호하고, 미세 구조도 주상 형태로 자라는 등으로 양호하지만, 휘발 성분이 손실되는 단점이 있다. 산소 분압이 높아지면 알콘 분압이 낮아져서 스퍼터 속도가 느려지지만, 산소 공급이 원활해서 산화물 박막의 특성이 우수하다. 고주파 파워를 높여주면, 증착 속도가 빨라지지만, 마주보고 있는 기판에 플라즈마 손상을 일으켜서 박막의 특성이 나빠진다. 타겟과 기판 사이의 간격을 멀리하면, 박막의 특성은 향상되지만, 증착 속도가 느려지는 단점이 있다.

타겟과 기판의 위치에 따라 스퍼터 방식의 차이가 있다. 타겟 위에 있는 스퍼터 다운 방식은 기판을 아래에 그냥 올려 놓을 수 있는 장점이 있지만, 타겟에 생성되는 입자가 그대로 기판에 떨어지고, 타겟의 균열에 의한 공정 중단 등의 단점이 있다. 타겟의 아래에 있는 스퍼터 업 방식은 타겟 균열이나 입자 생성에 의한 코팅 박막이 특성 저하 문제는 없지만, 기판을 위에 부착하는

어려움이 있어서 작업 상의 어려움이 있다. 일반적으로 대면적 스퍼터링법은 기판과 타겟을 평행으로 세우는 방식을 사용하여 작업 공간의 활용도를 높인다.

플라즈마에 의한 기판의 손상을 막기 위해 타겟 기판을 서로 마주보지 않고 일정한 각도를 유지하는 오프 액시스 스퍼터링법이 있다. 이 방법은 스퍼터 입자의 방향성이 없는 물질의 농도 구배에 의한 확산에 의해 박막이 형성되므로, 산화물 에피 박막 형성 등에 이용된다.

9. 결론 및 제언

새로운 기능 창출을 위한 세라믹스 박막 형성을 위한 다양한 방법의 스퍼터링에 관하여 기술하였다. 현재는 금속 박막 코팅 산업에 많이 활용되지만, 앞으로는 산화물 박막 코팅 산업에도 스퍼터링 법이 많이 활용될 것으로 사료된다.

	<p>이 전 국</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1981년 한양대학교 금속공학과(공학사) · 1983년 KAIST 재료공학과(공학석사) · 1991년 KAIST 재료공학과(공학박사) · 1983년 KIST 무기재료연구실 연구원 · 1991년 KIST 세라믹스부 선임연구원 · 1997년 KIST 박막기술연구센터 책임연구원
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------