

# 플라즈마 원자층박막증착 기술과 유전 박막에의 응용

글 \_ 정승훈 || 에이에스엠 지니텍 코리아  
sunghoon.jung@asm.com

## 1. 서론

반도체 집적소자의 크기가 점점 작아지고 형상이 복잡해짐에 따라 높은 단차(Step coverage) 구조에 균일하고 얇은 두께의 박막을 도포할 수 있는 증착 기술이 중요해져 왔다. 얇은 박막에는 복잡한 형상의 구조에도 균일하게 증착되는 도포성뿐 아니라 소자에서 요구되는 절연 특성 및 확산 방지 특성을 충족시키기 위한 조성의 균일성 및 우수한 전기적 특성 등이 요구되었다. 이에 따라, 이전까지 널리 사용되었던 물리기상증착(Physical Vapor Deposition, PVD) 공정 기술이나 화학기상증착(Cheical Vapor Deposition, CVD) 공정 기술은 까다로운 요구를 충족시키지 못하여 수요가 점점 줄어드는 반면, 요구를 충족시킬 수 있는 원자층박막증착(Atomic Layer Deposition, ALD) 공정 기술이 기존의 박막증착 공정 기술을 대체하기 시작하였다.

ALD는 기상화학증착 반응을 이용하되 전구체(Precursor)와 반응체(Reactant)를 시분할로 주입함으로써 기상반응을 억제하고 기판의 표면에서 이루어지는 자기제한 반응(Self-limited reaction)을 이용하여 박막의 두께를 정확히 조절하여 증착하는 공정 기술이다. 자기제한 반응은 ALD의 독특한 특징으로 박막의 두께를 원자층 이하 단위로 정확하게 조절할 수 있으며, 두께 제어를 통해 정확한 조성 제어가 가능하다. 또한 자기제한 반응 특성은 뛰어난 단차도포성(Step coverage)과 두께 균일성(Thickness uniformity)을 가지게 하여 구조의 단차가

큰 캐패시터 뿐 아니라 표면적이 넓고 구조가 복잡한 섬유의 내부 공간이나 미립자 구조의 표면 등에도 균일하게 박막을 형성할 수 있다. 이러한 장점을 바탕으로 ALD는 현재 DRAM 캐패시터의 유전 박막 제조의 양산 기술로 이용되고 있다.<sup>1)</sup>

그러나 ALD는 적절한 전구체와 반응체의 선택이 어렵고, 박막 형성 속도가 느리며, 저온 공정에서 기인하는 박막 물성 저하 등 여러 단점들도 함께 가지고 있다.<sup>1,2)</sup> 최근 주목 받고 있는 다성분계 다층박막 형성에 적용할 경우 ALD 공정온도 범위(ALD process window)가 물질마다 달라 하나의 증착장비에서 두 개 이상의 공정을 진행하는데 어려움이 있다. 이 경우 하나의 다성분계 다층박막 형성을 위해 두 개 이상의 증착장비를 필요로 하므로 장비 투자 비용 증가 및 웨이퍼 이송 시간의 증가로 인해 생산성이 저하되는 문제가 있다.

이에 ALD 공정에 플라즈마 기술을 적용하여 ALD 반응체의 반응성을 높임으로써, 공정온도 범위를 넓혀 다 성분 다층 박막의 구현을 가능하게 하고, 퍼지(Purge) 시간을 줄여 생산성을 증가시키며, 플라즈마의 역할을 통해 박막 물성도 향상시킬 수 있는 플라즈마 원자층박막증착 기술(Plasma Enhanced Atomic Layer Deposition, PEALD)이 개발되었다. PEALD 공정 기술은 반도체 소자의 캐패시터 절연막 공정에 적용 시 좋은 결과를 얻고 있으며, 이외에도 디스플레이 소자 등의 절연막, 금속 배선의 금속확산방지막 및 접착 박막 등에도 용이하게 적용될 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>1),3-6)</sup>



## 2 PEALD 공정의 이해

### 2.1 ALD 공정

PEALD 공정은 기본적으로 ALD 공정과 동일한 공정 순서에 플라즈마 공정을 추가한 것이므로 먼저 ALD의 공정에 대해 알아본다. ALD는 네 개의 연속된 순서에 따라 전구체, 퍼지 가스, 반응체, 그리고 퍼지 가스를 차례로 공급하여 박막을 형성한다(Fig. 1-(a)).

ALD 공정의 첫 번째 순서는 기판으로의 전구체 공급 및 흡착이다. 이 때 기판 온도는 전구체의 열분해 온도 이하로 유지시켜 이 순서 동안 발생할 수 있는 열분해 박막 형성을 방지한다. 전구체에 따라 다르나, 대부분의 전구체는 기판 온도가 낮을수록 기판에 더 많이 흡착된다. 전구체의 열분해 온도는 대개 100~700도 정도이다. 반도체 소자용 박막 증착의 경우 대개 기판 내 불순물 확산을 줄이기 위하여 400도 이하의 온도가 선호된다. 전구체는 대개 이송가스와 함께 기판까지 전달되며, 물리적 인력에 의해 기판에 흡착된다. 흡착되는 형태는 전구체와 기판의 물리적 성질에 따라 달라 균일하게 분포하기도 하고 섬 형태로 뭉치기도 하는데, 이것이 ALD 박막의 표면 거칠기를 결정하는 중요한 원인 중 하나가 된다. 우수한 두께 균일성을 얻기 위해서는 전구체 공급 단계에서 기판이 완전히 전구체로 덮일 수 있도록 충분히 긴 시간이 필요하다. 전구체 공급 시간이 길수록 웨이퍼의 표면이 충분히 고르게 덮이므로 박막 두께의 균일성이 우수해지는 반면 공정 시간이 길어져 생산성이 저하된다. 전구체의 증기압이 낮을수록 경우 전구체 공

급에 긴 시간이 필요하므로 tri-methyl aluminum (TMA) 와 같이 높은 증기압을 가지는 전구체가 ALD용으로 선호된다.

ALD 공정의 두 번째 순서는 불필요하게 남아 있는 전구체를 씻어내는 퍼지 가스 공급이다. 퍼지 가스로는 전구체와 반응하지 않는 불활성 기체인 아르곤 (Ar) 이 주로 이용된다. 전구체 공급을 중단하고 퍼지 가스를 공급하면 기판 위 기상으로 남아있던 전구체와 기판에 약하게 흡착을 하고 있던 전구체들이 퍼지 가스에 의해 씻겨 나가고 기판과 강한 물리적 결합을 하고 있던 한 층의 전구체들만 남는다. 퍼지 후 남은 전구체의 흡착량이 ALD 성장속도를 결정하는데, 잔류 전구체의 양은 전구체의 크기, 전구체와 기판 간의 결합 특성, 그리고 공정 온도와 압력 등에 의해 달라진다. 유전막 ALD의 경우는 전구체 한 층에 의해 만들어지는 박막의 두께는 대개 0.03~0.2nm로 원자 한 층의 실제 두께보다 얇다. 퍼지 시간이 너무 짧으면 기상에 잔류하는 전구체가 다음 순서에서 공급되는 반응체와 기상 반응을 하여 증착 속도와 두께 균일성에 영향을 주고 입자 오염을 증가시키는 문제가 있다. 반대로 퍼지 시간이 너무 길 경우 공정 시간이 증가하여 생산성이 저하되므로, 적용 목적에 따라 적절한 퍼지 시간을 정하여야 한다. 짧은 시간 동안 퍼지 효과를 극대화하기 위하여 퍼지 시간 동안 반응기 내 압력을 낮추는 방법이 이용되기도 한다.

ALD 공정의 세 번째 순서는 기판으로의 반응체 공급이다. 반응체는 기판에 이미 흡착되어 있던 전구체와 화학반응을 하여 박막을 형성하므로 기판은 이 화학반응을 일으킬 수 있는 충분히 높은 온도를 가져야 한다. 이 온도를 CVD 반응 온도라고 하며 해당 화학반응에 따라 다르나 대개 100~600도 정도이다. 앞서 전구체 공급 단계에서 설명된 전구체 열분해 온도와 이 CVD 반응 온도 사이의 온도 구간을 ALD 공정 온도 구간 (ALD process window)라고 하며, 보통 ALD 공정은 이 온도 구간에서 이루어진다. 유전막 형성의 경우 증착 온도가 높을수록 박막 내 불순물이 적어지는 경향이 있어 ALD 공정 온도 구간 내에서 가장 높은 온도가 많이 이용된다. 반응체는 증기압이 높을수록 공급 시간을

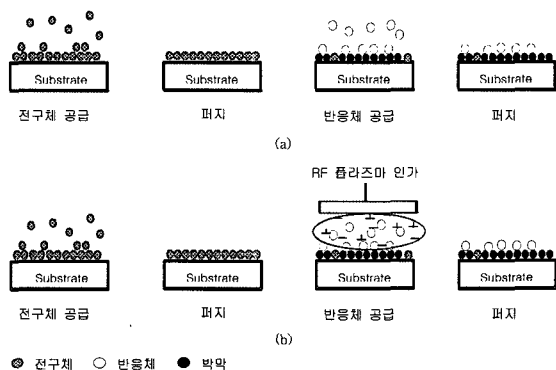


Fig. 1. (a) ALD 공정 순서와 (b) PEALD 공정 순서.

줄일 수 있고 반응성이 강해야 전구체의 열분해 온도 이하에서 충분한 화학반응을 할 수 있다. 유전막 형성의 경우 반응체로는 물이 가장 많이 사용되어 왔다. 그러나 물은 반응기 내벽에 흡착되면 응축하기 쉽고, 일단 응축된 물은 기화가 매우 느려 좀처럼 제거가 되지 않아 공정 시간을 증가시키는 단점이 있다. 응축된 물이 전구체를 만나면 입자 오염의 원인이 되며, 증착된 박막 내부에 잔류할 경우 O-H 결합을 만들어 박막의 물성을 저하시키기도 한다. 이러한 이유로 물보다 반응성은 약하지만 퍼지가 용이한 알코올이나 산소, 암모니아 등이 이용되기도 하며, 최근에는 오존 (Ozone)이 많이 이용되고 있다. 오존은 물처럼 반응성이 강하면서도 퍼지가 용이하여 반도체 소자의 캐패시터 유전막 공정에서 사용되고 있다. 그러나, 물과 마찬가지로 반응기나 가스 라인 내에 잔류할 경우 전구체와 기상 반응을 일으켜 입자 오염의 원인이 되므로 역시 충분한 퍼지 시간이 필요하다.<sup>1)</sup>

ALD 공정의 네 번째 순서는 반응체를 퍼지하는 퍼지 가스의 공급으로 ALD 공정의 두 번째 단계와 거의 동일하나, 반응체의 퍼지 용이성에 따라 퍼지 유량과 퍼지 시간이 달라진다. 물과 같이 흡착 특성이 강한 반응체를 사용한 경우 퍼지 시간이 가장 길며 산소와 같은 기체형 전구체를 사용할 때 퍼지 시간이 가장 짧다. 반응체 퍼지 시간이 너무 짧을 경우 반응체가 잔류하여 다음 단계에서 전구체와 만나 기상 반응을 일으킨다. 반대로 반응체 퍼지 시간이 너무 길 경우 공정 시간의 증가로 생산성이 저하되므로 용도에 따라 적절한 퍼지 시간을 결정하여야 한다. Fig. 2에 ALD와 PEALD의 공정 시간을 비교한 개념도가 나와있다.

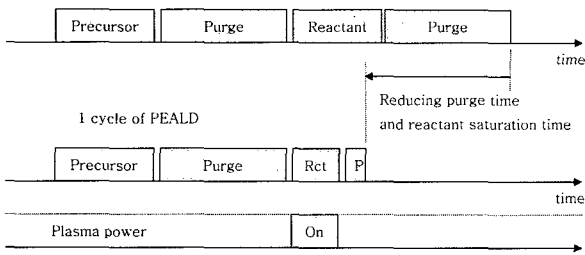


Fig 2. ALD와 PEALD의 공정 시간 비교

## 2.2 PEALD 공정

PEALD 공정의 경우 첫 번째 전구체 공급 단계와 두 번째 퍼지 단계는 ALD와 동일하나, 세 번째 반응체 공급 단계에서 플라즈마를 발생시켜 반응성을 향상시킨다. 이 때 가장 큰 차이가 있다. 이로 인해 네 번째 단계의 퍼지 시간도 ALD에 비해 현저히 줄어든다. PEALD 공정 순서는 Fig. 1-(b)에 나와 있다.

PEALD 공정의 세 번째 순서인 반응체 공급 단계에서는, 플라즈마가 안정하게 발생할 수 있도록 반응체를 짧은 시간 동안 먼저 공급하여 압력과 유량 조건을 안정화한 후 플라즈마를 발생시키는 것이 일반적이다. 플라즈마에 의해 활성화된 반응체는 활성화되기 전에 비해 반응성이 증가하므로 화학반응 온도가 낮아져 기존의 ALD보다 낮은 온도에서 전구체와 반응하여 박막을 만들 수 있다.<sup>7)</sup> 이러한 특성은 산소와 같이 퍼지가 용이하나 전구체 열분해 온도 이하의 저온에서는 반응성이 낮아 기존 ALD 공정에서 사용할 수 없었던 반응체도 이용할 수 있게 한다. 낮아진 화학반응 온도는 ALD 공정 온도 구간을 넓혀, 기존 ALD 공정에서는 같은 공정 온도에서 증착 할 수 없었던 서로 다른 성분의 박막들을 하나의 반응기에서 동일한 온도로 증착 할 수 있게 하므로, 이러한 특성을 이용하여  $Al_2O_3$ ,  $HfO_2$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $SrO$ ,  $TiO_2$  등 다양한 성분의 다층 유전막을 PEALD로 증착하는 연구들이 이루어지고 있다.<sup>1),8-9)</sup> 또한 플라즈마는 반응체를 활성화시켜 전구체와 완전히 반응하도록 도움으로써 불완전한 반응으로 탄소를 함유한 전구체의 작용기 (리간드, Ligand)가 박막 내에 남는 것을 줄일 수 있다. 유전막 내 탄소 불순물은 누설전류가 흐르는 경로로 작용하고 유전상수를 감소시키므로 탄소 불순물은 적을수록 유리하다. PEALD로 증착된 유전막의 탄소 불순물 함량은 ALD로 증착한 박막의 경우보다 적으며, 플라즈마 파워를 증가되면 박막 내의 불순물 함량은 감소하는 경향이 있다.<sup>10)</sup> 그러나 플라즈마 파워가 어느 한계를 넘어서면 박막 내의 불순물 함량은 서서히 증가하는데,<sup>11)</sup> 이는 높은 플라즈마 파워로 인해 전구체의 리간드 자체가 파괴되어 탄소가 박막 내에 잔류하기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 3에 플라즈마 파워에 따른  $HfO_2$  박막 내 탄

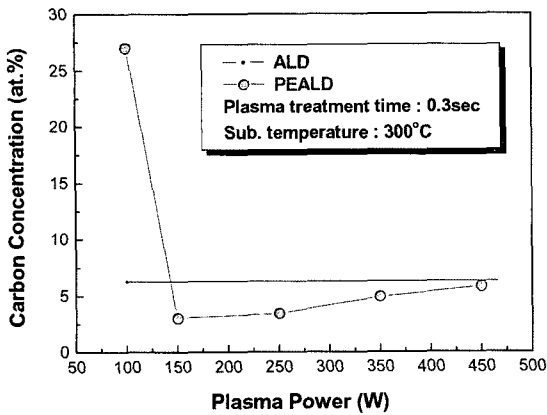


Fig. 3. PEALD로 증착한 HfO<sub>2</sub> 박막의 플라즈마 파워에 따른 탄소 불순물 함량.

소 불순물의 변화가 나와있다. 따라서 이 단계에서는 적절한 파워의 플라즈마를 인가하는 것이 중요하다.

PEALD 공정의 네 번째 순서인 반응체 퍼지 단계의 경우, ALD의 경우와 동일하게 불활성 퍼지 가스를 사용하여 반응기 내에 잔류하는 반응체를 씻어낸다. PEALD의 경우 산소와 같이 흡착성이 약한 기체형 반응체를 주로 사용하므로 ALD에 비해 퍼지 시간이 짧다. 더구나 TMA, PET, TiCl<sub>4</sub>, HfCl<sub>4</sub>와 같은 전구체들은 활성화된 산소와만 반응을 하고 활성화되지 않은 보통의 산소와는 반응을 하지 않으므로 플라즈마 공급을 중단하는 것만으로 화학반응을 막을 수 있어 반응체 퍼지 단계 자체가 거의 불필요하다. 이는 전체 공정 시간을 줄임으로써 생산성을 향상시키는데 매우 유리하다.

### 3. PEALD 반응기

ALD 반응기에는 크게 트레벨링 웨이브 방식(Traveling wave type), 샤워헤드 방식(Showerhead type), 주입기 방식(Injector type), 그리고 수직형 반응로 방식 (Vertical furnace type)의 네 가지 종류가 있으며, 이중 상부 전극과 기판 사이에서 직접 플라즈마를 발생시킬 수 있는 것은 트레벨링 웨이브 방식과 샤워헤드 방식의 두 가지이다. 직접 플라즈마 방식에는 CCP (Capacitively Coupled Plasma) 방식 플라즈마가 주로 이용되며, 플라즈마 밀도를 높이기 위하여, ECR (Electron Cyclotron Resonance)

플라즈마가 이용되기도 한다. 주입기 방식과 수직형 반응로 방식의 반응기는 구조상 직접 플라즈마 발생이 어려우므로 PEALD를 하기 위해서는 원격 플라즈마 (Remote plasma) 방식이 필요하다. 여기서는 직접 플라즈마를 발생시켜 사용할 수 있는 트레벨링 웨이브 방식과 샤워헤드 방식에 대해 설명하겠다.

트레벨링 웨이브 방식 반응기는 ALD 공정만을 위해 개발된 것으로 반응 기체가 웨이퍼 옆쪽으로부터 도입되어 웨이퍼 표면과 수평하게 진행된 후 웨이퍼의 다른 옆쪽 (입사와 반대 방향)으로 배출된다. 이 방식은 반응기 구조가 단순하므로 전구체와 반응체의 잔류가 적어 입자 오염의 문제가 적고 내부 부피가 작아 퍼지 시간을 줄일 수 있어 생산성 향상에 유리하다.<sup>1)</sup> 반면 사용 전구체에 따라 반응 기체 도입부와 배출부에서의 박막 증착 속도가 차이가 나는 단점이 있다. 트레벨링 웨이브 방식 반응기에서 PEALD 공정을 하는 경우 반응기의 상부 내벽과 기판 사이에서 직접 플라즈마를 발생시키거나 원격 플라즈마를 반응체 가스와 함께 공급하여 사용한다. 단순한 반응기 구조 덕분에 플라즈마가 발생하여 머무는 부분이 작고, 플라즈마 발생을 중단할 경우 잔류하는 활성종 (Radical)의 퍼지가 쉽다. 단, 기판 위가 아닌 반응기 내 다른 부분에서 기생 플라즈마 (Parasitic plasma)가 발생하지 않도록 장비의 구조를 잘 설계하여야 한다. PEALD 용으로 가장 많이 사용되는 트레벨링 웨이브 반응기에는 FLR (Folded Lateral Reactor)이 있다(Fig. 4). 이 반응기는 내부 부피가 작고 구조가 간단하여 공정 속도가 빠르고 입자 오염이 적으면서 조립이 간단하여 보수 유지가 쉽다. 현재 진행 중인 PEALD 연구의 상당 수는 FLR 반응기를 이용하고 있다.

샤워헤드 방식 반응기는 기존의 CVD 기술에서 사용

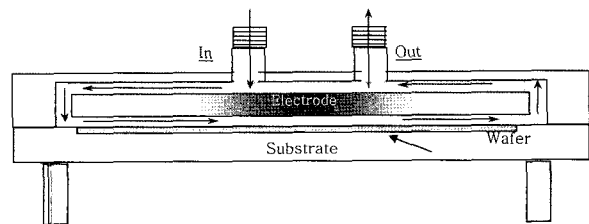


Fig. 4. FLR 방식의 PEALD 반응기 단면도.

하던 반응기를 ALD용으로 수정한 것이다. 전구체와 반응체가 웨이퍼 표면에 수직하게 도입되고, 반응 후에는 웨이퍼 가장자리 방향으로 배출된다. 전구체와 반응체가 기판 위 모든 지점에 거의 동시에 도달할 수 있어 박막 두께의 균일도를 향상시키는데 유리하다. 또한, ALD 공정뿐 아니라 CVD 공정에서도 우수한 두께 균일도를 확보할 수 있어 순수한 ALD 외에 CVD 공정을 같이 이용해야 하는 경우나 금속 등 기존의 ALD로도 균일한 증착이 어려웠던 박막 형성에 유리하다. 반면 샤워헤드 내부 형상이 복잡하므로 전구체와 반응체가 잔류하기 쉽고 퍼지가 어려워 입자 오염 발생의 문제가 있으며, 또한 반응기의 내부 공간이 넓어 퍼지 시간이 길어짐으로써 생산성이 저하되는 단점이 있다.

PEALD는 주로 트레벨링 웨이브 구조의 반응기에서 연구가 이루어져 왔으며, 최근 PEALD에서 증착된 박막의 특성이 우수함이 알려짐에 따라 샤워헤드 방식 반응기에서 PEALD를 하는 연구도 많아지고 있다.

#### 4. 유전 박막에의 PEALD 적용

PEALD로 증착된 유전박막은 기존 ALD 공정 기술로 증착된 유전박막에 비해 물성이 매우 우수하여 고유전 박막에의 응용에 유리하다.

원석준 등은 0.13 μm 급 기억소자의 캐패시터 유전막 용도로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HfO<sub>2</sub>, 그리고 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막에 FLR 반응기를 이용한 PEALD를 적용한 결과, 다른 ALD 공정이나 CVD 공정 박막에 비해 성장속도가 10~20%가 빠르고, 두께 균일성이 2% 이하로 우수하였으며, HfO<sub>2</sub> 박막의 경우 탄소 불순물 함량도 2% 이하로 ALD 박막의 5%보다 크게 낮았다고 보고하였다.<sup>1)</sup> Fig. 5에서 ALD와 PEALD로 증착한 HfO<sub>2</sub> 박막의 증착속도를 비교하였다. 단차 피복성은 거의 100%였고, 동일한 누설전류 조건에서 등가산화막 두께 (Equivalent Oxide Thickness, EOT)는 다른 공정 박막 중 가장 낮았으며, 박막은 후속 열처리를 하지 않았음에도 후속 열처리를 한 다른 공정에 비해 누설 전류를 비롯한 전기적 특성이 더 우수하였다. Fig. 6에 ALD와 PEALD로 증착한 HfO<sub>2</sub> 박막의 누설전류를

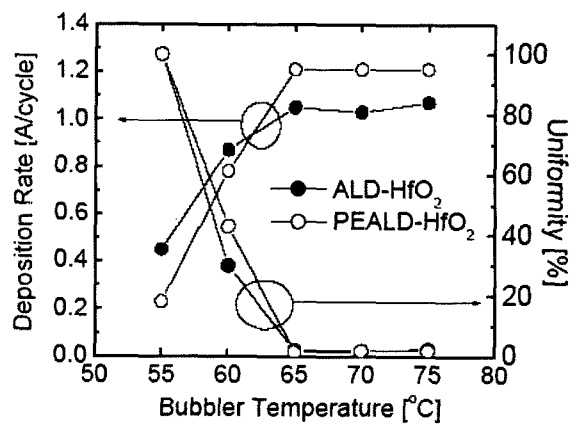


Fig. 5. ALD와 PEALD로 증착한 HfO<sub>2</sub> 박막의 증착 속도 비교 (Seok-Jun Won, et. al. Symp. VLSI Tech. Dig. 23 (2003)에서 인용).

비교하였다. PEALD로 만든 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 다층구조 박막 역시 다른 방법으로 만든 다층 박막 보다 전기적 특성이 우수하였다. 한편, PEALD를 사용할 경우 플라즈마 전하가 하부 기판이나 소자에 손상을 입힐 우려에 대해 신뢰성 시험 결과 플라즈마를 사용하지 않은 공정과 전혀 유의치가 없이 안전하였다고 보고하였다.

임정욱 등은 FLR 반응기를 이용한 PEALD로 정전기 발광 소자 (Electroluminescence device)용 유전막인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 TMA와 산소 및 질소 플라즈마를 사용하여 250도에서 증착하였으며, 이 박막의 특성을 TMA와 물을 사용한 ALD로 증착된 박막 비교하였다.<sup>2)</sup> PEALD로 증착된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 박막은 ALD로 증착된 박막에 비해 증착속도가 빠르고, 박막밀도가 높았으며, 절연 파괴 전압이 2배 이상 높았다. ALD 박막에 비해 정전 이력 (C-V hysteresis)이 작고 평탄대역 전압 (Flatband voltage) 이동도 적어 박막 내 결함이 적음을 추측할 수 있었다. 유전상수 역시 ALD 박막보다 높아 전기발광 소자 박막에 더 적합하다고 보고하였다.

Sandy 등은 2.45 GHz ECR 소스를 사용하는 산소 플라즈마를 t-butoxide 전구체와 반응시키는 PEALD 공정과 동일 장비를 이용하는 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 공정을 이용하여 기억소자용 유전막 용도로 HfO<sub>2</sub> 박막을 증착하였다.<sup>11)</sup> PEALD로 증착된 HfO<sub>2</sub> 박막은 24.7이라는 매우

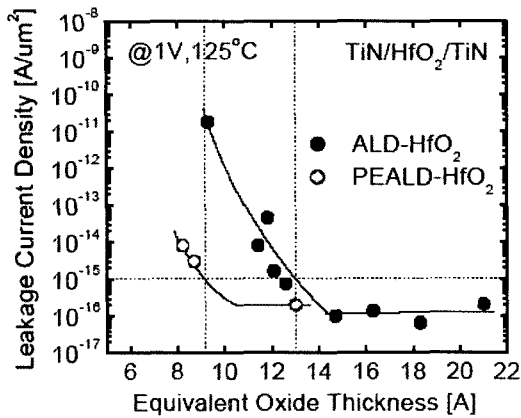


Fig. 6. ALD와 PEALD로 증착한 HfO<sub>2</sub> 박막의 누설 전류 비교 (Seok-Jun Won, Korean ALD Workshop 2006 발표자료에서 인용).

높은 유전상수를 가져 PECVD로 증착된 HfO<sub>2</sub> 박막의 19라는 낮은 유전상수에 비해 대조를 이루었다. 이렇게 PEALD HfO<sub>2</sub> 박막의 유전상수가 높은 이유는 PEALD HfO<sub>2</sub> 박막은 박막 내부에 Hf-O-H 결합 대신 유전상수 향상에 기여할 수 있는 Hf-O-Hf 결합이 많기 때문이라고 설명하였다.

송현정 등은 FLR 반응기를 이용하여 13.56MHz CCP 소스를 사용하는 산소 플라즈마를 Ta(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>5</sub>와 반응시키는 PEALD 공정으로 기억소자의 게이트 (Gate) 용 유전막 용도로 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막을 증착하였다.<sup>12)</sup> 이 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막은 산소 결핍이 없고, 탄소와 수소 불순물의 함량이 0.1 at%이하로 낮았다. 또한, 다른 CVD 혹은 ALD로 증착된 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막들과 달리 열처리 후에도 38이라는 높은 유전상수를 가졌는데, 그 이유는 계면산화막은 열처리 동안에도 두께가 증가하지 않았으며, SiO<sub>2</sub>에 비해서도 높은 유전상수를 가졌기 때문이라고 설명하였다. 또한, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 박막 자체도 열처리에 의해 두께가 변하지 않을 만큼 박막 밀도가 높아 높은 유전상수가 유지되는데 기여하였다고 하였다.

이와 같이 PEALD로 증착된 유전막은 ALD로 증착된 유전막에 비해 유전상수, 누설전류, 절연과피 전압 등의 전기적 특성이 더 우수하다. PEALD 유전막이 우수한 전기적 특성을 가지는 이유를 정리하면 다음과 같다. (i) 유전막 내 탄소 및 수소 불순물이 적다. (ii) 유전막의 박

막 밀도가 높다. (iii) 물성 및 두께 균일성이 우수하다. (iv) 계면산화막의 유전상수와 밀도가 높다.

또한, PEALD로 증착된 유전막은 ALD로 증착된 유전막에 비해 소자에 응용 시 생산성이 더 우수하였으며 그 이유는 다음과 같다. (i) 박막 성장 속도가 빠르다. (ii) 두께 균일성이 우수하다. (iii) 퍼지 시간이 짧아 전체 공정 시간이 감소된다. (iv) 하나의 장비와 공정 온도로 다 성분계 박막을 만들 수 있다.

## 5. 결론

PEALD는 ALD 공정의 장점을 살리고 단점을 보완한 박막 증착 기술이다. PEALD 공정은 공정 시간이 짧고 입자 오염이 적어 반도체 소자 공정에 적용 시 생산성이 높다. 또한 PEALD 공정은 반응체 선택이 쉽고 ALD 공정 온도 범위가 넓어 다성분계 박막 증착에도 적합하다. 특히 PEALD로 증착된 유전막은 높은 유전상수, 낮은 누설전류, 높은 절연과피전압 등 우수한 전기적 특성과 우수한 단차 피복성, 빠른 증착 속도, 적은 입자 오염 등 우수한 공정 특성을 가져 캐패시터 절연막 등으로의 적용 시 소자 특성 및 생산성 향상에 유리하다.

## 참고문헌

1. Seok-Jun Won, et. al. Symp. VLSI Tech. Dig. 23 (2003)
2. Jung Wook Lim and Sun Jin Yun, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 7 (8) F45 (2004)
3. Jung Wook Lim and Sun Jin Yun, *Jpn. J. Appl. Phys.* 42 L663 (2003)
4. Jin-Seong Park and Sang-Won Kang, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 7(8) C87 (2004)
5. H. Kim, A. J.Kellock, S. M.Rossnagel, *J. App. Phys.*, 92(12), 7080 (2002)
6. Oh-Kyum Kwon, Se-Hun Kwon, Hyoung-Sang Park, and Sang-Won Kang, *J. Electrochem. Soc.*, 151(12) C753 (2004)
7. H. Kim, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 21 2231 (2003)
8. Hyun-Jung Song, Sung-Hoon Jung, and Sang-Won Kang, ALD 2004 Conference, Helsinki (2004)
9. J. H. Lee, Y. J. Cho, Y. S. Min, and D. Kim, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 20(5) 1828 (2002)

10. Ju Youn Kim, Seok Hoon Kim, Hyungtak Seo, Jung-Hyung Kim, and Hyeongtag Jeon, *Electrochem. Solid-Lett.*, **8**(3) G82 (2005)
11. Sandy X. Lao, Ryan M. Martin, and Jane P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol. A* **23**(3) 488 (2005)
12. Hyun-Jung Song, Choon-Soo Lee, and Sang-Won Kang, *Electrochem. Solid-Lett.*, **4**(7) F13 (2001)

◎◎ 정승훈



- 2001년 한국과학기술원 재료공학과 박사
- 2001년 하이닉스 반도체 선임연구원
- 2003년 한국과학기술원 재료공학과 연수 연구원
- 2005년 에이에스엠 지니텍 코리아 책임연구원