

## CVD 기술동향

송 주 호

주성엔지니어링(주)

### I. 서 론

최근 들어 반도체 산업이 대내외적으로 많은 부정적인 시장전망에 직면하고 있으며, 이러한 시장의 어려움을 타개하기 위해 기술적인 측면에서도 더욱 집적화 된 소자의 개발을 위해 선결되어야 하는 많은 요소 기술의 조기 개발이 당면한 최대의 핵심문제중의 하나로 부각되고 있다. 본 글에서는 이러한 난관을 극복하기 위하여 개발되고 있는 기술들 중에서 CVD 관련 기술동향에 대하여 간략히 서술하고자 한다.

### II. CVD(Chemical Vapor Deposition)의 정의

CVD 기술동향을 본격적으로 논의하기 전에 먼저 CVD 기술의 기초적인 면을 간단히 알아보면, 반도체 제조공정은 크게 사진식각, 확산, 침적, 이온주입 공정등으로 분류할 수 있다. 침적(Deposition) 공정은 여타 방법을 사용하여 고상의 박막을 형성하는 공정이며, 크게 물리적인 방법을 사용하는 PVD(Physical Vapor Deposition)와 화학적인 방법을 사용하는 CVD(Chemical Vapor Deposition) 두 가지로 나눌 수 있다. CVD란 기상의 원료 물질을 사용하여 화학반응을 통해 고체 박막 혹은 입자를 형성하는 공정을 일컫는다. 반도체 기판 표면에서의 표면 반응 및 표면 확산 단계를 수반하므로 PVD와는 달리 우수한 충도 특성을 나타내는

것이 가장 큰 장점이다.

#### 1. CVD 기술의 분류

CVD 기술의 종류는 반응 에너지원에 따라 분류하면 열에너지를 이용하는 Thermal CVD, 플라즈마를 이용하는 Plasma CVD, 광을 이용하는 Photo CVD 등으로 나눌 수 있다. 공정을 진행할 때의 사용압력으로 분류했을 경우에는 상압에서 진행되는 APCVD(Atmospheric Pressure CVD), 저압에서 진행되는 LPCVD(Low Pressure CVD)등으로 나눌 수 있고, 또 원료물질을 기준으로 금속유기가스를 이용하는 MOCVD(Metal Organic CVD)가 있다. 최근에는 precursor 주입과 성장유도 방법에 따라 ALCVD(Atomic Layer CVD)가 개발되어 반도체 소자로의 적용을 위한 많은 연구가 추진 중이며 향후 미세 소자기술개발에 많은 일익을 주리라 기대하고 있기도 하다. CVD는 열분해반응, 환원반응, 산화반응, 가수분해반응 등을 이용하고 있으며, 주로 실리콘 단결정 및 다결정 또는 비정질막, 실리콘 및 금속의 산화막과 질화막, 그리고 전도성 금속막을 침적하는데 이용된다.

#### 2. CVD 기술의 개발 전개 방향

CVD 기술은 소자의 집적도가 증가하면서 많은 발전을 하여, 기존의 실리콘 산화막 및 실리콘 질화막을 CVD 공정으로 침적하는 기술에서, 최근에는 고밀도 플라즈마를 이용한 HDP(High Density Plasma) CVD 기술과 MOCVD 기술이 0.25um급 이하의 고집적 반도체 소자의 제조에 있어서 매우 중요한 기술로 발전되고 있

으며 그 활용도가 점차 증가하고 있다. CVD 장비도 집적도에 따라서 변모하고 있으며 화학반응기의 형태를 전통적인 Batch Type의 확산로에서, 낱장으로 웨이퍼가 처리되는 매엽식으로 바뀌어 가고 있다. 매엽식은 공정의 균일성과 관련 공정의 집적화 및 Fab의 자동화 측면에서 장점을 가지고 있으며, 최근에는 300mm 공정으로의 확장성 때문에 CVD 장비기술의 주류로 자리잡고 있다. 여기에 더하여 최근에는 계속적인 소자 크기의 감소로 인하여, 극단적으로 우수한 층당 힘 특성을 지니며 박막의 두께 및 조성을 극미세 수준으로 조절할 수 있는 ALCVD 방법이 차세대 박막용 침적 기술로 부각되고 있기도 하다.

### III. CVD 기술 개발동향 및 적용사례

지금부터는 현재까지 개발된 CVD 기술과 현재 진행되고 있는 기술개발 동향에 대해 알아보려 한다. 반도체 소자의 제조에 있어서 가장 많이 사용되었던 CVD 공정은 Batch Type 화학반응기를 이용한 실리콘 산화막 및 질화막 침적 공정이었으며, 최근에는 소자의 집적도가 증가함에 따라 기존에 사용되지 않던 더욱 다양한 재료의 CVD 공정이 요구되고 있다. 소자의 미세화 및 고밀도를 구현하는 집적화가 성공적으로 이루어지기 위해서는, 다음과 같은 요구조건들을 충족시키는 반도체 제조공정용 설비개발이 병행되어야 한다.

- (1) 공정진행 온도의 저온화 - Shallow 집합, 소자의 신뢰성 향상, 저유전물질의 사용
- (2) 배선의 저 저항화
- (3) 배선의 다층화 대응능력
- (4) 저결함 및 고신뢰화
- (5) 대구경 웨이퍼에 대한 대응력
- (6) 장치의 자동화

실제로 현재 소자에 적용되고 있는 침적 공정 중에서 배선형성을 위한 스퍼터링 및 전기도금

공정, 이온주입 및 확산, 열처리 공정 그리고 저유전 절연막의 spin coating 공정 정도를 제외하고는 대부분의 박막이 CVD 기술에 의하여 형성되고 있다. 이러한 상황에서 요구되고 있는 CVD 공정기술이 갖추어야 할 특징은 다음과 같다.

- (1) 박막화/고품질화 - ALCVD, 플라즈마 반응원이용, 매엽식공정
- (2) 저결함/고수율 - 설비의 Cluster화, 고진공
- (3) Low cost of ownership (CoO) - High Throughput, Small foot print, Uptime elongation,
- (4) 환경친화 - 챔버세정가스, Scrubber 기능 강화

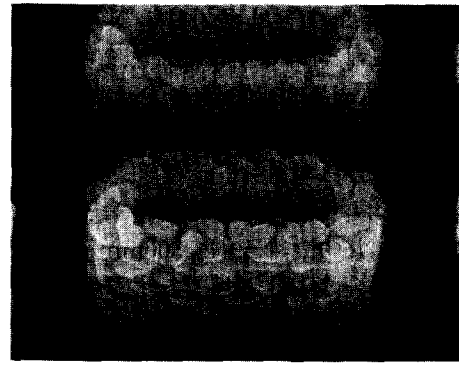
본 글에서는 현재 새로운 공정의 개발동향이 가장 활발히 이루어지고 있는 반도체 공정 module에 초점을 맞추어 새롭게 개발되고 있는 기술들에 대해 간략히 논의하고자 한다.

#### 1. MOCVD 기술

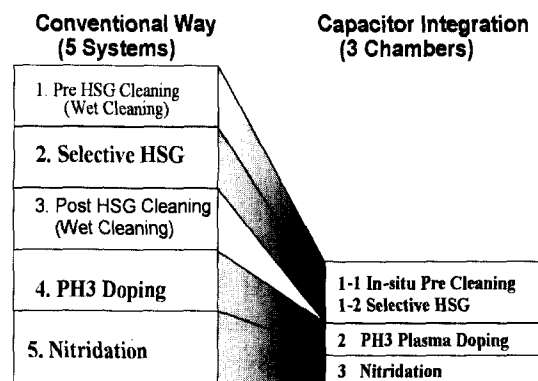
MOCVD 공정은 사용하는 전구체가 금속유기 화합물인 경우를 일컫는다. 최근 소자의 경우 실리콘뿐만 아닌 여러 가지의 금속 및 금속의 실리콘사이드, 산화물, 질화물 막을 요구하고 있다. 따라서 CVD 공정을 위해서는 이러한 금속을 함유하고 있는 원료가 필요한데, 이러한 금속의 무기 화합물은 그 결합력이 강해서 분해 온도가 매우 높은 것이 일반적이다. 반면 이러한 금속물질과 유기물을 함유하는 화합물을 일련의 화학반응을 통해 합성하는 것이 가능한데, 이러한 합성과정을 통해 만들어진 유기금속 화합물은 비교적 분해 온도가 낮고, 반응시 금속 원자로부터 유기물의 탈착이 용이하기 때문에, 이를 통해 원하는 재료의 박막 침적이 비교적 저온에서 가능하게 되었다. MOCVD에 대한 연구는 이미 오래 전부터 이루어져 왔으나, 일반적으로 유기합성에 의해 만들어진 precursor는 고체 혹은 액체가 대부분이고, 증기압도 매우 낮기 때문에 실제 CVD로의 적용에는 많은 애로사항을 내포하고 있었다. 아직까지도 고상 화합물의 사용은 많은 문제

를 가지고 있으나, 최근에는 액상 화합물의 사용을 위한 장치기술이 비약적으로 발전을 하여 그 적용이 빠른 속도로 증가하고 있다. 따라서 이러한 MOCVD장비의 개발에 있어서는 precursor의 정확하고 재현성 있는 운송 및 신뢰성 있는 precursor 운송 시스템의 개발, CVD 기술에 적용이 용이한 precursor의 개발 등이 가장 중요한 사항이라고 할 수 있다. Precursor 운송 시스템의 경우, 근래에는 오래 전부터 사용되어온 bubbling 시스템의 개선 뿐만 아니라 정확한 액상물질의 흐름을 조절할 수 있는 LDS(Liquid Delivery System) 및 가열에 의해 액상에서 기체화된 vapor를 조절할 수 있는 MFC(Mass Flow Controller)가 개발되어, MOCVD 기술을 한 단계 진보시킴으로서 궁극적으로는 양산으로의 적용시기를 앞당기고 있다. 이러한 운송 시스템은 precursor의 특성에 따라 적절히 선택되어야 할 것이다. 따라서 소사업체 및 장비업체에서는 이러한 장치의 개발 뿐 아니라 precursor 특성 파악에도 노력을 기울이고 있다. 금속유기 화합물 precursor의 경우, 금속원자와 유기물이 복잡하게 결합되어 분자량이 크고 vapor화 되어 사용되기 때문에 일반 기체와는 다른 특성을 가진다. 따라서 MOCVD장치를 개발할 때에는, 이러한 점을 충분히 반영하여 반응기와 개스 공급 시스템을 개발하여야 한다. MOCVD 기술 개발에 있어서는 이러한 운송 시스템 및 부산물 처리 기술, 반응기 설계 등이 가장 중요한 요소기술이다. 그러면 MOCVD 기술에 의한 박막의 주요 적용사례에 대해 알아보기로 한다.

최근 들어 MOCVD 기술은 메모리 소자의 가장 중요한 부분중의 하나인 capacitor에 그 적용가능성이 크게 증가하고 있다. Capacitor 소자의 층간 절연막으로 사용되는 고유전율 박막 물질은 전통적으로 CVD 방법에 의해 만들어져 왔다. 기존에는 질화막-산화막(일명 NO박막) 형태의 이층박막을 주로 사용하였으며, 근래에는 정전용량의 증가를 위하여 capacitor의 유효 표면적을 넓히는 cylinder 구조와 고진공 CVD 기술에 의한 HSG(Hemi Spherical Grain) 설



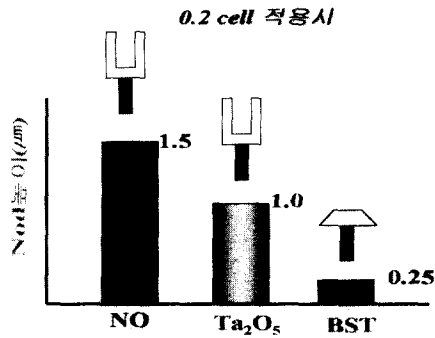
〈그림 1〉 HSG Cylinder cell



〈그림 2〉 Cluster화에 따른 결과

리콘 막을 성막한 후, 그 위에 NO막을 형성시키는 구조를 사용하였다.〈그림 1〉 앞서 언급한 CVD 공정의 개발경향은 capacitor구조에서도 나타나고 있는데 〈그림 2〉에 보는 바와 같이 일련의 연속공정을 cluster화시킴에 따라 단위공정수의 단축과 결합의 단축, 그리고 CoO의 감소를 가져올 수 있었다.

최근에는 이러한 구조로도 안정된 정전용량의 확보가 어려워짐에 따라 새로운 고 유전물질의 CVD 공정이 개발되고 있다. 현재 가장 유력한 것은 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 사용하는 것이며, 차세대 제품을 위해서는 보다 높은 유전율을 가지는 BST, PZT박막 등의 CVD 공정이 연구되고 있다. 이러한 고유전박막의 CVD 공정이 양산화 될 경우, capacitor의 구조가 단순화되고 따라서 수율



〈그림 3〉 유전 물질에 따른 capacitor 구조변화

증대 및 공정수의 감소, CoO 감소 등의 부대 효과를 증가시킬 수 있게 된다. 따라서 최근에는 고유전 박막 제조용 MOCVD 기술의 개발이 매우 중요하게 인식되고 있다. 고유전 물질의 개발효과는 〈그림 3〉에 도식화 하였다.

차세대 capacitor module 개발에는 고유전 절연막 뿐만이 아니라, 이를 위한 전극물질의 개발도 필요하다. 현재 Ru, Pt 등이 연구되고 있으며 이들 역시 MOCVD 방법에 의해 개발이 주도적으로 이루어지고 있다. 또한 수율 향상 및 생산성 증대를 위해 이러한 전극형성용 CVD와 유전박막 CVD 설비와의 cluster화가 진행되고 있기도 하다.

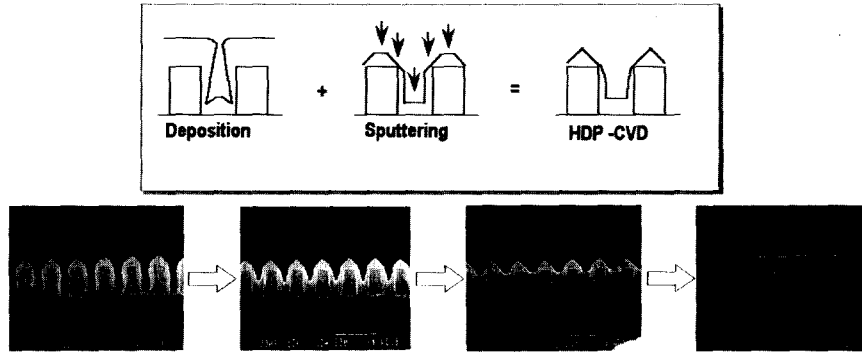
Barrier 및 배선 박막 module의 경우, capacitor module과는 달리 전통적으로 PVD 기술인 스퍼터링방법에 의해 박막의 증착이 이루어져 왔다. 스퍼터링기술은 우수한 특성의 박막을 손쉽게 형성할 수 있는 방법이지만, 소자의 집적도 증가로 인해 미세형상에서 발생하는 증착률 특성의 불량으로, 초고집적 반도체에서는 스퍼터링기술의 소자 적용 가능성은 점차 줄어들고 있다. 아직은 스퍼터링기술의 개선으로 인한 적용연장이 이루어지고는 있으나 점점 그 한계가 드러나고 있다. 특히 metal contact barrier 및 텅스텐 플러그의 경우, contact의 aspect ratio 증가로 인해 CVD 기술의 적용이 필수가 되고 있다. 배선 및 barrier를 위한 CVD 공정의 경우 TiCl<sub>4</sub>, WF<sub>6</sub> 등을 이용한 무기 CVD 공정이 먼저 개발되었으나, 공정온도가 비교적 높아 그

적용 범위가 제한되기 때문에 TDMAT, TDEAT, DMAH 등의 금속유기 precursor를 사용한 MOCVD 기술의 개발도 활발하게 진행되고 있다. 그러나 Al과 Cu와 같은 금속물질을 MOCVD법으로만 침적시킬 경우 표면 거칠기의 증가로 인해 적용이 어려운 상황이며, 이러한 경우 증착률 특성이 우수한 MOCVD법을 사용하여, 100nm 이하의 얇은 seed layer를 형성한 후 cluster로 스퍼터링기술을 고온에서 실시하여 flow를 유도하거나 electroplating을 적용하는 기술이 주류를 이루고 있다. 즉 금속 배선분야에서는 아직 스퍼터링기술과 electroplating과 같은 방법이 주류를 이루고 있으나 우수한 증착률 특성이 필요한 경우에는 CVD 기술이 적극적으로 검토되고 있는 실정이기도 하다.

## 2. HDPCVD

최근 들어 일반적인 열 CVD 기술보다 저온에서 우수한 막질의 박막과 증착률 특성 등의 개선을 위하여, 종래의 열만에 의한 것이 아닌 추가적인 에너지원의 적용이 CVD 기술에 접목이 되어가고 있는 경향이다. 그 중에도 플라즈마의 사용은 급격히 증가하고 있는데, 소자에 전기적 손상을 줄 가능성도 있지만, 플라즈마를 사용할 경우 일반 열 CVD에서는 얻지 못하는 특성들을 얻을 수 있어서 최근 그 개발이 가속화되고 있다. 특히 고밀도 플라즈마를 이용하는 HDPCVD의 경우, 우수한 gap fill 특성을 가질 수 있고, 불순물의 첨가로 저유전 물질의 침적이 가능하기 때문에 그 적용 범위가 확대되고 있다. HDPCVD 공정의 경우 플라즈마 source가 그 핵심기술이라 할 수 있으며, 세계 유수의 반도체 제조 장비업체들은 독자적인 플라즈마 source 및 chamber 구조를 개발하고 지적 재산권을 획득하여 경쟁회사의 복제를 불허하고 있는 상황이다.

일반적인 저온 CVD법으로 산화막과 질화막을 침적할 경우, 완벽한 증착률 특성을 확보할 수 없기 때문에 미세구조의 소자에서는 gap fill에 문제가 발생한다. 반면 HDPCVD를 사용할 경우, 침적과 동시에 식각을 수반하기 때문에 극미세구



<그림 4> HDPCVD gap fill 원리 및 과정

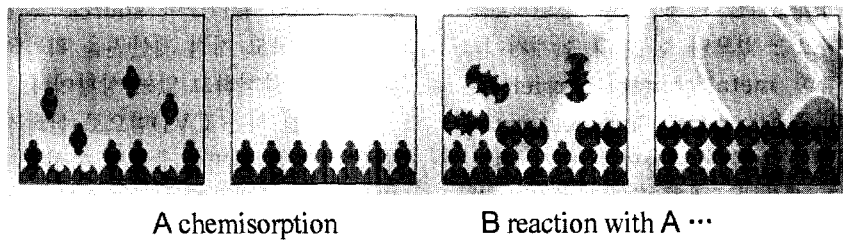
조에서도 용이한 gap fill 특성을 확보할 수 있게 된다. 따라서 STI(Shallow Trench Isolation)용 gap fill 또는 배선간 평탄화에 HDP-CVD에 의한 산화막의 침적이 활발히 적용되고 있으며 그 응용사례는 증가되고 있다. 이러한 gap fill 및 침적박막의 특성 향상을 위해 플라즈마 source의 특성 및 개스 분사방법, chamber 설계, 공정변수 등이 종합적으로 연구되고 있다. <그림 4>에 HDPCVD법에 의한 gap fill 과정을 도식화하여 소개하였다.

3. ALCVD

최근의 초고집적 소자는, 극도로 얇은 박막과 우수한 물성을 갖는 저온침적공정, 그리고 정교한 공정의 제어가 필요하게 되었으며, 이러한 요구에 부응할 수 있는 공정으로 최근 급부상하고 있는 것이 ALCVD 기술이다. ALCVD는 간략히 ALD(Atomic Layer Deposition)라고도 하며, CVD 공정의 한 종류이나 CVD와 같이 반응에 참여하는 precursor를 동시에 반응기로 유

입시키는 것이 아니라 각 precursor와 불활성 개스를 순차적으로 주입시켜서, 기상반응을 억제하고 표면 반응만을 유도하여 보다 우수한 박막이 침적될 수 있게 하는 공정이다. 이러한 공정을 채택함으로써 기상에서 발생하는 particle의 생성을 억제하여 수율 향상에 기여할 수 있고, 개스 주입 cycle에 비례하여 막성장이 일어나므로 막의 두께를 미세하고 정확히 제어할 수 있다. 또한 기판표면에서의 접촉에 의한 반응만을 사용하기 때문에 보다 저온에서도 우수한 물성을 가진 박막성장이 가능하게 되며, 초고집적 소자에서 필수적인 우수한 층당힘 특성을 보여 주기도 한다. <그림 5>에 ALD 공정의 원리를 나타내었다.

이러한 ALD 공정은 대부분의 관점에서 일반 CVD에 비해 우수성을 가지지만, 표면반응만을 이용하기 때문에 증착속도가 떨어지는 단점을 내포한다. 업체에서는 이러한 ALD의 단점을 극복하기 위해 반응기 및 개스 공급 시스템, 제어 시스템 등을 최적화 하여 throughput을 극복하는 한편, 한번에 여러 장의 공정이 가능한 semi-ba-



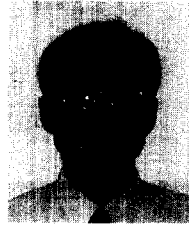
<그림 5> ALD 공정의 원리

tch 혹은 batch 시스템개발을 동시에 추진하고 있다. 또한 ALD 공정의 precursor의 경우, 일반 CVD와는 요구되는 부분이 다르기 때문에 ALD 공정에 적합한 precursor의 개발도 활발히 이루어지고 있다. ALD는 증착속도가 느린 단점이 있기 때문에 100nm 미만의 박막으로의 적용을 목표로 하고 있으며, 우선 barrier layer와 고유전 게이트 절연막을 우선 적용대상으로 한다. 이 외에도 metal seed layer나 저온 공정을 요구하는 산화막, 질화막, silicide, 다성분 박막 등으로 그 적용 범위를 넓혀가고 있다.

#### IV. 결 론

현재 가장 활발히 개발되고 있는 CVD 기술의 동향에 대해 알아보았다. 소자의 고집적화가 빠르게 진행됨에 따라 기존에는 예측할 수 없었던 많은 새로운 기술과 까다로운 공정 조건들이 요구되고 있으며 이를 충족시키기 위해 새로운 개념들이 CVD 기술에 접목되고 있다. 조금은 등한시되어 왔던 MOCVD 기술의 반도체 제조공정으로의 적용 확대와, 대구경 웨이퍼를 겨냥한 매엽식 공정설비의 약진과 더불어 각 설비들의 강화된 자동화 기능이 돋보이는 현재의 추세에서, 많은 기술적인 연구가 진행되고 있는 ALCVD 기술개발의 성숙도에 따라 미래의 초고집적 반도체에서의 CVD 기술의 응용범위가 결정될 것으로 보인다.

#### 저 자 소 개



宋 株 鎬

1963년 2월 25일생, 1985년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 학사, 1994년 8월 미국 루이지애나주립대학교(LSU) 전기 및 컴퓨터공학과 석사, 1996년 8월 미국 루이지애나주립대학교(LSU)

전기 및 컴퓨터공학과 박사, 1984년 12월~1991년 12월 : 삼성전자(株) 반도체부문 연구소 선임연구원, 1996년 7월~1998년 8월 : 미국 Dallas Semiconductor(株) 수석연구원, 1998년 8월~2000년 8월 : 창원대학교 공과대학 전자공학과 조교수, 2000년 8월~현재 : 주성엔지니어링(株) 연구소 전무, <주관심 분야 : 반도체 공정 및 장비 개발>