수치모델을 이용한 ICP-CVD 장치의 증착 균일도 해석

주 정 훈*

군산대학교 공과대학 신소재공학과, 플라즈마 소재 응용 센터

Numerical Modeling of Deposition Uniformity in ICP-CVD System

Junghoon Joo*

Department of Materials Science and Engineering and Plasma Materials Research Center,
Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

(Received December 8, 2008 ; revised December 17, 2008 ; accepted December 30, 2008)

Abstract

Numerical analysis is done to investigate which would be the most influencing process parameter in determining the uniformity of deposition thickness in TiN ICP-CVD(inductively coupled plasma chemical vapor deposition). Two configurations of ICP antenna are modeled; side and top planar. Side and top gas inlets are considered with each ICP antenna geometries. Precursor for TiN deposition was TDMAT(Tetrakis Diethyl Methyl Amido Titanium). Two step volume dissociation of TDMAT is used and absorption, desorption and deposition surface reactions are included. Most influencing factors are H and N concentration dissociated by electron impact collisions in plasma volume which depends on the relative positions of gas inlet and ICP antenna generated hot plasma region. Low surface recombination of N shows hollow type concentration, but H gives a bell type distribution. Film thickness at substrate edges is sensitive to gas flow rate and at high pressures getting more dependent on flow characteristics.

Keywords: Plasma, Chemical vapor deposition, Fluid simulation

1. 서 론

고밀도 유도 결합 플라즈마는 1 mTorr의 낮은 가스 압력에서도 높은 전자 밀도를 생성할 수 있으며 상대적으로 다른 고밀도 플라즈마원보다 대면적화가 용이해서 여러 분야에 사용되고 있다. 크게 안테나가 챔버의 외부에 있는 외장형과 내부에 있는 내장형으로 나뉘며 내장형은 작은 크기의 여러개 안테나를 이용하여 인덕턴스를 줄이면 대면적화가 용이한 것으로 알려져 있다^{1,2)}. 용량성 결합 플라즈마가 대개 10^9 #/cm³ 정도의 낮은 플라즈마 밀도를 얻는 것이 보통이고 이에 의한 반응성 가스의 분해율이 낮아서 증착 반응의 구동력을 기관의 열에너지에 의존할 수 밖에 없는 단점을 고밀도 플라즈마 화학 증착법을 사용하면 낮은 기관 온도를 이용하

여 폴리머 등의 기관에도 증착을 할 수 있다. Lee 등³⁾은 기관 가열 없이 내장 안테나형 유도 결합 플라즈마를 이용하여 TiCl₄로 TiN을 증착한 결과를 보고하고 있다. 또한 이 결과에서 전구체의 도입 위치와 반응성 가스의 도입 위치를 다르게 한 것의 유효성을 보여 주고 있다. 플라즈마에 의한 화학 증착 반응의 가속화는 두 가지 측면에서 살펴 볼 수 있다. 하나는 전구체 물질의 보다 효율적인 분해이고 다른 하나는 반응 가스인 수소, 산소 등의 높은 원자 해리도와 이들에 의한 표면 반응의 가속화이다. 비활성 가스에 대한 플라즈마 모델은 많이 제시되어 있지만 복잡한 공간 화학 반응과 측정이 힘든 표면 화학 반응을 다수 포함하고 있는 화학 증착이나 건식 식각에 대해서는 모델링에 필요한 반응 상수를 확보하기 어렵다. Son 등은 TDMAT, Ar, H₂, N₂의 혼합물에 대한 모델에서 TDMAT은 열분해만을 가정하여 계산하였다⁴⁾. 실제로 유기 금속 화

*Corresponding author. E-mail : jhjoo@kunsan.ac.kr

합물들은 열분해 온도가 낮으므로 고밀도 유도 결합 플라즈마에 의해서 용기 표면의 온도가 150°C 까지 쉽게 올라가는 것을 감안하면⁵⁾ 증착 반응에 대한 고려에서 1차적으로는 반응성 가스들의 전자 충돌 해리, 이온화 거동과 전구체 해리물의 유동에 의한 물질 이동을 다루는 것으로도 증착층의 두께 균일도의 변화에 미치는 공정 변수들의 영향을 어느 정도 예측 할 수 있다. 이 경우의 반응에 대한 혼합 가스의 조성이 미치는 영향을 가늠하기 위해서 반응성 가스들만의 혼합 기체에 대한 유도 결합 플라즈마 모델링을 통해서 해리된 반응성 가스의 분포를 알아 보았으며 투입 전력에 의한 해리율의 변화 및 상대적인 분포 추이를 살펴 보았다. 특히 유도 결합 안테나와 가스 도입구의 상대적 위치에 따른 변화는 실제 산업용 장비의 설계에 있어서 아주 중요한 의미를 갖는다. 질량 분석기를 이용한 TDMAT의 pulsed dc plasma에 대한 반응기구 해석을 시도한 Driessen 등에 의하면 전구체인 TDMAT의 과도한 기상 분해와 질소 분압은 기상 핵생성을 야기하여 박막 증착에 불리한 분말의 형성과 박막 내 혼입을 야기할 수 있다고 한다⁶⁾. 그들이 제안한 반응성 가스의 조성비는 TDMAT : 수소 : 질소 = 0.4 : 280 : 6 sccm이며 총압력은 0.4 Torr이다. 이들이 사용한 플라즈마는 pulsed dc plasma로써 펄스 주파수는 33 kHz이다. 펄스 플라즈마의 경우 단순한 주파수보다 rising time과 falling time이 전자 온도에 미치는 영향이 커서 더 중요한데 이들의 논문에는 나타나 있지 않다. 알곤의 첨가에 대해서 Driessen 등은 분말의 형성을 촉진시켜서 부정적인 영향을 미친다고 서술하고 있으나 $TiCl_4$ 를 유도 결합 플라즈마에 이용한 Lee의 연구 결과에서는 Ar이 전자 밀도를 증가 시키고 성장 중인 박막의 치밀화에 기여한다고 보고하고 있다. 실제 rf 전력을 증가시킴에 따라서 증착 속도가 2.0 $\mu m/hr$ 에서 1.5 $\mu m/hr$ 로 감소하였다. 이는 pulsed dc plasma가 유도 결합 플라즈마에 비하여 플라즈마 밀도가 낮아서 발생하는 문제점으로 생각된다. 또한 Driessen 등의 실험은 비교적 높은 압력인 0.4-2 Torr에서 이루어졌고 Lee 등의 실험은 이보다 낮은 0.2 Torr 이하에서 이루어 졌다. 온도의 영향을 살펴보면 Lee 등의 결과에서 400°C, 400 W에서 증착 했을 때가 상온에서 증착 했을 때보다 수 십 % 정도 낮은 증착 속도를 보였다. 이는 기판 표면에서 흡착과 탈착 반응이 이 온도 범위에서 큰 영향을 받고 있다는 증거이며 일반적인 열화학 증착법에서와 반대되는 경향이다.

전자 에너지 분포가 반응에 미치는 영향은 세 가

지로 나타난다. 첫째 화학 반응 속도 상수의 변화, 둘째 전자 확산 속도, 셋째 전자의 이동도이다. 이는 Boltzmann 방정식을 이용하여 모델링을 하여야 하며 그러기 위해서는 전자가 관여하는 모든 공간 반응에 대해서 전자 - 충돌 반응 단면적이 넓은 전자 에너지 범위에 대해서 정확히 구해져야 한다. 알곤, 질소, 수소 등의 가스에 대해서는 일부 데이터가 알려져 있으나 TDMAT이나 유도체의 경우 전자 충돌 단면적 뿐 아니라 일반적인 반응 상수도 제대로 알려져 있지 않은 실정이다. 따라서 증착 장비에 대한 모델링은 이 부분을 어떻게 실제와 근접하게 예측할 수 있느냐에 달려 있다. 본 연구에서는 현재 문헌상에서 구할 수 있는 최대한의 반응 데이터를 이용하여 주로 두께 균일도에 대한 장비 스케일의 모델링 결과에 주력하였다.

2. 실험 방법 및 수치 모델의 구성

본 연구는 2차원 축대칭 유도 결합 반응기에 대해서 이루어 졌으며 안테나가 챔버의 측면에 있는 경우와 상단부에 평평하게 위치한 경우에 대해서 계산 하였다. 가스 도입의 경우에는 유체 계산 영역 밖에서 인입구가 설정되어야 하므로 플라즈마를 발생시키는 유도 전기장이 존재하는 영역에서는 플라즈마 소멸 조건이 특별히 주어지지 않고 주 챔버의 플라즈마 밀도보다 3 order 이상 낮은 밀도를 가지면 소멸되었다고 간주할 수 있다. 문제는 유도 결합 플라즈마의 전력 흡수 모델이 $\frac{1}{2}Re(\sigma)\omega^2|\tilde{A}|^2$ 로 주어지고 복소 전기전도도 σ 는 다시 $\epsilon_0\omega_p/v_m+i\omega$ 로 주어져서 전자 밀도와 전자 - 중성 충돌 주파수, rf 주파수의 복합적인 함수가 되어서 준중성 조건을 이용하여 근사해를 구하는 경우에는 실제와 같은 방전 소멸 영역의 구현이 어렵고 따라서 유도 전기장이 강한 곳을 지나가는 외부 가스 라인의 모사는 수치적으로 의미 있는 해를 구하기 어렵다. 따라서 수평 안테나를 사용한 모델에 있어서는 가장 유도 전기장이 강한 부분을 제외한 중심부와 주변부 2 곳으로 나누어서 가스를 도입하면서 균일도의 변화를 관찰하였고 주 관심사는 플라즈마 전력 흡수 밀도가 높은 영역을 지나가는 가스 유동에서 어떤 종의 이온화, 해리율이 높게 형성되고 이것이 박막이 성장하는 기판 주변에 입사 유속의 변화를 가져오는 지에 대해서 고찰하였다.

표면 반응에는 두 가지 표시 형식이 있다. 하나는 OPEN site formalism이고 다른 하나는 atomic site formalism이다⁷⁾. 또 반응 상수를 결정하는 방식에 있어서 law of mass action을 가정하면 반응물

의 농도 지수를 반응식에서 농도 배수로 대치하게 된다. 이 값들은 모두 기관에서의 증착 속도를 직접 크게 좌우하는 중요한 값들이다. 즉, $A + 2B \rightarrow C + D$ 에서 반응 속도 상수를 구할 때 $[A][B]^2$ 의 형태로 넣을 것인지 $[A][B]$ 의 형태로 넣을 것인지 하는 문제이다. Son 등의 보고에서 TiN의 증착 반응을 다음 두 가지로 제시하고 있다.

각각의 식이 변갈아 가면서 N과 H의 2배수 농도로 반응물이 표현되어 있으므로 두 반응의 TiN 증착 속도 차이는 농도 지수의 1차, 2차에 상관없이 나타나게 된다. 그러나 절대값은 $[\text{N}]$, $[\text{H}]$ 의 농도에 해당하는 값 만큼 작게 나타나게 되는데 이에 의한 결과는 실험값과 무려 order가 6개 이상 차이 나는 작은 값을 갖는다. 본 연구에서는 농도의 1배수로 적용한 상태에서 플라스마 원의 구성과 가스 주입구의 상대적 위치에 따른 해리종들의 공간 농도의 차이에 의한 기관의 박막 증착 속도 균일도의 변화를 집중적으로 살펴 보았다. 유도 결합 플라스마 발생용 안테나는 3회전을 사용하였으며 각각에 균일한 전류가 흐르는 것으로 가정하였고, 준중성 조건을 사용하여 근사하였으므로 유전체에 유기되는 자기 바이어스의 효과는 생략되었다. 기관 상의 증착 반응에 흡착과 탈착을 고려하고 있는데 탈착 반응은 고밀도 플라스마에서 유입되는 높은 이온 밀도의 종들(주로 Ar^+)의 물리적 스퍼터링 효과를 이온 스퍼터링 수율을 모델링하여 고려할 수 있도록 되어 있으나 이번 연구에서는 제외하였다. 이 부분은 플라스마의 발생원을 준중성 조건 근사법이 아닌 포아슨 방정식을 모두 푸는 CCP(capacitively coupled plasma) 모델을 사용 하여야 제대로 처리되기 때문에 차후의 연구 주제로 미루었다. 준중성 근사법은 정상 상태의 해를 구하는 것이나 CCP 모델은 시변 모델이므로 훨씬 더 많은 시간이 소요된다.

공간 반응에는 알곤, 수소, 질소의 전자 충돌 이온화, 해리, 여기 반응을 모두 고려하였다⁸⁾. Son 등은 Ar_2^+ 등의 반응을 고려하고 있는데 본 연구에서 다루는 압력 영역이 100 mTorr 이하이므로 제외하였다. 표면 재결합 반응에는 각 이온의 중성화는 100% 진행되는 것으로 하였으나 질소 원자의 재결합은 0.005의 확률로 고려하였다. 이 부분은 챔버 내부의 재질과 증착 반응이 진행된 정도에 따라 많은 차이를 가져올 수 있는 부분 이어서 추후에 다시 논의 하기로 한다.

3. 모델링 결과 및 고찰

3.1 유도 결합 플라스마의 기본 특성 해석 - Ar, H_2 , N_2

알곤은 이온화 단면적이 크고 준안정 상태가 존재하여 이온화, 해리 에너지가 낮은 입자들의 Penning 과정을 가질 수 있으므로 플라스마의 발생을 용이하게 해주는 장점이 있다. 또한 질량이 40 amu로 크므로 성장 중인 박막의 표면에 적당한 이온 충돌 효과를 주어서 반응 후의 부산물 탈착을 용이하게 해주는 역할도 한다⁹⁾. 유도 결합 플라스마의 단점은 플라스마 온도가 코일에 의한 유도 전기장의 제공에 비례하고 표피 효과에 의해서 전력 흡수 깊이가 얇아서 플라스마 균일도를 넓은 면적에 대해서 얻는데 한계가 있다는 점이다. PECVD의 경우 전자 충돌 해리를 많이 유도해야 하는 종과 그렇지 않은 종이 있다. 예를 들어 TDMAT의 경우 Ti-N (123 kcal/mol) 사이의 결합을 끊지 않고 C-N (178 kcal/mol) 결합을 끊게 되면 성장 중인 박막에 많은 양의 C-H 화합물이 불순물로 혼입되어 전기 저항 등에 악영향을 미치게 된다. 따라서 적절한 전자 온도 및 가스 온도의 조절이 필요하다. 그림 1에 온도에 따른 TDMAT의 열분해 반응 속도를 나타내었다. 이는 Son 등의 논문에서 사용된 값을 그린 것이다. TDMAT은 중심에 Ti 원자를 하나 갖고 네 개의 질소 원자를 팔로 가지며 각각의 질소 원자에 methyl기 (CH_3)를 두 개씩 갖고 있는 구조다. 대략 100°C 를 넘어 가면 분해율이 증가함을 알 수 있다. 이들과 반응할 알곤, 수소, 질소에 대한 전자 충돌 반응에 대한 반응 속도를 일부 그림 2에 나타내었다. 질소의 분해는 상당히 높은 에너지를 필요로 하는 과정이고 분자 밴드에 의한 에너지 흡수가 많아서 해리율이 높지 않다. 다만 표

Fig. 1. Thermal dissociation rates curve of TDMAT and its partially cracked molecule over temperature.

Fig. 2. Electron impact reaction rates of Ar and N₂ at electron temperature between 1 and 20 eV.

면에서의 재결합 상수가 낮은 점이 공정에 유리하다.

Figure 3에 TDMAT 없이 알곤, 수소, 질소 만 혼합한 상태에서 전자 온도와 밀도를 계산한 결과를 보였는데 코일 앞의 전자 온도가 5.5 eV로 높고 기관 주변에는 거의 제로에 가깝다. 이 때 해리된 원자상 수소와 질소의 밀도를 그림 4에 다시 그려 보면 벽면 재결합이 높은 수소 원자는 전자 밀도와 유사한 분포를 갖는 반면 표면 재결합 상수가 0.005 인 질소 원자는 벽면 쪽이 더 높은 밀도를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 최종적으로 TiN의 증착 반응에 기여하는 H, N의 농도의 곱이 기관의 반지름

Fig. 5. Calculated radial profiles of relative concentration of H, N and deposition thickness.

방향으로 얼마나 균일한 장비의 구성을 고안해 내는 것이 모델링의 관건이다.

3.2 증착 균일도에 미치는 공정 변수의 영향 - 가스 압력, 플라즈마 투입 전력

그림 5에 TiN 증착에 가장 큰 영향을 미치는 H, N의 농도와 TiN 증착 속도를 비교하였는데 1.8% 수준의 좋은 두께 균일도를 보이고 있는데 28 mTorr의 전체 가스 압력과 2.8 kW의 높은 투입 전력에서의 결과이다. 즉, 가스 압력은 분자상 반응 가스의 해리에 유리한 높은 전자 온도를 얻을 수 있는 낮은 범위가 유리하고 높은 증착 속도를 얻기 위해서는 열분해에 의해서 충분한 양이 공급되는 TDMAT

Fig. 3. Calculated electron temperature and density for Ar+H₂+N₂ mixture.

Fig. 4. Calculated number densities of dissociated atomic hydrogen and nitrogen in Ar+H₂+N₂ mixture.

Fig. 6. Calculated 2D profiles of electron temperature, density, H and N with top gas inlet configuration.

Fig. 7. Calculated 2D profiles of electron temperature, density, H and N at high gas pressure of 1 Torr.

유도체들과 반응을 위해서 높은 투입 전력으로 많은 양의 H, N을 공급하는 것이 높은 증착 속도와 함께 균일한 두께를 얻을 수 있는 방향이라는 결론이다. 공정 가스의 압력을 높이면 이온, 해리 원자들의 확산 속도가 느려지게 되는 대신 많은 양의 중성 입자를 공급하여 증착 속도의 절대값을 올리는 효과가 있다. 반응기의 부피와 배기 속도에 의해서 결정되는 기체의 체류 시간이 일정할 때 투입 전력을 증가시키면 해리종의 밀도가 증가한다. 따라서 일정한 가스 유량 조건에서 압력을 높이는 경우 동시에 체류 시간도 늘어나므로 동일한 투입 전력에 대한 실험 결과를 비교하는 것은 주의를 요한

다. 그림 7에는 압력을 1 Torr까지 증가시킨 경우의 계산 결과를 보여 주고 있다. 압력 증가에 의해서 최고 전자 온도가 1.0 eV에서 0.89 eV로 낮아진 것을 알 수 있다. H, N의 밀도 분포는 300 mTorr에 비하여 더 불균일해 졌으나 기관에 입사하는 유속은 TDMAT의 유도체 유속에 대응할 수 있는 값 이상이면 되므로 균일도는 개선되고 있다. 동일한 가스 압력(1 Torr)에서 전자 온도를 증가 시키기 위하여 투입 전력을 증가시키면 그림 8에서처럼 높은 밀도의 H, N 농도 분포를 얻을 수 있다. 최고 전자 온도는 0.91 eV로 많이 증가하지는 않는다. 이는 전자 - 중성의 충돌 주파수가 증가하기 때문이다.

Fig. 8. Calculated 2D profile of electron temperature, density, H and N at high rf power density, 2.4 kW and high gas pressure, 1 Torr.

TiN ICPCVD 400W 1Torr two inlets TDMAT,Ar,H₂,H₂,Blanc law

Fig. 9. Calculated 2D profile of electron temperature, density, H and N with two top gas inlets at rf input, 400 W and gas pressure, 1 Torr.

3.3 증착 균일도에 미치는 기하 구조의 영향 - 안테나 위치, 가스 주입 방법

실린더 형상의 반응기의 외곽에 3회전 안테나를 이용한 결과에서 고주파 전력의 침투 깊이가 제한되는 점이 증착 균일도에 제한 요소가 되는 점을 개선하기 위하여 그림 9와 같이 평판형 안테나의 구조와 함께 가스 도입구를 상부 1개소에서 2개소

로 다변화 시켜서 동일한 조건의 계산을 수행하였다. 그림의 중앙부를 기준으로 좌, 우를 각각 전자 온도, 전자 밀도로 표시하였다. 축대칭 모델이므로 가스 도입은 중앙부의 원형과 주변부의 도넛형이 된다. 도입 가스의 조성은 동일하게 유지하였다. 두 곳의 가스 도입구를 제안하게 된 것은 가운데의 도입구만 이용한 경우 기관 상에 가운데에서 주변으

로의 횡방향 유동이 생기는데 이 현상이 증착 두께 불균일도를 증가시키는 요인이 되기 때문이다. 계산 결과를 보면 그림 7에 비해서 1 Torr의 높은 압력에서도 균일한 H, N의 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 최대 밀도는 감소한다.

Lee 등의 보고에 의하면¹⁰⁾ 전구체와 반응성 가스의 분리 도입이 내장형 안테나 방식의 ICP-CVD에서 낮은 전기 저항과 잔류 불순물을 갖는 TiN 박막이 얻어진다고 한다. 이 전략의 원리는 높은 전자 온도와 밀도의 영역을 전구체가 불필요하게 통과하면서 플라스마의 에너지를 소모하는 확률을 줄

이고 반응성 가스인 H, N의 해리도를 최대화 할 수 있다는 점에 있을 것이다. Lee 등의 실험은 $TiCl_4$ 를 전구체로 사용한 것이어서 TDMAT을 사용하는 경우와 정확히 비교할 수는 없고 외장형 안테나를 사용하는 본 연구의 결과와는 일부 맞지 않는 부분이 있다. 그림 10에 가스 도입구를 챔버의 내부에 상, 하부 링 형태로 설치하고 상부에는 H_2+N_2 를, 하부에는 TDMAT+Ar을 도입하도록 하고 계산한 결과를 나타내었다. 목적은 TDMAT의 불필요한 해리를 줄이고 (C-N 결합 해리) 그 반응에 소모될 전자의 에너지를 H와 N의 생성에 사용하도록 하자는

TiN ICPCVD two ring inlet TDMAT+Ar, $H_2+N_2=8:2$ 400W 10 mTorr

Fig. 10. Calculated 2D profile of electron temperature, density, H and N with two internal gas inlets at rf input, 400 W and gas pressure, 10 mTorr.

TiN ICPCVD two ring inlet TDMAT+Ar, $H_2+N_2=8:2$ 400W 10 mTorr

Fig. 11. Calculated 2D profile of TDMAT, Ar, H_2 and N_2 with two internal gas inlets at rf input, 400 W and gas pressure, 10 mTorr.

것이다. 계산 결과를 보면 H의 밀도가 가스 도입링과 안테나 사이에 높게 형성되고 있고 N도 역시 안테나 앞 쪽의 밀도가 높은 것이 이전의 구조의 계산 결과와 차이점이다. 그 원인에는 중성 분자 가스의 도입구 위치 변화에 따른 분포 차이가 일부 작용하고 있는 것으로 판단된다. 그림 11에 나타낸 바와 같이 TDMAT, Ar, H₂, N₂의 분포를 보면 그 차이를 알 수 있다. 하부 가스 주입링을 통해서 주입되는 TDMAT과 Ar은 상부까지 퍼지지 않은 반면 가벼워서 확산 계수가 큰 수소는 상부 주입구에서 도입되지만 하부 주입링 주위를 제외한 챔버 전체에 퍼져 있는 것을 볼 수 있다. Drissen 등은 과도한 N은 공간상에서 입자 발생을 촉진한다고 주장하고 있다. 본 모델링에서는 고려하지 않은 NH₃와 TDMAT의 유도체 간의 반응은 보다 심화된 모델에서 추구해 볼만한 과제며 열분해 방법의 CVD에서 유도된 반응 상수를 열전달을 고려한 플라즈마 반응기 모델링에 바로 적용할 수 있는지에 대한 고찰이 필요하다. H의 역할에 대해서도 Driessen 등이 주장하는 반응은 TDMAT을 분해하는데 중요한 역할을 하고 있다는 것이다. 즉, 아래의 반응에서 methyl기를 분해하는데 원자상 수소의 역할이 중요하며 질량 분석기의 데이터에서 나타나는 피크들의 분석을 통해서도 그럴 개연성을 충분히 확인할 수 있다는 것이다.

실제 그들의 질량 분석 스펙트럼을 보면 15-18 amu의 피크들을 많이 볼 수 있는데 이것을 CH₂⁺, CH₃⁺, CH₄⁺, NH⁺, NH₂⁺, NH₃⁺, NH₄⁺의 존재로 해석하고 있다. 즉, 플라즈마 화학 측면에서는 적은 양의 질소와 많은 양의 원자상 수소가 유리하다는 결론을 도출할 수 있다.

4. 결 론

TDMAT을 전구체로 하는 유도 결합 플라즈마 화학 기상 증착 시스템의 증착 특성을 챔버 기하구조, 유도 결합 플라즈마 안테나 위치, 투입 전력, 반응

성 가스의 위치, 가스 압력에 대해서 2차원 축대칭 수치 모델을 만들어 조사하였다. 증착 두께 균일도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 플라즈마 내에서 해리된 H, N의 농도 분포였으며 이는 높은 전자 온도를 갖는 영역과 기판의 상대적 위치와 가스 주입구와 배출구로 결정되는 유동장의 해리종 전달 균일도에 의존하였다. 챔버의 벽면에서 재결합 확률이 작은 N은 벽면 근처가 중심부보다 높은 농도를 갖으며 H는 플라즈마 밀도가 높은 영역이 가장 높은 농도를 보였다. 증착막의 두께 균일도는 특정 압력(28 mTorr)과 높은 투입 전력에서 1.8%의 불균일도를 나타내었다. 전구체와 반응성 가스의 분리 주입을 통하여 전구체의 불필요한 해리에서 유도되는 불순물 혼입을 줄일 수 있음을 보였다.

후 기

본 논문은 산업자원부가 지원하는 국가 반도체 연구개발사업인 “시스템 집적반도체기반기술개발사업(시스템IC2010)”을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

참고문헌

1. Y. J. Lee, K. N. Kim, B. K. Song, G. Y. Yeom, Thin Solid Films, 435 (2003) 275.
2. Y. Setsuhara *et al.*, Surf. Coat. Technol., 174-175 (2003) 33.
3. D. K. Lee, J. J. Lee, J. H. Joo, Surf. Coat. Technol., 173-174 (2003) 1234.
4. S. J. Son, K. W. Yi, J. H. Joo, J. Mahrholz, K.-T. Rie, J. Crystal. Growth, 310 (2008) 1697.
5. 양원균, 주정훈, 한국표면공학회지, 40(5) (2007) 209.
6. J. P. A. M. Driessen, A. D. Kuypers, J. Schoonman, Surf. Coat. Technol., 110 (1998) 173.
7. Theory manual, chemkin software, Reaction Design, (2006) p59.
8. CFD-ACE+ library, V2008. 2. 15.
9. Christoph Steinbruchel, Appl. Phys. Lett., 55 (1989) 1960.
10. D. K. Lee, J. J. Lee, J. H. Joo, Surf. Coat. Technol., 171 (2003) 24.