

RF pulsing에 Ionized Magnetron Sputtering의 이온화율 향상에 미치는 효과

주 정 훈

군산대학교 공과대학 재료공학과
(1998년 6월 5일 접수)

Effects of RF Pulsing on the Ionization Enhancement in Ionized Magnetron Sputtering

Jung-hoon Joo

Department of Materials Science & Engineering, Kunsan National University, Mt.68
Miryong-dong, Kunsan, 573-701 Korea
(Received June 5, 1998)

요 약 - Ionized magnetron sputtering 은 high density plasma를 사용하여 스퍼터된 입자의 이온화율을 기판에서의 플럭스 기준으로 80%이상까지 증대시킬 수 있는 방법으로 반도체 소자의 아주 작은 홀이나 via contact등을 채울 수 있는 아주 유용한 수단이나 가스의 압력이 30 mTorr 이상으로 상당히 높아야만 이온화율이 높게 유지되어 스퍼터 증착 속도가 느려지고 중성입자의 각도 분포가 넓어지는 단점이 있다. 그 원인이 스퍼터된 입자들에 의한 전자 온도의 급격한 감소와 타겟 주변에서의 가스 희귀화 현상에 있다고 보고 이를 보완하고자 스퍼터 전력을 펄스화 하는 방법을 고안하여 실험하였다. 그 결과 펄스의 on/off time이 10 ms/10 ms, 100 ms/100 ms에서 가장 높은 이온화율을 가시광 분광 결과에서 보였으며 실제로 Ag의 XRD결과 (111)에서 (200)으로 우선 방위의 현격한 변화가 관찰되었다. 이를 고전력 스퍼터링에 의한 중성 가스 가열과 냉각의 측면에서 해석하였다.

Abstract - The ionized magnetron sputtering is very useful in filling of small metal contact or via in ULSI processing with very high ionization upto 80% based on incoming flux ratio. But fairly high sputtering gas pressure is required to get high ionization, which instead gives low deposition rate and diverse incoming neutral's angular distribution. The electron quenching by heavily sputtered metals and gas rarefaction were considered the main causes of decreased ionization in this process. RF pulsing of sputtering power was proposed to solve those two problems. The results showed that 10 ms/10 ms and 100 ms/100 ms of on/off pulsings were optimal pulse conditions from OES measurements and also XRD of deposited Ag film showed distinct change of (111) to (200) preferred orientation. These results were analysed in a view point of neutral gas heating and cooling by high power sputtering.

1. 서 론

ULSI급 반도체의 metallization에는 aspect ratio 3이상
의 깊은 via 나 contact을 채울수 있는 공정이 필요하다.
벌집 형태의 기하 구조를 갖는 collimator를 사용한
CMSD(Collimated Magnetron Sputter Deposition)로는 이
조건을 만족시키기 어려우며 장시간 사용에의해 곧

collimator가 막히고 입자가 발생하는 단점을 갖고 있다.
또, 10⁻⁴Torr의 아주 낮은 가스 압력을 사용하여 가스
충돌에 의한 증착 원자의 입사 각도 분포의 확대를 최소화
하려는 LTS(Long Throw Sputter)의 경우도 0.1 μm
이하의 선폭에 깊이가 1 μm인 deep contact 이나 via의
경우를 만족스럽게 채우기는 어려운 것으로 보고되고
있다[1-2]. 이는 중성 입자들의 경우 직진 방향성을 줄

수 없기 때문인데, CMSD의 경우처럼 물리적으로 off-axis의 각도를 갖는 입자들을 제거하는 방법이 유일한 대안이다. LTS는 챔버가 커다란 하나의 collimator인 셈이다. 그러나 전하를 띤 이온의 경우에는 평균 자유행로만 충분히 길다면 작은 전압으로도 직진 가속이 가능하므로 이온화율을 증대시키는 방법이 deep contact이나 trench를 채우는데 효율적이다. ECR을 이용하여 띠모양의 타겟으로 작은 면적의 기판에 증착을 시도한 경우에는 초고주파의 입사각의 증착에 의한 전력 전달의 차단 및 대형화가 문제가 되고, HCD(Hollow Cathode Discharge)에 의한 방법은 균일도가 문제가 된다. 90년대에 들어, 반도체의 식각에 많이 쓰이기 시작한 ICP는 구조가 간단하고 대면적화에 용이하다는 장점이 있어서 그 응용 분야가 CVD까지 확대되고 있다. 그러나 석영창 등과 같은 유전체 물질을 통해서 RF power를 전달하는 장치는 ECR의 경우와 같이 급속의 증착에 의해서 곧 power 전달이 중단되어 사용할 수 없게 되므로 Rossnagel의 경우와 같이 ICP coil을 직접 chamber의 내부에 삽입한 형태를 취해야 한다[2]. 본 연구에서는 이와 같은 원리를 응용하여 magnetron sputtering chamber에 ICP 안테나를 삽입하여 안정된 동작 조건을 찾고 여러가지 플라즈마 특성을 살펴본 후 중성 입자들의 각도까지 조절할 수 있는 방안, 즉 보다 낮은 가스 압력에서 스퍼터링을 해도 이온화율의 저하가 일어나지 않도록 하는 방법을 모색하였다. 그 대상으로 스퍼터링 전력을 펄스로 하여 일정한 시간동안 ICP만 유지되도록 하므로써 높은 전자온도와 타겟에서 방출된 입자가 빠른 시간 내에 운동 에너지를 잃고 열적운동에너지 정도의 수준으로 감속되게 함으로써 전자 충돌 이온화 확률이 커지도록 하는 방법을 시도하였다. 이온화율의 척도로는 가시광 분광 분석을 통해서 Ar^0 , Ar^+ , Ag^+ , and Ag 의 방출선의 세기를 측정하여 얻은 상대적인 이온화율을 사용하였다.

2. 실험방법

Fig. 1에 나타나 있는 지름 380 mm의 스테인레스 챔버가 본 연구에 사용한 진공조이며 여기에 2인치 지름의 마그네트론 타겟을 설치하여 사용하였고 투입 전력은 500W에서 800W를 사용하였다. 이를 전력 밀도로 환산하면 전면적으로 가정하였을때 25.4 W/cm^2 이고 스퍼터 track을 측정하여 계산하면(11 cm^2) 45 W/cm^2 가

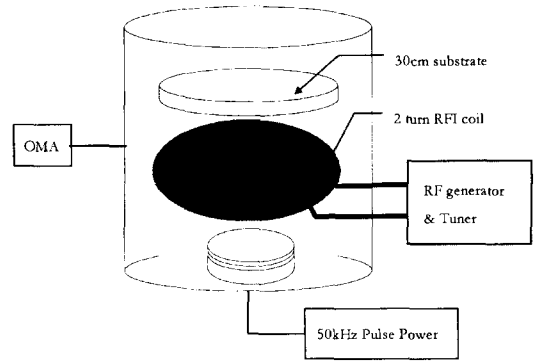


Fig. 1. Experimental setup.

된다. 이는 상당히 높은 투입 전력 밀도에 해당한다. 전원장치는 연속의 경우 직류 또는 50 kHz RF를 사용하였고 펄스의 경우 50 kHz의 기본 RF power를 1 kHz이내로 변조하여 사용하였다. (Advanced Energy사의 PEP-2500) 이 때 사용가능한 펄스 조건은 1 ms~500 ms이다. ICP 발생은 지름 150 mm의 2회 감은 ¼인치 수냉식 구리관 RF 안테나를 사용하였고, 전원은 13.56 MHz의 ENI-ACG10B, 플라즈마의 진단은 Ocean Optics사의 2048 element CCD array detector(SQ-2000)를 사용하여 가시광 영역의 분광 분석을 하였다. 타겟 물질의 선정은 낮은 전력에서도 높은 스퍼터 수율을 보이는 Ag를 선택하여 실험하였다(예, 200eV Ar^+ 의 경우 Ag 1.6, Al 0.35, Ti 0.2)[3].

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력에 따른 이온화율의 변화

Hopwood, Rossnagel등의 여러 연구자들이 가스 압력에 따른 이온화율을 측정하여 보고하였는데 이를 보면 최소 Ar 20 mTorr이상이 되어야 이온화율이 80% 정도에 이른다. 이를 Penning ionization과 electron impact ionization의 두 가지 과정을 가정하여 계산한 Hopwood의 연구 결과에 따르면 플라즈마 밀도가 낮을 때에는 Penning 과정이 우세하지만 플라즈마 밀도가 높아지면 electron impact ionization이 훨씬 우세하게 된다는 결론을 내고 있다[4]. ICP의 일반적인 특성은 가스의 압력이 낮아질수록 전자 온도는 증가하고 전자밀도는 감소한다. 이는 중성 가스의 농도 감소로 유도 전기장에 의해 주로 반경 방향으로 가열된 전자들이 적은 수의 충돌 후에 바로 챔버벽면으로 손실되기 때문이다. Maxwell

equation에서 계산되는 전기장의 방향은 θ 방향이지만, 초기에 열적속도 분포로 인해 r 성분을 조금이라도 가지고 있던 전자는 13.56 MHz의 고주파 전기장에 의해 $+\theta$, $-\theta$ 방향으로 교대로 가속되면서 반경 방향으로 운동하게 된다. 이 점은 Hopwood의 simulation 결과에도 나타나 있다[5]. 스퍼터링에 의해 이온화 에너지가 낮은 금속 입자들이(예 Ag : 7.57 eV)[6] ICP 영역으로 대량 유입되면 이중 상당수가 이온화 되면서 전자 온도도 감소하고 상대적으로 Ar^+ 의 분율도 감소하는데 이는 기관 전류의 감소로 알 수 있다. 기관 전류는 Bohm sheath를 가정할 때, 전자의 온도와 이온 질량의 함수이므로 금속 입자들이 다량 스퍼터되어 플라즈마 공간으로 투입되면 전자 온도의 감소와 함께 기관 전류의 감소를 가져온다. 이때 이온화 되는 금속 입자들의 전류 밀도 기여도는 전체적인 전자 온도의 감소를 보충하지 못하는 것으로 보고되어 있다[7]. 특히 CMSD(Collimated Magnetron Sputter Deposition)의 경우 대개 1 mTorr 내외의 가스 압력을 사용하는데 현재 까지 조사된 바로는 이 압력에서는 이온화율이 10% 미만이다. 그 이유는 위에서 상술한대로 스퍼터된 입자의 운동에너지가 수eV로 높아서 전자 충격이온화의 확률이 작기 때문이다($\lambda = 1/n\sigma$) 또한 Rossnagel 등이 보고한 sputter wind현상도 그 원인의 하나이다[8]. 즉 스퍼터 전력을 증가시키면 Ar^+ 의 밀도가 증가하고 스퍼터 수율이 큰 경우에는 방출되는 입자들의 수가 증가하여 타겟 표면을 충격하고 다시 방출되는 Ar입자들과 함께 타겟 표면 주위의 Ar을 탄성 충돌하게 되면 전체적으로 타겟에서 기관쪽으로의 흐름이 생기게 되고 이는 곧 타겟 주위의 중성 가스 압력의 감소를 가져온다. Rossnagel의 측정에 의하면 Ti target에 Ar을 10 mTorr 주입하고 직상 5.3 cm에서 측정된 경우 실제 가스 밀도는 1/10에 불과하다는 것이다. 특히 이는 스퍼터 수율이 높은 금속의 경우 많이 나타난다고 한다 [9]. 즉 sputter wind에 의한 압력의 감소와 ICP에 의한 가스의 가열이 동시에 작용하여 20 mTorr이상의 높은 스퍼터 가스 압력에서만 높은 이온화율을 얻을 수 있다고 생각할 수 있으며 가스 가열에 의한 유효 압력 감소 효과를 제어할 수 있다면 증착 속도의 증가와 중성 입자의 각도 분포 감소를 기대할 수 있는 1 mTorr 수준에서도 높은 이온화율을 얻을 수 있을 것이며 추후에 계속 연구해야 할 과제이다. 본 연구에서 Ar을 20sccm 흘리면서 ICP, magnetron sputter를 모두 500W, 500W로 연속 작동시켰을 때, MKS-127A Baratron gauge(1/2" tube

connected, temperature controlled at 45°C)로 측정한 압력은 방전 전에는 30 mTorr, 방전을 시작한 후 약 20분의 증착시간까지는 안정적으로 29-28.5 mTorr를 유지하였다. Thermal transpiration을 사용하여 chamber내의 가스 온도를 역계산하여 보면[9], $T_2 = T_1 * (P_2/P_1)^2$ 에서 $(45+273) * (30.0/28.5)^2 = 79.3^\circ C$ 가 된다. 지름 380 mm의 chamber에서 벽면으로 빠져나온 중성 입자들에 의한 계산이므로 스퍼터링 타겟 주위의 중성 입자들의 온도는 이 계산값보다 훨씬 높을 것으로 생각된다.

3.2 ICP power에 따른 이온화율의 변화

전장에서 상술한 바와 같이 스퍼터된 입자들이 효율적으로 이온화 하려면 그 입자들의 속도를 열운동 수준으로 낮추어야 한다. 그러나 ICP power의 증가는 일정한 값 이상에서는 이온화율 증대 효과가 포화되는데 이는 바로 고밀도 플라즈마에 의한 중성 입자의 가열로 시스템 압력에서 계산되는 $1/4 \cdot n \cdot v$ 의 random flux에서 v 의 증가로 많은 양이 벽으로의 확산 손실을 가져오므로 이 또한 전자 충돌 이온화의 확률을 감소시킨다. 또 하나의 가능성은 고밀도 플라즈마가 형성되면서 높은 밀도의 이온들이 발생되고 이들은 곧 Bohm의 presheath condition에 의한 이온 전류 밀도 $j_i = 0.6 \cdot n_e \cdot (kT_e/m_i)^{0.5}$ 만큼 플라즈마를 둘러싸고 있는 벽 및 평면으로 빠져나간다. 가시광 분광 분석으로 측정한 결과 Ar 이온화율의 ICP power에 따른 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

3.3 Sputtering power의 펄스 동작과 최적 τ_{off} 의 결정

위에서 상술한대로 높은 스퍼터링 전력에 의한 가스 가열 및 이에 따른 유효 가스 압력의 감소가 이온화율의 저하를 가져오고 또한 ICP에 의한 플라즈마의 전자 온도가 낮아지므로 스퍼터링 전력을 펄스 동작 시켜서 ICP가 원래의 상태, 즉 높은 전자온도와 밀도를 회복할 수 있도록 일정한 시간 만큼 스퍼터링 전력을 꺼주는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서 사용한 펄스전원의 주기는 최대 0.5 kHz(1 ms/1 ms=on/off)이므로 $10^{11} \#/\text{cm}^3$ 의 밀도를 갖는 전자들의 움직임을 최적으로 직접 제어하기에는 긴 시간 간격이다. 즉 여기서 최적화할 대상은 스퍼터에 의한 전자온도의 감소가 회복되는데 필요한 최소의 펄스 off 시간이다. 이 값을 순시적인 계측에 의존하여 결정하려면 고속의 계측 시스템이 필요하므로 본 연구에는 가시광 분광계를 이용하고, 또한 직접 Ag

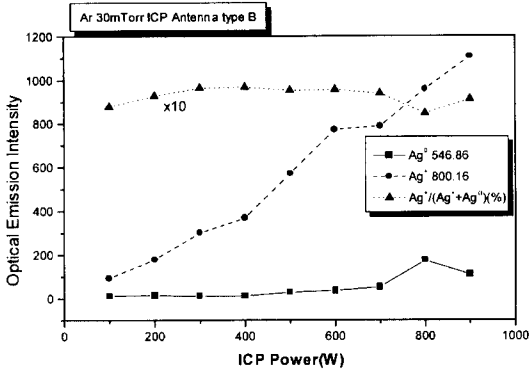


Fig. 2. Ionization increases measured by OES relative intensity ratio as RF ICP power increase.

film을 증착하여 그 특성이 펄스 조건에 따라서 어떻게 변화하는지를 관찰하였다. 분광계의 수광 소자가 CCD (2048 elements, Sony)이므로 펄스 on 시간이 1 ms인 경우 100 ms의 적분 시간을 사용하여 여러 펄스를 합하여 평균된 값을 얻었다. 물론 가시광 방출 분광선의 강도는 전자밀도와 온도, 발광 입자의 밀도에 의존하므로 분광선의 강도만 가지고 플라즈마내의 공간 농도를 직접적으로 논할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 가장 근접한 중성 입자와 이온의 분광선 강도를 구하여 그 비를 구하여 봄으로써 이온화율의 변화를 추적하고자 하였다. 증착된 박막의 성질중 이온의 분율에 아주 민감한 성질이 성장된 박막의 결정학적 우선 방위인데 이는 X-ray 회절 분석으로 구할 수 있다. Ag는 상온에서 FCC 결정 구조를 갖는 물질이므로 (111)면이 가장 조밀한 면이며 주로 증착 속도가 낮을때 이 면이 우선방위가 된다. 반면 (200)면은 원자들의 면밀도가 (111)면보다 낮아서 기관에 입사되는 입자들의 에너지가 높아서 결함을 형성하거나 증착속도가 높을 때 주로 이 방향의 결정립들이 많이 형성된다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 펄스 조건에 따라서 Ag film의 우선 방위의 경향을 살펴보면 10 ms/10 ms, 100 ms/100 ms의 경우가 가장 높은 (200)/(111) 비를 보이고 있다. 특히 100 ms의 경우 10 ms의 off time에서 한번 피크를 보이고 다시 100 ms/100 ms에서 피크를 보이고 있다. 이 때 측정된 가시광 분광 분석 결과를 Fig. 4에 나타내고 있는데 이 경우 on-time 10 ms에서 Ar, Ar⁺의 발광 강도를 이용해서 구한 이온화율 지수를 보면 off-time이 1 ms에서 30 ms로 증가할 수록 25% 가량 감소하고 있다. 그러나 Fig. 5의 경우 스퍼터된 Ag는 펄스 off-time이 10 ms~30 ms에서 이

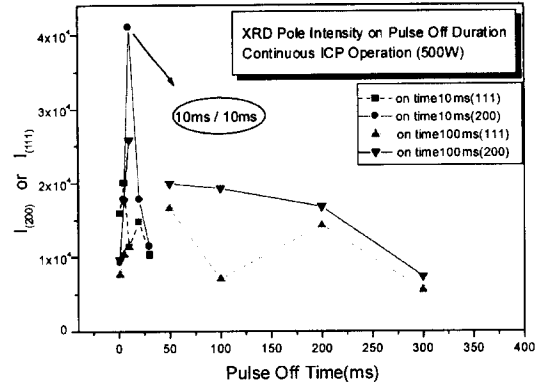


Fig. 3. Preferred orientation changes of Ag films deposited with different pulse conditions.

온화율지수의 지속적인 증가를 보이고 있다. 여기서 사용한 두 입자의 발광 파장은 337.96 nm, 368.06 nm로써 0.29 eV 근접한 분광선이므로 펄스 조건 변화에 의한 전자의 에너지 분포 변화는 크게 영향을 주지않는다고 가정하였다. 그러나 펄스의 on-time을 100 ms로 한 경우에는 duty가 50%인 100 ms에서 가장 높은 이온화율 지수를 나타내었다(Fig. 6). 펄스에 사용한 전원 장치는 기본 주파수가 50 kHz인 중주파수 영역의 RF 전력이므로 그 주기는 20 μ s이다. 13.56 MHz의 ICP가 발생시키는 유도 자기장의 크기는 Hopwood[5]등이 측정 한 바에 의하면 500W RF 전력에서 최대 5.17G라고 한다. 이때의 유도 전기장의 최대 크기는 200W에서 100 V/m, 500W에서 200 V/m 이고 1100W까지는 더이상 증가하지 않고 포화되는 경향을 보인다고 보고하고 있다. 본 연구에 사용한 ICP coil은 마그네트론 타겟 주위에 바로 설치하였으므로 ICP에 의한 유도 자기장의 크기는 타겟에서 누설되는 자기장의 최대 강도인 etch track 중심에서의 100G보다는 훨씬 작은 값이다. 반경 방향의 누설 자기장의 크기를 측정하여보면 타겟 직상에서 약 800G, 높이 5 cm인 곳에서도 40G를 유지하고 있다. 가스 압력이 50 mTorr이상으로 높으면 이온화율은 거의 90%에 이르지만 실제로 증착 속도가 현저히 떨어지는데 이는 가스 충돌에 의한 타겟 표면으로의 redeposition되는 중성 원자가 많이질 뿐 아니라 생성된 이온의 위치가 압력이 낮을때보다 타겟에 가까우므로 기관보다 더욱 음의 전위로 대전되어있는 타겟쪽으로 drift할 확률이 높아지기 때문으로 생각된다. 여기서의 관심은 이온화율 회복에 필요한 최소한의 off-time이 얼마인지 결정하는 일이다. 이 τ_{off} 동안의 냉각 과정은 두가지로 생각하여 볼 수 있

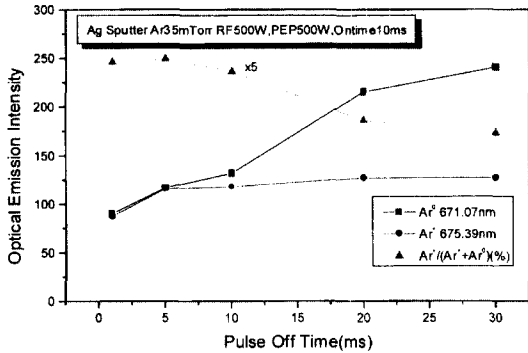


Fig. 4. OES results of Ar and Ar⁺ measured with different pulse off time at depositing Ag films (10 ms on time).

다. 첫째는 스퍼터링 전력에 의해서 가열된 Ar gas의 총 열량이 다시 수냉되고 있는 타겟의 표면으로 전도되어 나가는 것이다(Fig. 7(a)). 본 실험에서는 타겟에 인가되는 전력이 off 되는 동안에도 RF ICP power는 계속 공급되고 있으므로 챔버 벽면으로 손실되는 열량은 없다고 가정한다. $Q = -k(\partial T / \partial x)$ 를 이용하면, 10 mTorr (1.33 Pa)에서 0.1 MPa에서의 Ar의 열전도계수 $k = 21.7 \times 10^{-5} \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ [6]를 압력에 따라서 선형적으로 감소한다고 가정할 수 있다. 사용한 타겟의 두께는 3 mm 이므로 지름 50 mm인 Ag 타겟의 최대 열전도 유속 $Q = 21.7 \times 10^{-5} \text{ W/cm} \cdot \text{K} \times 1.33 \text{ Pa} / 0.1 \text{ MPa} \times (380\text{K} - 300\text{K}) / 0.3 \text{ cm} \times 19.63 \text{ cm}^2 = 1.51 \times 10^{-5} \text{ W}$ 가 된다. 여기서 Ar gas의 타겟 직상에서의 온도는 380K (107°C)라고 가정하였다. 다음에는 스퍼터링 전력에 의해서 가열된 Ar gas의 총열량을 구해야 하는데, 이는 스퍼터된 Ag 원자들이 Ar 원자들을 충돌하고 열에너지를 갖는 거리내의

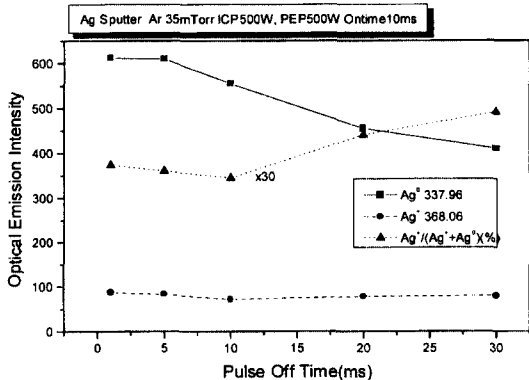


Fig. 5. OES results of Ag and Ag⁺ measured with different pulse off time at depositing Ag films (10 ms on time).

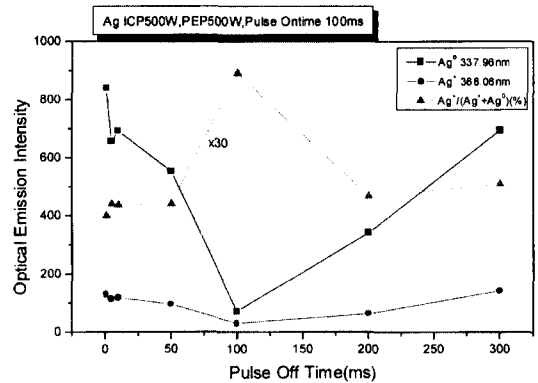


Fig. 6. OES results measured with different pulse conditions at depositing Ag films (100 ms on time).

부피를 평균 자유 행로의 3배에 해당하는 반구라고 가정하고 그 부피내의 가스의 질량 m 과 상온과 가열된 가스의 온도차 ΔT , 그리고 가스의 정적 비열 C_v 를 곱하여 구하였다. 압력이 낮고 챔버의 직경이 작을 때는 부피는 챔버의 직경을 고려한 부피로 계산해야 할 것이다. 10 mTorr, Ar 380K, mean free path 1 cm에서 계산된 Ar gas의 질량은 $1.329 \times 10^{-9} \text{ kg}$, $C_v = 523.7 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ 를 [6] 이용하면 총열량 $Q = 523.7 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times 1.329 \times 10^{-9} \text{ kg} \times (380\text{K} - 300\text{K}) = 5.56 \times 10^{-9} \text{ J}$ 된다. 이 값을 앞에서 계산한 타겟의 최대 열전달 유속으로 나누면 스퍼터 전력을 off하였을 때 Ar gas가 식는데 걸리는 최소한의 시간이 된다. 이 시간을 τ_{off} 라고 하면 380K까지 가열되었을 때 3.68sec가 된다. 여기서 Ar의 유효 부피내의 질량을 계산할 때 10 mTorr의 압력을 사용하였으나 실제로는 1/10까지 감소한다는 보고가 있다[8, 10]. 따라서 평균으로 5 mTorr를 사용하면 이 시간은 $\frac{1}{10}$ 로 감소한다(1.84 sec). 그러나 이 결과는 본 실험에서 증착된 박막의 성질을 좌우하는 τ_{off} 인 10 ms, 100 ms 수준과는 order의 차이가 존재한다. 특히 가열된 가스의 온도를 800K로 가정하면 11.5 sec가 되므로 더욱 현실적인 실험 결과를 단독으로 설명하기에는 부족하다. 두번째로 이 과정에 기여하는 것은 스퍼터링에 의해서 생성된 Ag 입자들의 방향성 흐름이 사라진 후의 Ar gas의 자유 확산이다 (Fig. 7(b)). 101.325 kPa, 273K에서 Ar의 확산 계수가 $0.167 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이므로 10 mTorr (1.33Pa)에서 앞에서 고려한 평균 자유행로의 3배에 해당하는 거리인 3 cm를 확산하는데 걸리는 평균 시간을 $x = 2 \cdot (D \cdot t)^{0.5}$ 에서 구해보면 17.64 ms가 나온다. 이 값은 본 실험에서 우선 방위의 큰 차이를 나타낸 Ag film 증착 조건인 10 ms/10 ms와

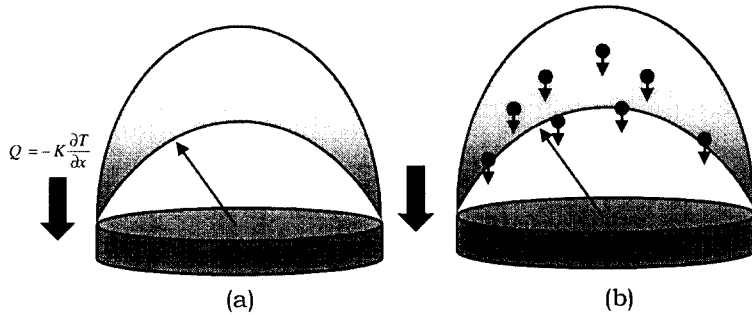


Fig. 7. Simple model for pulsing the sputtering power (a) heat conduction model, (b) anisotropy relaxation in velocity distribution.

근접하고, 평균자유행로를 유효 가스 압력의 저하를 고려하여 계산하면 약 5배가 되며 이 때의 τ_{off} 는 88.2 ms 가 되므로 100 ms/100 ms의 결과와도 order내에서 잘 부합함을 볼 수 있다. 따라서 스퍼터 투입 전력이 높거나 τ_{off} 시간을 길게하면 가스의 가열과 이에 의한 가스 희귀화 현상이 심화되고 차후의 스퍼터된 입자들의 이온화 충돌에 연관된 유효 가스 압력이 저하된다. 이 저하된 압력을 보충하기 위한 스퍼터 투입 전력의 off 시간인 τ_{off} 또한 증가하게 된다. 앞으로 이 부분의 계산은 Particle In Cell code를 이용하여 velocity distribution의 relaxation time의 추정치를 구해보는 것도 입자 가열 및 냉각 기구를 증명할 수 있는 방법이라고 생각된다.

4. 결 론

이온화 마그네트론 스퍼터링의 이온화율이 30 mTorr 부근의 비교적 높은 압력에서만 80%이상으로 유지되고 스퍼터링 전력을 증가시키면 이온화율이 오히려 감소하는 현상을 분석하고 이를 극복하기 위하여 RF ICP power는 유지한채 스퍼터링 전력을 펄스 동작 시켜서 일반적인 이온화 마그네트론 스퍼터링보다 낮은 압력에서 동등한 이온화율을 유지할 수 있는지 살펴보았다. 이 방법으로 증착시킨 Ag는 10 ms/10 ms, 100 ms/100 ms의 펄스 조건에서 박막의 우선 방위의 배향이 급격히 변화하였으며, 이를 스퍼터링에 의한 가스의 가열과 펄스 동작에 따른 냉각 효과, 가스의 확산 문제로 단순화시킨 모델을 이용하여 계산한 결과 가스의 가열과 냉각에 따른 효과보다는 스퍼터링에 의한 가스의 방향성 흐름이 무질서한 열운동으로 복귀되는 과정으로 해석한

값이 실험 결과와 더욱 잘 일치하였다.

후 기

이 연구는 교육부 학술연구 조성비 신소재 분야 (1997)와 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체 분야 학술연구조성비(과제번호 ISRC 97-E-1034) 및 통상 산업부 차세대 평판표시장치 기반기술 사업(1997)의 연구비 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Junghoon Joo, *J. Korean Vac. Soc.* **6**, 85 (1997).
2. S. M. Rossnagel and J. Hopwood, *J. Vac. Sci. Technol.* **B12**, 449 (1994).
3. Ed. R. F. Bunshah, *Handbook of Deposition Technologies for films and coatings*, Noyes Pub., 2nd Ed., New Jersey, U.S.A. 1994, p. 261.
4. M. Dickson, F. Qian, J. Hopwood, *J. Vac. Sci. Technol.* **A15**, 340 (1997).
5. J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair, and J. J. Cuomo, *J. Vac. Sci. Technol.* **A11**, 147 (1993).
6. David R. Lide, *Handbook of Chemistry and Physics*, 76th Ed., 1996, CRC Press, Boca Raton.
7. S. M. Rossnagel and J. Hopwood, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 3285 (1993).
8. S. M. Rossnagel, *J. Vac. Sci. Technol.* **A6** 19 (1988).
9. John F. O'Hanlon, *A User's Guide to Vacuum Technology*, 2nd Ed. 1989, John Wiley & Sons, New York, p. 22.
10. S. M. Rossnagel and H. R. Kaufman, *J. Vac. Sci. Technol.* **A6**, 223 (1988).