

고주파 스퍼터타입 이온소스를 이용한 비질량분리형 이온빔증착법에 관한 특성연구

임재원* · Minoru Isshiki

동북대학 다원물질과학연구소
(논문접수일 : 2003년 4월 4일)

Fundamental characteristics of non-mass separated ion beam deposition with RF sputter-type ion source

Jae-Won Lim,* and Minoru Isshiki

Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan
(Received Apr. 4, 2003)

요 약

본 논문은 비질량분리형 이온빔증착법에 이용하기 위한 고순도의 고주파 스퍼터타입 이온소스에 대한 특성을 평가했다. 고주파 구리 코일과 고순도 (99.9999 %)의 구리 타겟으로 이루어진 이온소스에 대한 기본적인 특성과 ULSI 금속배선용 구리 박막으로의 응용가능성에 대해서 고찰하였다. 구리 타겟에 걸어주는 전압에 따른 구리 타겟에 흐르는 전류 특성을 고주파 전원 또는 아르곤 가스 압력을 변화시키면서 특성을 평가한 후 구리박막제작을 위한 조건에 대해서 고찰하였다. 박막 증착을 위한 기본적인 조건으로써, 타겟의 전압 -300 V와 고주파 전원 240 W, 그리고 아르곤 압력 9 Pa이 정해졌으며, 이 같은 조건에서 기판 바이어스 -50 V에서 증착된 구리 박막의 비저항값은 $1.8 \pm 0.1 \mu\Omega\text{cm}$ 로 이는 구리 벌크의 저항값($1.67 \pm 0.1 \mu\Omega\text{cm}$)에 근접한 값을 알 수 있었다.

주제어 : 이온선 증착, 구리, 비저항

Abstract

In this paper, high purity RF sputter-type ion source for non-mass separated ion beam deposition was evaluated. The fundamental characteristics of the ion source which is composed of an RF Cu coil and a high purity Cu target (99.9999 %) was studied, and the practical application of Cu thin films for ULSI metallization was discussed. The relationship between the DC target current and the DC target voltage at various RF power and Ar gas pressures was measured, and then preparation conditions for Cu thin films was described. As a result, it was found that the deposition conditions of the target voltage, the target current and the Ar pressure were optimized at -300 V, 240 W and 9 Pa, respectively. The resistivity of Cu films deposited at a bias voltage of -50 V showed a minimum value of $1.8 \pm 0.1 \mu\Omega\text{cm}$, which is close to that of Cu bulk ($1.67 \mu\Omega\text{cm}$).

Key Words : ion beam deposition, copper, resistivity

*E-mail : flashlim@mail.tagen.tohoku.ac.jp

1. 서 론

이온빔증착법(ion beam deposition)은 상대적으로 낮은 기판온도에서 기판에 손상을 주지 않는 비교적 낮은 에너지를 가진 금속이온들에 의한 직접적인 증착으로 결함이 적고 고순도의 박막을 만드는 데 유용한 방법이다 [1-3]. 이러한 이온빔증착법에 관한 발상은 오래 전부터 있었다고 생각되어지나, 본격적인 연구가 시작된 계기로는 1971년 Aisenberg와 Chabot [4]가 진공 중에서 카본의 이온빔을 실리콘 기판 위에 조사함으로써 실온에서도 광학적으로 투명하고 또한 화학적으로도 안정한 다이아몬드상의(diamond-like) 카본 박막을 만들었던 것이라고 볼 수 있다. 그러나, 실제로 비질량분리형 이온빔증착법은 지금까지 많이 쓰여지지 않았으며 대신 질량분리형이 개발되면서 고순도 박막제작에 많은 공헌을 하였다. 이러한 이온빔증착법에서는 다른 증착 방법으로는 고온에서밖에 형성되지 않는, 또는 준안정 상태에서밖에 존재하지 않는 물질이 낮은 온도영역에서도 형성되어지는 것이 발견되곤 하였다 [4,5]. 근래에 들어서는, 1993년 Miyake와 Ohashi [6]가 질량분리형 이온빔증착법으로 50 eV의 낮은 에너지의 철 이온에 의해 제작된 철 박막이 염화나트륨 수용액 내에서 부식이 거의 일어나지 않는 것을 보고하였다. 이것은 증착된 철 박막의 표면에 안정한 산화층의 생성으로 더 이상 부식이 진행되지 않는 것이라고 분석하고 있다.

그러나, 질량분리형 이온빔증착법에 의한 연구들은 금속 박막에 관한 기초적인 연구와 해석에 관한 분야로써는 적합하나, 박막 증착시의 좁은 증착면적(직경 10 mm 이내), 낮은 효율성 그리고 고가의 장비문제로 실용적인 응용으로는 한계가 있었다. 이에 비해, 넓은 증착면적(직경 50 mm 이상)과 저가의 장비의 이점으로써, 최근 자성박막재료와 구리배선재료로의 응용을 위해 비질량분리형 이온빔증착에 대한 연구가 시작되었다 [7]. 최근에는 보다 고순도의 박막을 얻기 위한 노력으로 고주파 스퍼터타입 이온소스(RF sputter-type ion source)의 개발도 이루어졌다 [8]. 이 이온소스는 고주파(RF : 13.56 MHz) 구리코일과 고순도 구리(99.9999%)타겟으로 이루어져 있으며 종래의 철 박막의 경우, 철 이온의

생산을 위해서 쓰였던 CCl_4 가스와 같은 반응성 가스를 이용하지 않음으로써 Cl 등의 불순물을 영향을 배제할 수 있는 이점이 있다. 또한, 아르곤 가스 분위기에서 플라즈마를 생성시키므로 철뿐만 아니라 구리와 탄탈등 거의 모든 금속을 소스로 이용할 수 있다는 장점도 가지고 있다.

구리는 비저항값 ($1.67 \mu \Omega \text{cm}$)이 알루미늄 ($2.67 \mu \Omega \text{cm}$)에 비하여 상당히 낮은 저항과 전기적 이동(electromigration)에 대한 내성이 우수하여 차세대 반도체 배선재료로서 연구가 진행되고 있다 [9,10]. 하지만, 종래의 PVD(physical vapor deposition)와 CVD(chemical vapor deposition)방법에 의해 증착된 구리 박막의 비저항값은 아직도 구리 벌크에 비해서 상당히 높은 편이므로 [11,12] 구리의 비저항값을 낮추기 위해 고순도와 낮은 결함밀도를 갖는 고품위의 박막제조가 필요하게 되었다. 따라서, 본 연구에서는 고순도의 구리 박막을 제조하기 위하여 고주파 스퍼터타입 이온소스를 도입한 비질량 이온빔증착장비의 특성과 구리박막에 대한 기초연구에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서 이용된 비질량분리형 이온빔 증착장비의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서

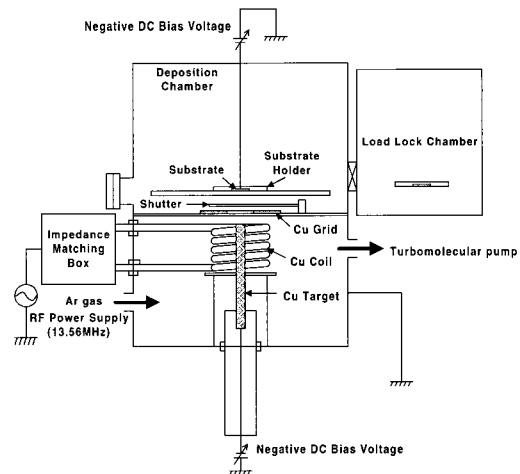


Fig. 1. Schematic diagram of non-mass separated ion beam deposition apparatus.

보듯이 고진공 챔버내에 플라즈마 여기용 고주파 구리 코일 (내경: 57.5 mm)이 설치되어 있고 그 중심부에 봉상형 구리 타겟이 놓여 있다. 구리 코일의 내부와 구리 타겟의 하부에 냉각수를 흘려 고온에서의 녹음을 방지하고 있다. 용기내 기본 진공도는 로타리와 터보분자펌프에 의해서 3×10^{-5} Pa를 유지하고 있으며 구리 타겟은 99.9999% 순도를 가진 봉상형으로 8 mm의 직경과 150 mm 길이를 가진다. 이 구리 타겟은 전해 연마후 30분간 진공 용기내에서 스퍼터링을 하여 박막 증착을 하기 이전에 구리 타겟 표면의 오염을 제거하였다. 우선 고주파 이온소스의 특성을 조사하기 위하여, 구리 타겟에 전압을 걸어 타겟에 흐르는 전류량을 측정해보았다. 이때, 고주파 전원과 아르곤 압력의 변화에 따른 타겟의 전류량 변화도 알아보았다. 또한, 박막의 증착 속도에 영향을 주는 아르곤 압력과의 관계도 고찰해보았다. 기관으로써는 실리콘(100)을 사용하였으며 아세톤으로 세척한 후, 5% 불산(HF)용액으로 표면 산화막을 제거하였다. 실리콘기관과 타겟의 거리는 35 mm부터 60 mm까지 조절하면서 구리 박막을 증착하여 특성을 관찰하였다.

구리 박막을 증착시키는 방법으로는, 먼저 고순도(99.9995%)의 아르곤 가스를 주입시킨 후, 고주파 전원에 의해 아르곤 플라즈마를 생성시킨다. 이때 구리 타겟에 직류 마이너스 전압을 걸어줌으로써 이온화된 아르곤(Ar^+)에 의해 구리 타겟이 스퍼터되고, 스퍼터 현상에 의해 구리중성입자(Cu^0)와 구리이온(Cu^+), 또는 아르곤입자(Ar^+ 와 Ar^0) 등이 방출되어진다. 이 때 아르곤 플라즈마 내에서 주로 일어나는 구리의 이온화현상으로 페닝 이온화효과(Penning ionization effect) [13]와 구리 이온에 의한 셀프 스퍼터(self-sputtering)현상을 들 수 있다. 페닝 이온화효과는 전자에 의해 여기된 준안정상태의 Ar^* (11.53 eV 와 11.72 eV) [14]에 의한 Cu^0 의 이온화과정으로 다음과 같이 이루어진다. $Ar^* + Cu^0 \rightarrow Cu^+ + Ar^0 + e$, 여기서, 구리중성입자의 이온화포텐셜(ionization potential)이 7.724 eV [15]이므로 Ar^* 에 의해서 충분히 이온화되어지고, 또한 페닝 이온화에 의해 이온화된 구리 이온들에 의한 구리 타겟에서의 스퍼터현상에 의해서 이온화율이 더욱 증가될 것으로 사료된다. 다만, 현재의 비질량분리형 시스

템에서는 구리와 아르곤의 이온과 중성입자의 비율은 아직 측정되지 못했으며 이 후 질량 스펙트럼(mass spectrum)분석에 의한 연구가 필요한 상태이다.

구리박막은 이와 같이 스퍼터 현상에 의해 방출된 구리입자들에 의해 주로 증착되어지는데, 챔버와 함께 접지되어 있는 구리 그리드(grid)와 아르곤 플라즈마 사이에 발생하는 바이어스차(약 8~10 V)에 의해 구리 이온들이 가속되어 증착되며, 또한 음의 기관 바이어스에 의해 구리 이온들의 증착이 가속되어진다. 기관 위에 증착된 구리박막의 크기는 기관 홀더에 의해 만들어진 직경 15 mm의 면적이었다. 박막 증착시 기관 바이어스의 영향을 관찰하기 위하여 전압은 0 V와 -50 V에서 박막을 제작해보았다. 제작한 구리박막의 미세구조를 주사전자 현미경(HITACHI: S-4100L)을 이용해 관찰하였고 비저항 측정은 Van der Pauw 방법 [16]으로 인듐전극을 가지고 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

고주파 스퍼터 타입 이온소스를 이용한 비질량 분리형 이온빔 증착장비의 특성을 조사하기 위해 직류 타겟 전압과 타겟 전류에 관해서 측정해보았다. 그림 2(a)와 (b)는 다양한 고주파 전원과 아르곤 압력에 대해서 타겟 전압에 따른 타겟 전류의 변화를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 타겟 전류는 약 -20 V의 전압까지 급격히 증가하는 것을 알 수 있고 약 -100 V이상의 전압에서는 전류가 포화상태로 유지가 되고 있는 것을 알 수 있다. 이 같은 특성은 Yamashita [3]가 보고한 질량분리형 이온빔 증착장비와 비슷한 특성을 보이고 있는 것을 알 수 있는데, 그는 포화된 타겟의 전류밀도가 기존의 4극진공관(tetrode)타입 스퍼터링 장비에 비해서 10배 이상의 밀도를 보였다고 보고하였다. 이러한 전류 밀도는 결국 플라즈마밀도와 비례하게 되며, 이 또한 고주파 전원과 아르곤 압력의 증가에 따라 플라즈마밀도도 증가하게 된다. 본 실험에서도 고주파 전원을 260 W, 아르곤 압력이 12 Pa까지 증가함에 따라 타겟의 전류가 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 타겟 전류가 포화상태로 유지되는 약 -100 V이상의 타겟 전압에서 구리 박막의 제작이

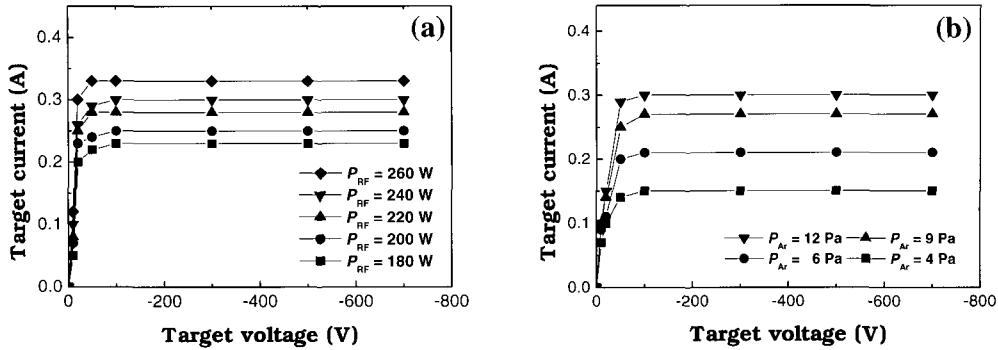


Fig. 2. Target current as a function of the target voltage: (a) at various RF powers (P_{Ar} : 12 Pa) and (b) at various Ar gas pressures (P_{RF} : 240 W).

가능하나 -300 V보다 더 높은 마이너스 전압에서는 구리 타겟이 녹아 버리는 문제점이 발견되어 본 실험에서는 구리 타겟의 전압을 -300 V로 고정하였다. 또한, 빠른 증착 속도를 얻기 위해서는 플라즈마 밀도를 높여야 하며, 플라즈마 밀도를 높이기 위해서는 타겟의 전류를 높여야만 하는데, 이는 고주파 전력과 아르곤 압력을 높임으로써 해결이 가능해 보였다. 하지만 고주파 전원의 경우, 전원을 높일수록 플라즈마 밀도를 높일 수 있으나 구리 타겟의 녹는점을 고려하여 본 실험에서는 고주파 전원을 240 W로 해서 기본 실험을 하였다. 또한, 아르곤 압력의 경우에도 진공 용기내의 구리의 평균 자유경로(mean free path)와의 관계를 고려하지 않으면 안 된다. 따라서, 실제로, 아르곤 압력이 구리 박막의 증착 속도에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다. 그림 3은 아르곤 압력의 변화에 따른 아르곤 평균자유행로와 구리 박막의 증착 속도의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우 고주파 전원은 240 W, 타겟의 전압은 -300 V 그리고 실리콘 기판과 타겟과의 거리는 50 mm였다. 일반적으로 평균자유경로 λ 는 다음과 같이 주어진다 [17].

$$\lambda = 1/[2^{1/2} \pi n \delta^2]$$

여기서, n 은 단위 질량당 원자의 수, δ 는 원자 혹은 분자의 직경(Ar: 0.367 nm)이다. n 은 또한 다음과 같이 구할 수 있다.

$$n = P/kT,$$

여기서, P 는 가스 압력(Pa), k 는 볼츠만 상수(Boltzmann's constant) 그리고 T 는 온도(K)이다.

그림 3에서는 실온에서 계산된 아르곤의 평균자유경로를 나타낸 것으로 아르곤 압력의 감소에 따라 증가하는 것을 알 수 있고, 구리 박막의 증착 속도도 아르곤 압력이 감소함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 아르곤의 평균자유경로를 구리의 경우에 적용시켜보면 비슷한 거동을 보일 것으로 생각되며, 이것은 높은 아르곤 압력에서는 구리의 평균자유경로가 짧아지기 때문에 그만큼 구리 타겟으로부터 방출된 구리 입자들이 기판까지 도달하는데 낮은 아르곤 압력에서보다 시간이 걸린다는 것

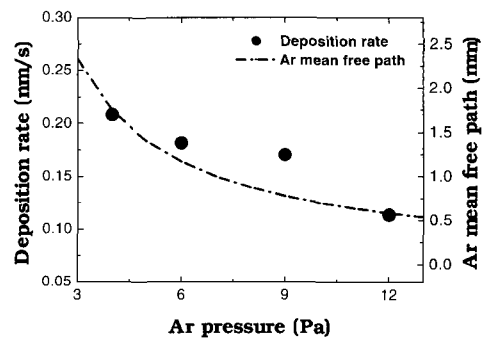


Fig. 3. Deposition rate of the Cu films as a function of the Ar gas pressure (P_{RF} : 240 W, V_T : -300 V, D_{T-S} : 50 mm).

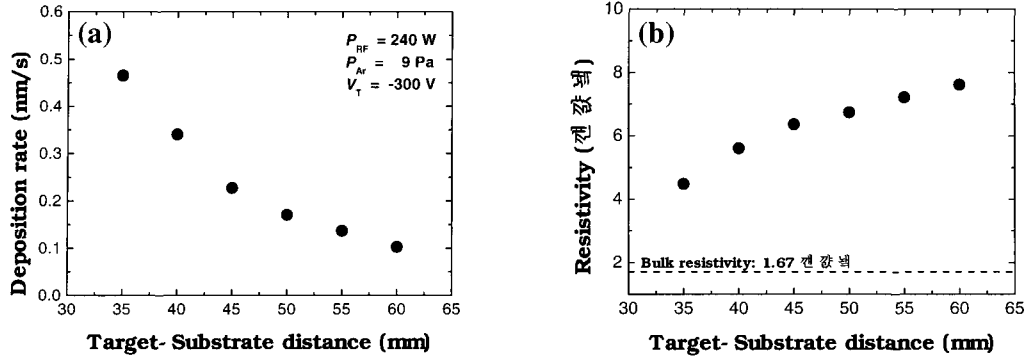


Fig. 4. (a) Deposition rate and (b) the resistivity as a function of the target-substrate distance ($P_{RF} : 240 \text{ W}$, $V_T : -300 \text{ V}$, $P_{Ar} : 9 \text{ Pa}$).

을 의미한다. 따라서, 높은 아르곤 압력에서보다 낮은 압력에서 기판에 도달되는 구리입자들의 증가로 증착 속도를 높이는데 유리하게 된다. 하지만, 본 실험 장비의 경우 6 Pa이하의 아르곤 압력의 경우에는 장시간 플라즈마상태를 유지하는 것이 어려운 관계로 9 Pa의 아르곤 압력에서 구리 박막의 조건을 결정하였다.

이상의 조건에서 (고주파 전원 : 240 W, 타겟 전압 : -300 V, 아르곤 압력 : 9 Pa), 구리 박막의 증착 속도와 비저항에 관한 실리콘 기판과 구리 타겟과의 거리의 영향에 대해서 조사해보았다. 그림 4(a)와(b)는 기판과 타겟의 거리에 따른 구리 박막의 증착 속도와 비저항값의 변화를 나타낸 것으로 구리 박막은 15분간 증착한 후 측정된 값이다. 기판과 타겟의 거리가 감소함에 따라 박막의 증착 속도는 현저하게 올라가고 있는 것을 알 수 있다. 60 mm의 거리와 35 mm의 경우를 비교해 보면 약 4.5배의 차이를 나타내고 있다. 본 실험 장비에서는 진공 용기내에 기판과 타겟의 사이에 있는 차단막 때문에 기판과 타겟의 거리를 35 mm로 감소시키는 것이 한계였다. 또한 그림 4(b)에서의 증착된 박막의 비저항값의 변화를 보면 기판과 타겟의 거리가 가까워짐에 따라 비저항값이 서서히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이것은 박막 자체의 비저항값이 감소했다기보다는 같은 15분간 증착한 막의 경우 기판과 타겟의 거리가 가까운 쪽의 막이 막두께가 두꺼워지며 결정들의 크기가 커짐으로써 생기는 저항값의

감소라고 생각된다. 그림 5(a)와 (b)는 기판과 타겟의 거리가 60 mm와 35 mm일 경우의 증착된 구리 박막의 표면을 관찰한 주사 전자 현미경 사진이다. 그림에서처럼 결정들의 크기가 그림 5(a)에서보다 5(b)의 경우가 몇 배 이상 크게 성장돼 있음을 알 수 있다. 이것으로 판단하건대, 만약, 같은 두께의 막으로 기판과 타겟의 거리에 따른 저항값을 측정한다면 그다지 저항값의 차가 보이질 않을 것으로 전망된다. 기판과 타겟의 거리가 가장 가까운 35 mm에서 증착된 박막이 가장 빠른 증착 속도와 낮은

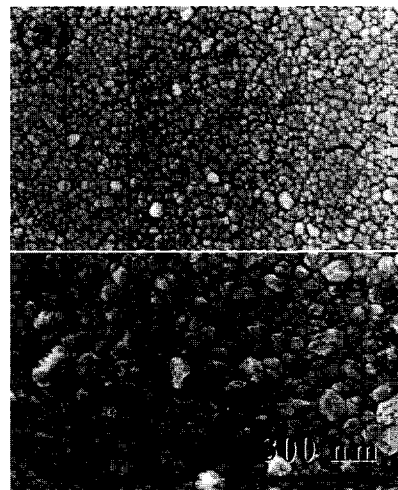


Fig. 5. SEM surface micrographs of the Cu films at various substrate bias voltages : (a) 0 V and (b) -50 V.

저항값을 가지고는 있지만, 그 값이 약 $4.5 \mu \Omega \text{ cm}$ 의 저항값을 보여 구리 벌크의 저항값이 $1.67 \mu \Omega \text{ cm}$ 에 비해 현저히 높다는 것을 알 수 있으며 저항값의 감소를 위한 박막의 개선이 필요했다. 또한, 두 경우의 구리 박막이 결정립 크기의 차이를 보이는 것은 그림 4(a)에서 설명했듯이, 박막의 증착 속도가 4.5배의 차이를 보인 것처럼 기판과 타겟의 거리가 멀수록 구리입자들이 도달하기 힘들어지므로 그만큼 핵 생성과 결정성장에 필요한 에너지를 가진 구리입자들의 감소가 주요한 원인으로 생각되어진다.

본 장비의 경우 구리 박막의 특성을 향상시키는 방법으로는 기판에 음의 바이어스 전압을 걸어 구리 이온들에 의한 박막 특성 변화에 미치는 영향을 생각할 수 있다. 본 연구 장비는 질량분리를 하지 않기 때문에 주로 구리 중성입자에 의해서 막이 증착된다고 생각되어진다. 이러한 경우 박막의 특성이 현저하게 떨어지는 단점을 가지고 있으므로 이를 보완하기 위해서 기판에 음의 바이어스 전압을 걸어주어 구리 중성입자뿐만 아니라 이온화된 구리 입자를 끌어들이므로써 박막의 특성을 개선시킬 수 있다. 이러한 경우 기판 바이어스에 의해 가속된 구리 이온이 가지고 있는 운동에너지가 이온 충격(ion bombardment)에 의해 표면에 흡착되어 있던 불순물들의 제거(surface cleaning)와 표면에 도달한 이온들이 이동에너지를 가진 원자들로 되며, 이는 표면에서의 보다 치밀하고 결함이 적은 막으로의 변화가 가능하며, 또한 기판 표면 위에서의 원자 확산은 박막내의 응력을 해소하는 방향으로 움직인다고 생

각되어질 수 있다. 이와 같은 이온의 효과로 박막의 특성이 향상되어진다고 보고되고 있다 [5].

그리고 박막 증착시 기판 바이어스 이외의 기판 온도에 의한 영향에 대해서 고찰할 필요성이 있으므로 증착 시간에 따른 기판 온도의 변화를 측정하였으며 이것을 그림 6에 나타내었다. 기판 바이어스를 걸지 않은 경우와 -50 V 의 기판 바이어스를 걸었을 경우에 대해서 측정하였는데, 두 경우 모두 증착 시간에 따라서 점차 기판 온도가 증가하고 있음을 알 수 있다. 1시간이 경과했을 경우, 기판 온도가 약 100°C 까지 증가하고 있지만, 본 실험에서 실제로 박막을 증착하는 시간은 주로 15분이었으며 이는 약 50°C 전후의 기판 온도로서 온도에 의한 영향을 그다지 크지 않다고 생각되어진다. 실제로, 15분간 구리 박막을 증착한 후 기판 바이어스에 의한 영향을 주사 전자 현미경으로 관찰해 보았다. 그림 7(a)와 (b)는 기판 바이어스를 걸지 않은 구리 박막과 -50 V 의 기판 바이어스를 걸었을 경우의 구리박막의 단면을 관찰한 주사 전자 현미경 사진이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이, 그림 7(a)의 경우, 원주형 모양의 결정 성장을 보이는 주상조직(columnar structure)을 가진 구리 박막이 관찰되었는데 이는 스

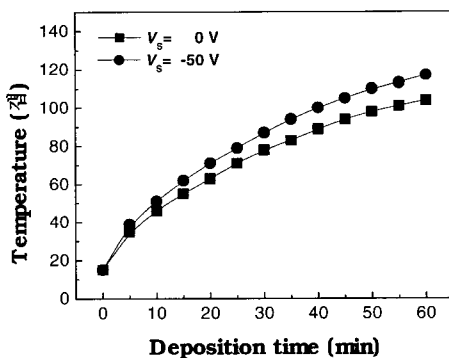


Fig. 6. Substrate temperature as a function of the deposition time: (a) 0 V and (b) -50 V .

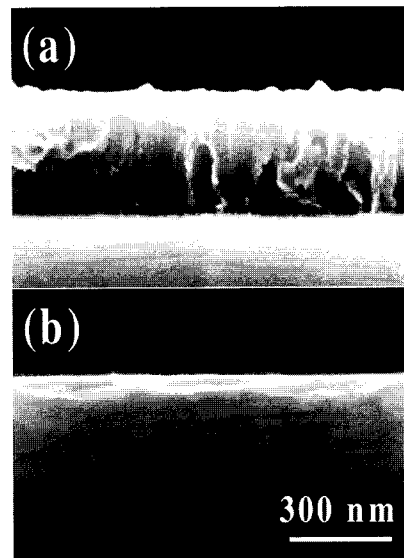


Fig. 7. SEM cross-sectional micrographs of the Cu films at various substrate bias voltages: (a) 0 V and (b) -50 V .

터퍼링 증착할 때 생성되는 전형적인 구조를 나타낸다. 이에 비해서 그림 7(b)의 경우는 박막의 단면 사진에서는 주상조직을 가지지 않는 평탄한 구조를 가지고 있는 것을 알 수 있으며 주사 전자 현미경 상으로는 보다 세부적인 미세구조는 관찰하기 힘들었다. 이와 같이 음의 기판 바이어스를 걸어줌으로써 이온화된 구리 이온들이 끌려오게 되고 이에 따라 운동에너지가 증가하게 된다. 이러한 운동에너지의 증가는 결국, 표면에서의 확산에너지로 바뀌게 되면 충분한 표면의 확산에너지에 의해서 주상구조가 없어지게 되며 보다 치밀한 박막으로 성장하게 된다 [5]. Hirsch 등은 이온 충격의 효과로써 게르마늄 박막 증착시 생겼던 균열 (cracks)이나 갈라짐 (flaking) 등의 현상이 아르곤 이온을 조사시켰을 경우 없어졌다고 보고하였다 [18]. 이러한 점으로부터 본 연구에서도 기판 바이어스를 걸어주었을 경우, 구리 박막의 단면에서 주상구조가 관찰되지 않았던 점이 이러한 이온충격의 효과라고 볼 수 있다. 또한 기판 바이어스를 걸지 않았을 경우, 증착된 구리 박막의 미세구조에서 여전히 주상조직이 관찰되는 것으로 보아 기판 온도의 영향에 의한 박막의 미세구조 변화는 거의 없다고 보여진다. 더군다나, 기판 바이어스 -50 V에서 증착된 구리 박막의 경우(막두께 : 300 nm), 비저항값이 구리 벌크값에 가까운 $1.8 \pm 0.1 \mu\Omega\text{cm}$ 을 나타내 기판 바이어스에 의한 비저항값의 현저한 감소도 확인되었으며 이러한 기판 바이어스에 대한 영향은 좀 더 구체적인 실험들이 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

고주파 스퍼터타입 이온소스를 이용한 이온빔증착법에 관해서 구리 박막의 연구를 위한 기본적인 특성평가를 하였다. 다양한 고주파 전원과 아르곤 압력에서 구리 타겟의 전압과 전류를 관찰하고 평가한 결과 가능한 높은 고주파 전원과 가능한 낮은 아르곤 압력이 구리 증착 속도를 높일 수 있는 방법임을 확인하였다. 하지만 구리 타겟의 녹는 점을 고려하여 본 실험에서는 타겟의 전압을 -300 V와 고주파 전원을 240 W로, 그리고 장시간의 플라즈마 상태의 안정을 위하여 아르곤 압력을 9 Pa로 고정

하여 박막 증착을 위한 기본적인 조건을 구하였다. 또한 기판과 타겟과의 거리는 가장 가까운 35 mm로 하여 박막을 증착하여 비저항값을 측정하였지만, 약 $4.5 \mu\Omega\text{cm}$ 의 높은 값을 나타냈으나 기판 바이어스 -50 V에서 증착한 박막의 경우 비저항값이 현저히 감소한 $1.8 \pm 0.1 \mu\Omega\text{cm}$ 을 보였음이 확인되었다. 이후 구리 박막에 대한 기판 바이어스에 대한 영향에 대해서 좀 더 구체적인 실험 결과에 대해서 보고할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Amano, P. Bryce, and R. P. W. Lawson, J. Vac. Sci. Technol. **12**, 591 (1976).
- [2] T. Tsukizoe, T. Nakai, and N. Ohmae, J. Appl. Phys. **48**, 4770 (1977).
- [3] M. Yamashita, Jpn. J. Appl. Phys. **26**, 721 (1987).
- [4] S. Aisenberg, and R. Chabot, J. Appl. Phys. **42**, 2953 (1971).
- [5] T. Takagi, Thin Solid Films **92**, 1 (1982).
- [6] K. Miyake, and K. Ohashi, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, L120 (1993).
- [7] K. Miyake, and K. Ohashi, Nucl. Instr. Meth. B **121**, 102 (1997).
- [8] K. Miyake, Y. Ishikawa, M. Yamashita, and M. Isshiki, in *Proceedings of 2000 International Conferences on Ion Implantation Technology*, (Alpbach, Austria, 2000) pp.550-553.
- [9] C. Rye, K. W. Kwon, A. L. S. Loke, H. B. Lee, T. Nogami, V. M. Dubin, R. A. Kavari, G. W. Ray, and S. S. Wong, IEEE Trans. Electron Devices **46**, 1113 (1999).
- [10] C. A. Chang, and C. K. Hu, Appl. Phys. Lett. **57**, 617 (1990).
- [11] H. M. Choi, S. K. Choi, O. Anderson, and K. Bange, Thin Solid Films **358** (2000) 202.
- [12] J. Röber, C. Kaufmann, and T. Gessner, Appl. Surf. Sci. **91**, 134 (1995).
- [13] J. W. Coburn, and E. Kay, Appl. Phys. Lett. **18**, 435 (1971).

- [14] E. E. Muschlits, Jr., Science **159**, 599 (1968).
[15] D. R. Lide, Handbook of Chemistry and Physics (New York CRC press) pp. 10-207.
[16] L. J. Van der Pauw, Philips Res. Rep. **13**, 1 (1958).
[17] C. Kittel, Thermal Physics (New York Wiley, 1969) pp. 176.
[18] E. H. Hirsch, and I. K. Varga, Thin Solid Films **52**, 445 (1978).