

고주파 마그네트론 스퍼터장치로 증착한 Ti 박막의 특성에 관한 연구

배창환* · 이주희* · 한창석**†

*호서대학교 혁신기술경영융합대학원 메카트로닉스공학과

**호서대학교 국방과학기술학과

A Study on the Characteristics of Ti Films Deposited by a DC Magnetron Sputtering Assisted with RF Voltage

Chang-Hwan Bae*, Ju-Hee Lee*, Chang-Suk Han**†

*Dept. of Mechatronics Eng., Graduate School of M. T. & M., Hoseo University

**Dept. of Defense Science & Technology, Hoseo University

165 Sechul-Ri, Baebang-Myun, Asan City, Chungnam 336-795, Korea

Abstract We have fabricated Ti metal films on Cu wire substrates by using a RF magnetron sputtering method at different RF powers (0, 30 and 60 W) in a high vacuum, and we have investigated the thin film characteristics and resistivity. The ion bombardment effect is increased by the method to superimpose RF power to DC power applied to two poles of the base; thus, the thin film is deposited at sputtering gas pressures below 1 Pa. Moreover, the thin film formation of the multilayer structure becomes possible by gradually injecting the RF power, and the thin film quality is improved.

(Received March 2, 2009; Revised March 31, 2009; Accepted April 7, 2009)

Key words: RF magnetron sputtering, thin film, low pressure sputtering, ion bombardment effect

1. 서 론

양극에 정전압을 인가하는 구조인 원통형 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 pure-Cu wire 기판을 타겟 이하의 전위로 하면 연성과 밀착성이 우수한 Ti 박막을 얻을 수 있는데, 이때의 박막은 기판이 강하게 이온으로부터 충격을 받으면서 막이 형성되기 때문에 박막의 내부구조가 주상구조를 나타내지 않는다. 따라서 이와 같은 전위상태에서 증착할 수 있는 것은 금속 와이어 등의 도전성을 갖는 기판으로 제한되며, 고분자섬유와 같은 절연성 기판에는 적용할 수 없다. 스퍼터링방법에 의해 제작된 박막의 내부구조 모델에 의하면 주상구조를 갖는 박막을 용이하게 형성시키기 위해서는 기판을 가열하거나 낮은 스퍼터링 압력조건에서 박막을 형성하는 것이 유효하다고 보고되어 있다[1]. 또한, 직류전력과 고주파전력을 병용하는 것에 의하여 낮은 가스압력조건에서도 스퍼터

링 증착이 가능하다는 것이 보고되었다[2, 3].

본 연구에서는 원통형 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 타겟의 상하에 설치되어 있는 2개의 양극에 직접 직류전력과 고주파전력의 공급에 의한 낮은 스퍼터링 압력에서의 적용가능성 제시 및 이온충격효과에 의한 특성을 평가하고, 또한 본 연구에서 적용한 방식과 직류전력만으로 제작한 경우의 박막내부구조를 비교 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

원통형 마그네트론 스퍼터링 장치의 구조와 양극에 직류전력과 고주파전력을 공급하기 위한 회로도들 Fig. 1에 나타내었다. 타겟은 길이 130 mm, 외경 100 mm의 공업용 pure-Ti봉을 사용하였다. Ar 가스 압력측정은 전리진공계를 이용하였다. 고주파전원은

†E-mail : hancs@hoseo.edu

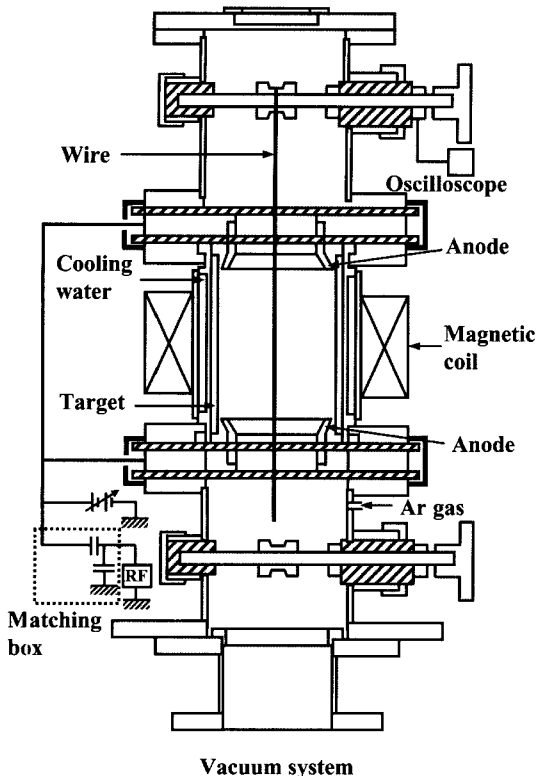


Fig. 1. RF-assisted cylindrical magnetron sputtering apparatus.

출력 500 W, 13.56 MHz를 사용하고, 고주파전력이 직류전원측에 공급되지 않도록 직류전원 출력측에 초크코일을 설치하였다. 직류전력은 제어단 내의 콘덴서에 의해 고주파전원측에는 공급되지 않도록 하였다.

2.2 타겟과 기판의 전위 및 방전특성 측정

챔버 내의 플라즈마상태에서 절연물 표면의 전위는 양극 전위보다 일반적으로 조금 낮다. 본 실험에서는 양극전압에 고주파가 중첩되기 때문에 기판이 절연물이라도 표면전위는 변조된다. 그러나 실제의 표면전위를 측정하는 것은 어렵기 때문에 도전성 기판을 사용하여 변조상태를 추정하였다.

타겟 상부의 기판은 직경 1 mm, 길이 300 mm의 pure-Cu wire를 사용하였으며, 기판 양극에 오실로스코프를 접속하여, 스퍼터링 개시 후, 양극전위 및 pure-Cu wire의 전위를 동시에 관찰하였고, 관찰된 파형의 최대값 및 최소값을 이용하여 평가하였다. 장치 내의 진공도를 1.33×10^{-3} Pa 이하로 한 후, Ar

가스를 미세유량 조절기에 의해 소정의 압력까지 도달시키고, 고주파전력을 양극에 공급하여 방전을 발생시켜 직류전압을 인가하면서 최적조건에 도달할 때까지 미세조정을 반복하였다. 소정의 고주파전력과 직류전압으로 조정된 후, 직류전원에 설치되어 있는 전류계의 값(스퍼터링 전류값)을 측정하였다.

2.3 박막증착 및 조직관찰

박막증착용 기판으로는 두께 1 mm, 폭 8 mm, 길이 300 mm의 테프론판 및 직경 1 mm, 길이 300 mm의 pure-Cu wire를 사용하였다. pure-Cu wire는 스퍼터링 장치와 전기적으로 절연되어 있으며, 동일 증착조건으로 2개의 시료를 제작하여 박막의 구조관찰과 굽힘시험을 실시하였다. 고주파전력(30 W)을 10분 정도 인가하여 플라즈마로 기판표면을 세정하였다. 증착 시 인가하는 고주파전력과 Ar 가스압력을 변화시켰으며, 방전 시 스퍼터링 전류가 500 mA가 되도록 스퍼터링 전압을 조정하였다. 스퍼터링 전압은 증착조건에 따라 다르며, 220~300 V 범위 내이다. 모든 조건하에서 타겟 주변의 전자코일에 2 A를 통전시켰으며, 이때의 자장은 타겟 원통축상에서 140 G이었다. 증착 후 pure-Cu wire 및 테프론판을 절단하여 절단면 주변의 증착표면을 FE-SEM을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고주파전력의 효과

Ar 가스압력이 수 Pa 상태에서 고주파전원의 출력을 10 W 정도로 하면 용이하게 방전이 개시되었다. 압력을 2.5×10^{-1} Pa로 내려도 약 40 W에서 방전이 개시되었으며, 이 압력에서는 고주파전력을 인가하지 않고 직류전압을 1000 V 정도 인가하여도 방전이 일어나지 않았다. 따라서, 플라즈마의 발생범위는 직류인 경우보다 매우 넓은 것을 알 수 있다.

고주파전력을 인가하여 방전을 개시하였을 때, 직류전압을 250 V로 올리면 스퍼터링이 개시되어 Ti 원자의 발광색인 청색으로 되었으며, pure-Cu wire 기판의 주위에 직경방향으로 두께 약 1 mm 정도의 암부가 미약하게 확인되었으며, 고주파 인가전력이 증가함에 따라 암부의 크기도 증가하는 경향을 나타

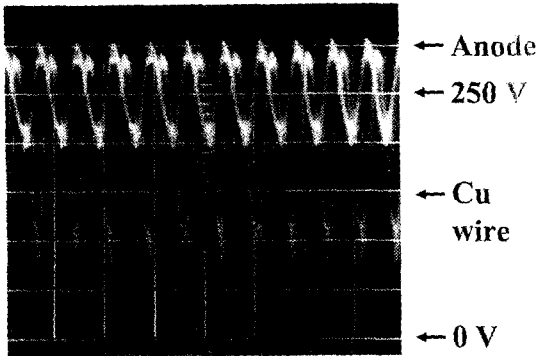


Fig. 2. Anode and substrate potential changes during sputtering.

내었다. 이때의 pure-Cu wire 기판 및 양극전위를 관찰한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 양극에는 직류 정전압에 13.56 MHz의 고주파가 중첩되어 있다. 따라서, 플라즈마 포텐셜이 변동하여 pure-Cu wire 기판의 전위가 변조되어 있는 것을 알 수 있다. 즉, pure-Cu wire 기판의 최저전위는 양극의 최저전위보다 낮았고, 미약한 위상차가 있는 것을 알 수 있다.

RF 2극 스퍼터링 장치에서는 1쌍의 전극 표면적을 A_1 , A_2 , DC self-bias 전압을 각각 V_1 , V_2 로 할 때,

$$V_1/V_2 = (A_2/A_1) \quad (1)$$

의 관계가 보고되어 있다[4, 5]. 본 실험의 경우, 양극, 원통형 음극 및 pure-Cu wire 기판을 3개의 전극으로 생각할 수 있기 때문에, 간단하게 양극과 pure-Cu wire 기판을 1쌍의 전극으로 가정하면 식 (1)로부터 표면적이 작은 pure-Cu wire 기판이 음극으로 된다. 어떠한 경우라도 양극전위가 급격하게 저하한 순간에서는 기판의 전위는 높은 상태를 유지하려고 하기 때문에 전자가 급격하게 기판으로 집중된다. 따라서, 기판표면에 존재하는 이온과 결합되어 기판전위를 현저하게 저하시키므로 self-bias가 발생된다고 생각할 수 있다.

실제로 스퍼터링 장치 내에서 소비되는 고주파전력을 측정할 수 없기 때문에 고주파전원의 출력을 변화시켜 방전특성을 관측하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 결과로부터 고주파전력을 증가시키면 스퍼터링 전류가 증가되는 경향을 알 수 있었다. 스퍼터링 전류가 증가하는 이유로는 첫째, 플라

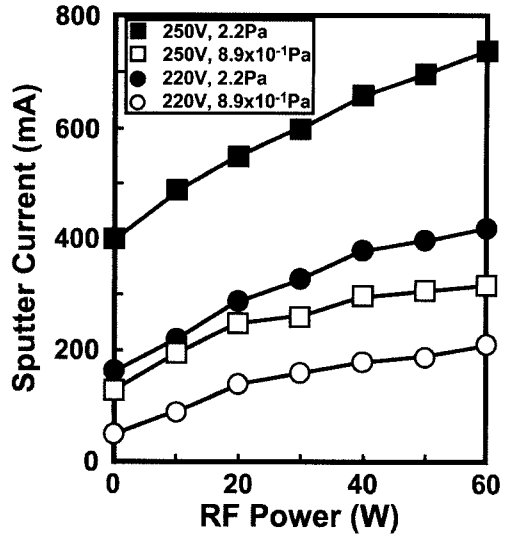


Fig. 3. Sputter current as a function of RF power.

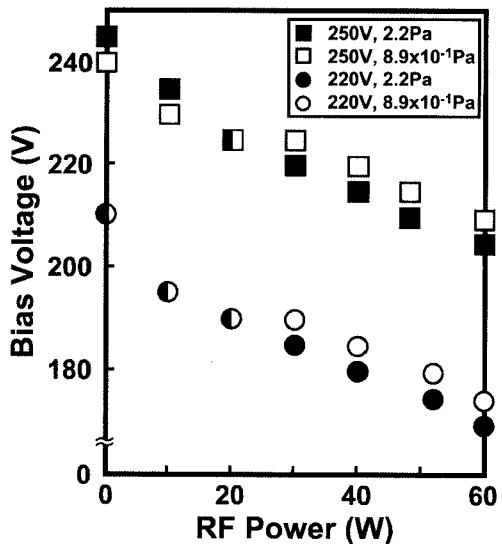


Fig. 4. Induced bias voltage of a Cu wire as a function of RF power.

즈마 발생범위가 직류전력뿐일 때의 경우보다도 넓고, 유효하게 스퍼터링 되어 타겟의 면적이 증대되는 것과 둘째, 방전을 유지하기 위하여 γ 전자 및 α 전자가 부가되기 때문이라고 생각할 수 있다. Pure-Cu wire 기판의 최저전위는 고주파전력의 증가에 따라 저하된 지점으로부터 중첩된 고주파전력을 증가시키면, 발생하는 self-bias가 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 4에 관찰된 파형의 최대값과 최소값의

평관을 바이어스전압(양극전위를 기준)으로 간주하여 정리한 결과를 나타내었다. 고주파전력 60 W에서는 양극의 평균전위보다 약 30 V 낮은 self-bias가 일어나는 것을 알 수 있다. 상기의 pure-Cu wire 기판 주위에 관찰된 암부는 이 self-bias에 의한 것으로, 절연성기판에서도 가속된 (+)이온의 충격을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 결과로부터 고주파전원을 부가적으로 이용하여 원통형 마그네트론 스퍼터링 장치에서 낮은 스퍼터링 압력사용이 가능하였으며, 기판에서의 고속 입자에 의한 충격과 (+)이온의 충격효과를 증착에 이용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.2 박막의 단면형상

증착 중에 고주파의 인가전력을 3단계로 변화시켜 인가전력과 박막구조와의 관계를 조사하였다. 고주파전력을 0 W(직류전력만 인가), 30 W, 60 W로 순차적으로 증가시켰다. 증착시간은 각각 40분씩(합계 120분)하였으며, 기판은 pure-Cu wire를 사용하였다. Ar 가스압력이 5.8 Pa와 0.92 Pa인 경우를 Fig. 5(a) 및 (b)에 나타내었다. Fig. 5(a)에서는 파면에 명확한 주상구조가 나타난 것을 알 수 있으며, 높은 스퍼터링 가스압력 조건에서 고주파전력은 박막구조에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 한편, Fig. 5(b)에 나타낸 0.92 Pa인 경우의 박막구조는 2층으로 되어 있다. 고주파를 인가하지 않은 경우에는 치밀한 박막을 얻을 수 없으며, 고주파를 인가하여 어느 정도 시간이 흐른 후 치밀화가 일어나는 것을 알 수

있다. Fig. 5(a) 및 (b)의 결과로부터 박막구조에 미치는 주된 영향으로는, 고주파전력의 변화가 3단계임에도 불구하고 2층으로 관찰된 점으로부터 고주파 인가전력의 변화보다는 고주파전력의 인가 여부에 따른 기판온도의 상승에 의한 영향이 주요 원인일 것으로 추정된다.

또한, 테프론판을 기판으로 사용한 시료에 대하여 살펴보면, 스퍼터링 가스압력을 2.1 Pa로 하고, 직류전원만을 사용하여 스퍼터링 전류를 500 mA로 한 경우를 Fig. 6(a)에, 스퍼터링 가스압력이 0.48 Pa이고, 고주파전력이 60 W, 스퍼터링 전류 800 mA인 조건으로 증착한 경우를 Fig. 6(b)에 나타내었으며, 증착시간은 모두 60분이다. Fig. 6(a)로부터 박막구조는 주상구조도 아니고 치밀하지도 않은 것을 알 수 있다. 이와 같은 구조로 되는 이유는 느린 증착속도가 영향을 미친다고 추정할 수 있다. 그러나, Fig. 6(b)는 주상구조를 가지며 치밀한 막이 형성되었음을 알 수 있다. 이 구조는 Fig. 5(b)에 나타낸 박막 상층부의 구조와 유사하다. 박막표면이 평탄하기 때문에, 이와 같은 치밀한 막은 스퍼터링에 의해 제작된 박막의 내부구조 모델[6]에 대한 Zone T 구조인 박막이라고 생각할 수 있다. Fig. 6(a) 및 (b)를 자세히 관찰하면, 테프론 기판에 대하여 경사시킨 방향으로 성장된 것을 알 수 있다. 이것은 테프론 기판을 설치할 때에 약간 변형이 되었기 때문에 증착 중에 기판온도가 상승하여 더욱 변형이 진행되어 타겟에 대하여 경사진 상태로 배치되었기 때문이다.

이와 같은 관찰결과로부터 낮은 스퍼터링 가스압력

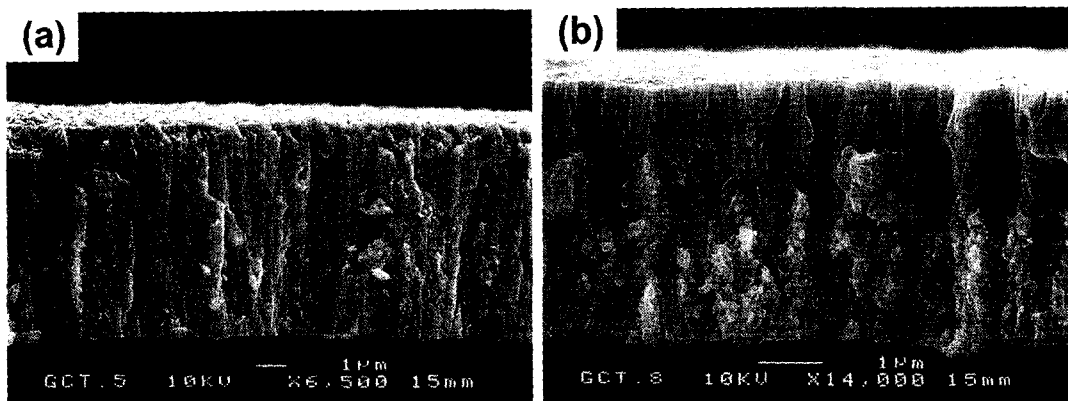


Fig. 5. Ti coating film deposited with the three-step RF power of 0, 30 and 60 W. Ar gas pressures are (a) 5.8 Pa and (b) 0.92 Pa, respectively.

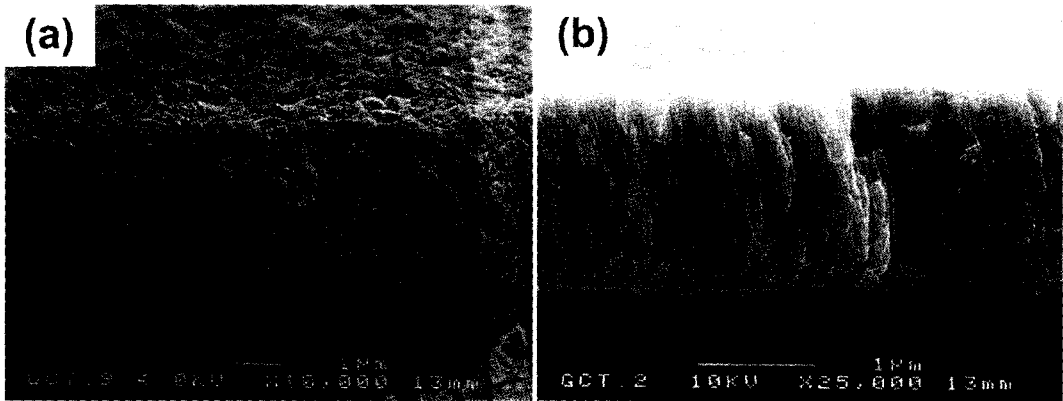


Fig. 6. Ti coating films deposited on Teflon substrates. (a) 2.1 Pa, 500 mA, no RF power and (b) 0.48 Pa, 800 mA, 60 W, respectively.

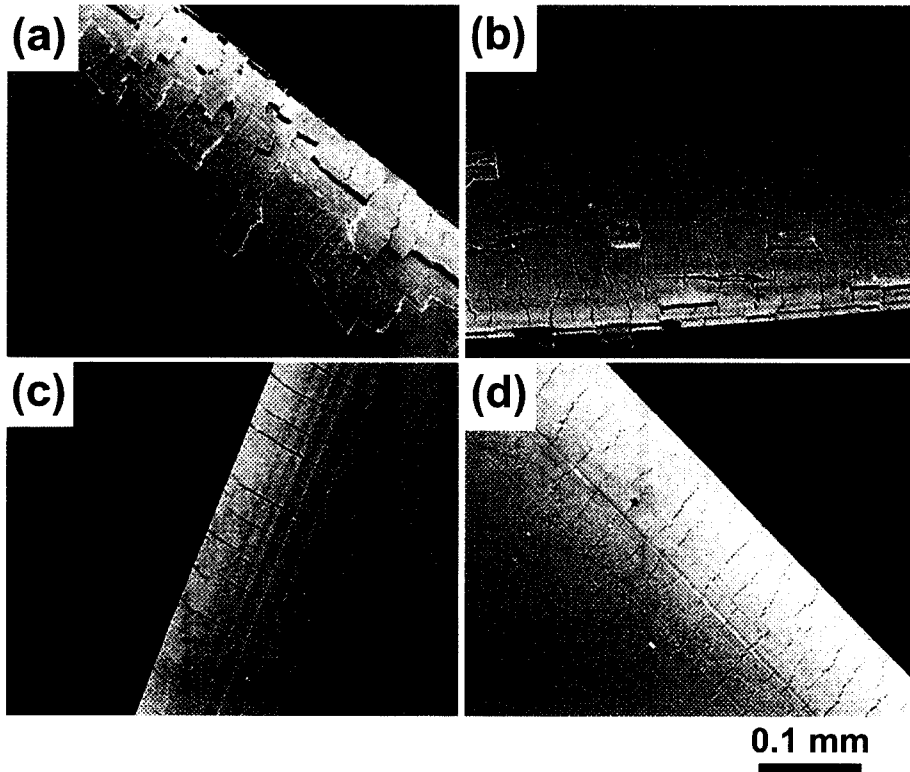


Fig. 7. SEM micrographs of bending Ti-coated wires. (a) no RF power, (b) 30 W, (c) 60 W and (d) 0.83 Pa Ar pressure, with sputter current (850 mA) and RF power (60 W).

과 높은 스퍼터링 전류에 고주파전력을 인가한다면 절연성 기판에 치밀한 박막을 형성시킬 수 있다.

3.3 박막의 밀착성과 내부구조

Fig. 7에 Ti 코팅 후 pure-Cu wire 기판을 직경

10 mm인 봉에 감고 굽힘시험을 하였을 때의 깨짐 및 박리형상을 나타내었다. Fig. 7(a), (b) 및 (c)는 고주파전력이 각각 0, 30, 60 W를 인가했을 때의 박막구조이다(Ar 가스압력 1.5 Pa, 스퍼터링 전류 500 mA, 증착시간 60분). 고주파 인가전력을 증가시

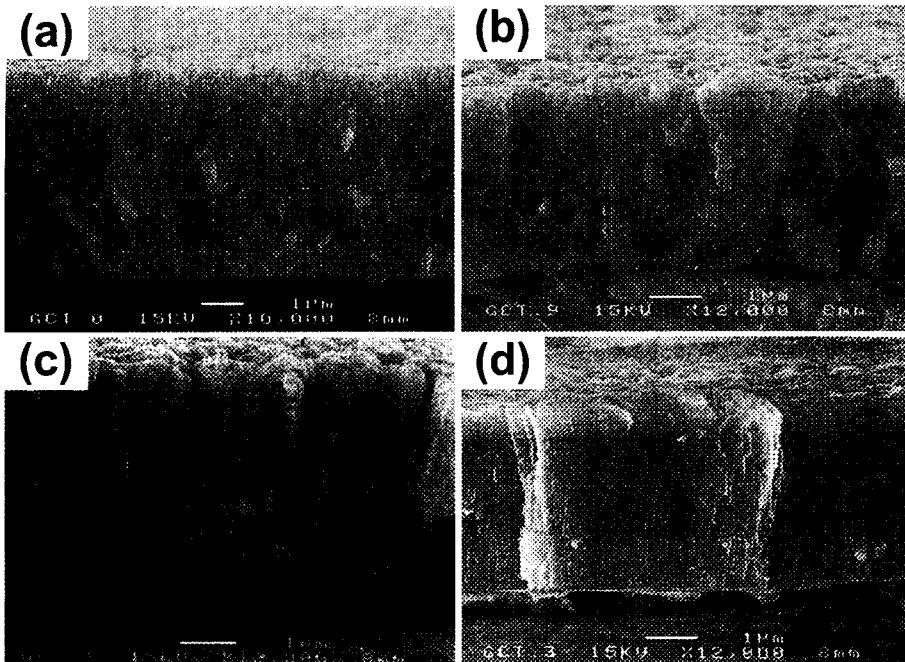


Fig. 8. Ti coating films deposited on Cu wires by using RF power. (a) no RF power, (b) 30 W, (c) 60 W and (d) low Ar pressure (0.83 Pa), with sputter current (850 mA) and RF power (60 W).

키면 코팅막은 박리되지 않으며, 밀착성이 향상되는 것을 알 수 있다. Fig. 7(d)는 낮은 가스압력(0.83 Pa), 높은 스퍼터링 전류(850 mA)로 증착한 박막형상이다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 코팅막은 박리되지 않았으며, 직선적인 깨짐 현상은 관찰되지 않았다. 굽힘시험과 비교하기 위하여 관찰한 코팅막 구조의 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)는 Fig. 7(a)와 동일한 증착조건으로 증착한 것이며, (b), (c) 및 (d)도 동일하다. Fig. 7 및 Fig. 8로부터 주상구조를 갖는 치밀한 코팅막일수록 밀착성이 향상되는 것을 알 수 있다. 기판으로 고속입자의 충격과 (+) 이온의 충격효과에 의하여 박막의 구조형성 및 밀착성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

원통형 마그네트론 스퍼터링 장치에 고주파 중첩방식을 이용하여 방전특성 및 코팅막 형성에 미치는 이온충격효과에 대하여 self-bias를 효과적으로 활용하기 위하여 조사한 결과를 이하에 기술한다.

1. 양극에 인가하는 직류전력에 고주파전력을 중첩

하는 방식이 이온충격효과를 증대시킬 수 있다.

2. 본 방식을 이용하면 절연성 기판에 self-bias가 발생하여 치밀하고 밀착성이 우수한 Ti 박막을 형성시킬 수 있는 점으로부터 self-bias에 기인하는 이온충격효과를 효과적으로 이용할 수 있다. 특히, 1 Pa 이하인 낮은 스퍼터링 가스압력에서도 증착이 가능하므로 고속입자의 충격효과도 이용할 수 있다.

3. 상기의 2가지 효과를 이용하여 단계적인 고주파 전력에 의하여 치밀한 주상구조의 박막특성을 얻었다.

참고문헌

1. J. A. Thornton : Thin Solid Films, **119** (1984) 87.
2. A. Yonesu, H. Takemoto and M. Hirata : Sputtering and Plasma Processes, (2002) 275.
3. D. A. Glocker, M. M. Romach and V. W. Lindberg : Surface & Coatings Technology, **146/147** (2001) 457.
4. S. M. Rossnagel and J. Hopwood : J. Vac. Sci. Tech. B, **12** (1994) 449.
5. J. L. Vossen and J. J. Cuomo : in Thin Film Process (Academic press, Inc.), Chap.2., (1978).
6. D. D. Wang and T. Oki : J. Vac. Sci. Tech. A, **8** (1990) 3163.