

원통형 마그네트론 스퍼터링 장비의 방전특성과 박막구조에 관한 연구

오창섭* · 한창석**†

*한국과학기술정보연구원, **호서대학교 국방과학기술학과

A Study on the Discharge Characteristics of Cylindrical Sputtering Apparatus and Microstructure

Chang-Sup Oh*, Chang-Suk Han**†

*Korea Institute of Science and Technology Information, Reseat Program, Daejeon 305-806, Korea

**Dept. of Defense Science & Technology, Hoseo University, 165 Sechul-Ri, Baebang-Myun, AsanCity, Chungnam 336-795, Korea

Abstract The purpose of this study is to prepare a high strength fiberglass reinforced metal. Aluminum covering was carried out over carbon materials such as carbon fiber in order to increase their wettability to molten metals such as aluminum. A sputtering apparatus with a cylindrical target was fabricated to carry out the covering. Sputtering was caused by glow discharge between the target and the two anode plates attached to its top and bottom. As the substrate for preliminary test, a thin carbon wire was used instead of carbon fiber, and the wire was placed at the central axis of the target. Aluminium coating was formed on the whole surface of the substrate. The formation rate and structure of coating were varied by controlling the electrical potential of substrate. When the substrate was electrically isolated, coating with columnar structure was formed with a formation rate of 15 $\mu\text{m/hr}$. In case of grounded substrate, coating with amorphous structure was formed with a formation rate of 7 $\mu\text{m/hr}$.
(Received November 28, 2011; Revised December 14, 2011; Accepted December 20, 2011)

Key words: sputtering, coating, aluminum, columnar structure, amorphous structure

1. 서 론

탄소섬유(CF; Carbon Fiber)강화 알루미늄 복합재료(FRM; Fiberglass Reinforced Metal)는 경량, 고강도 및 고인성을 갖는 재료이므로 우주·항공분야 뿐만 아니라 자동차재료로서도 널리 이용되고 있다 [1-5]. FRM을 제조할 때의 문제점으로는 CF와 용융 알루미늄과의 젖음성과 CF와 용융 알루미늄 계면에서 일어나는 반응을 제어하는 것이다. 따라서 금속 또는 그 화합물을 CF표면에 피복하는 것이 실시되고 있다. 피복방법으로는 전기도금법, CVD 및 PVD법 등이 이용되고 있으며, 그 중에서 CVD법을 이용한 Ti-B피복이 있다[6-9]. 이 방법은 섬유다발의 내부까지 피복할 수 있는 장점이 있기 때문에 우주항공분야에서 널리 활용되고 있다. 또, ion-plating방법을 이용하여 CF표면에 알루미늄을 피복시킨 연구 보고[10]가 있으며, 이 방법의 특징은 피막의 밀착성

이 우수하고, 양산에 적용할 수 있는 점이다. 그러나 이와 같은 방법보다 장비구조가 간단하며 양산성이 높은 방법으로는 스퍼터링 방법이 있지만, CF의 표면개질에 스퍼터링 방법을 적용한 예는 거의 없다. 그 이유는 일반적으로 사용하는 평판 마그네트론 스퍼터링 방법은 곡면에 대한 부착성이 우수하지 못하고, 섬유다발의 내부까지 피복하는 것이 불가능하며, 섬유표면 전체를 균일한 두께로 피복하는 것이 어렵기 때문이다. 이와 같은 이유로, 타겟의 형상이 평판형상일 때는 다소 어려운 점이 있지만, 타겟의 형상을 원통형상으로 개조하면 가능하다고 판단된다. 원통형상 타겟이 장착된 장치는 Thornton[11]에 의해 제작되었지만, 실용화 되지 못하였다.

본 연구에서는 스퍼터링 방법으로 섬유다발 내부까지의 피복성을 향상시키기 위하여 기관재료가 원통형상 타겟의 중심축 위에 배치되는 구조를 고안하였다. 스퍼터 장비의 전원은 (-)극성을 이용하는 것이 일

†Corresponding author. E-mail : hancs@hoseo.edu

반적이지만, 본 연구에서 사용한 장비는 (+)극성 전원을 이용하여 양극에 (+)전압을 인가하는 양극인가 방식이다. 이와 같은 방식의 특징은 장비구조가 간단하며, 기관재료를 (-)전위로 하기 위한 바이어스전원을 사용하지 않아도 피복층의 구조를 제어할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 원통형 스퍼터 장비의 방전특성을 파악하고, 피복성 향상 및 피복층의 조직 관찰 등을 목적으로 하여 FRM제조에 대한 검토를 실시하였다.

2. 실험 방법

2.1 원통형 스퍼터 장비

Fig. 1은 원통형 스퍼터 장비의 구조도이다. 타겟은 순도 99.5%, 외경 100 mm, 내경 90 mm, 길이 130 mm인 알루미늄 봉을 사용하였다. 타겟의 상하부에는 스테인리스 재질의 양극을 배치하고, 타겟이 설치된 챔버 외부에는 마그네트론 운동을 발생시키기 위하여 자기코일을 감았다. 기관으로 사용한 carbon wire(탄소봉)에 알루미늄을 연속적으로 증착시키기 위하여 타겟의 상하부에 각각 winder(감는 장치)를 설치하였으며, 상하부 간격은 340 mm이다. 배기는 로터리 펌프 및 오일확산 펌프를 사용하였고, MFC를 이용하여 Ar가스를 주입하였다. 스퍼터 전원은 DC 1 kV, 1 A이며, 증착은 상하부의 양극에 소정의 전압을 인가하여 실시하였다. FRM제조가 목적이기 때문에 기관재료로서 CF를 사용하여야 하지만, 본 실험은 예비단계이므로 취급이 용이한 carbon wire를 사용하였다.

2.2 Al 박막 제작

피막을 형성시키기 위해 사용한 기관은 직경 0.3 mm, 길이 100 mm인 탄소봉을 사용하였으며, 탄소봉은 상하부의 winder에 철선을 걸어 약 5 mm 정도 거리를 두고 체결하여 원통형 타겟 중심축 상에 설치하였다. 챔버 내부를 1.0×10^{-5} Torr 이하의 진공상태로 한 후, 스퍼터링용 Ar가스를 주입하여 챔버 내부의 압력을 0.03 Torr로 유지시켰다. 타겟 외부에 감은 코일에 2 A의 전류를 흘리고, 상하부의 양극과 타겟 사이에 300 V의 방전전압을 인가하여 20분 동안 스퍼터링을 실시(이 경우를 A방법이라 함)

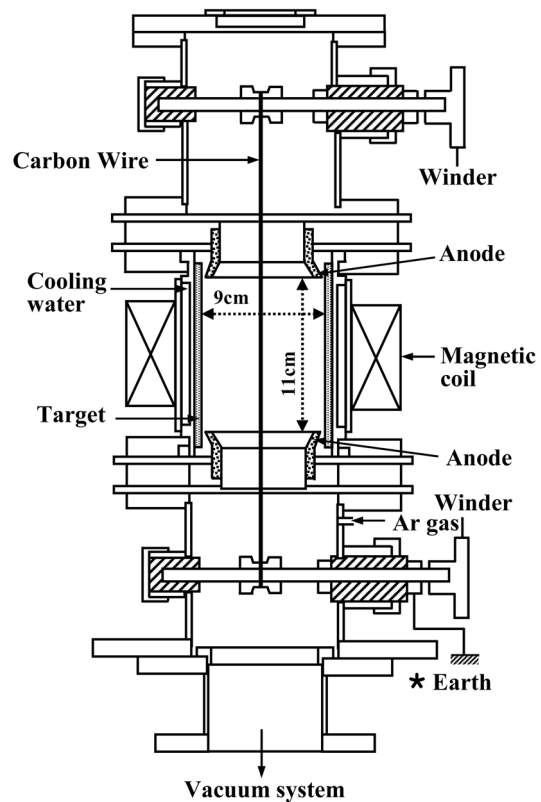


Fig. 1. The sputtering apparatus in this study.

하였으며, 이때의 방전전류는 500 mA이었다. 기관재료의 전위는 양극과 거의 동일한 약 300 V 정도 이었다. 또한, 하부 winder(감는 장치)를 어스에 접속(Fig. 1의 *부분)하여 동일한 조건으로 스퍼터링을 실시(이 경우를 B방법이라 함)하였다. 어스에 접속시키는 것에 따라 방전 시 기관재료의 전위는 타겟 전위와 거의 같은 0 V에 가까운 값으로 되었으며, 이때의 전압, 전류, 시간 등과 같은 방전조건은 A방법과 동일하다. SEM을 이용하여 피복 후 탄소봉의 표면 및 파단면을 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 스퍼터 장비의 방전특성

본 실험에서 사용한 스퍼터 장비의 방전특성을 파악하기 위해서는, 우선 방전이 일어났을 때의 전압-전류관계를 조사하여야 하기 때문에 기관재료를 설치

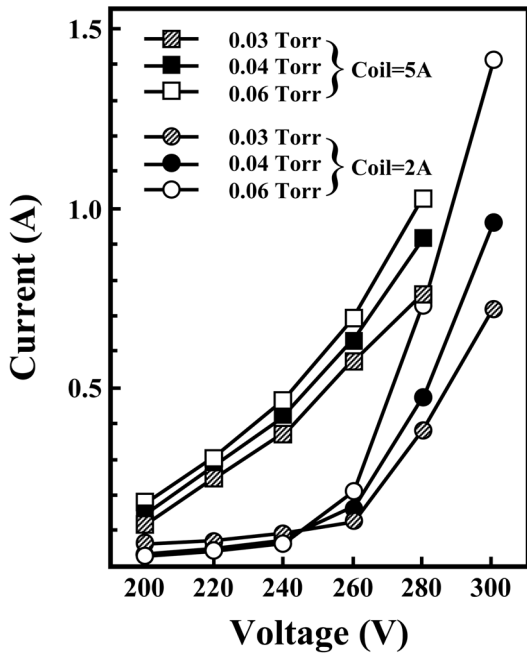


Fig. 2. Current-voltage characteristics of the sputtering apparatus.

하지 않고, 상하부의 양극과 타겟 사이에 200 V~300 V의 전압을 인가하여 방전전류값을 측정하였다. 측정결과를 Fig. 2에 나타내었으며, 인가전압을 증가시키거나 타겟 외부에 감은 자기코일에 흐리는 전류를 2 A에서 5 A로 높이면 방전전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 타겟 내부의 자장에 의해 전자는 나선운동을 하면서 타겟 내부를 회전하여 Ar가스 입자와의 충돌확률이 증가하는 효과가 확인되었다. 또, 방전전류는 진공도에 의해서도 달라지는데, 진공도가 낮은 0.06 Torr일 때가 0.03 Torr일 때보다 높았다. 방전이 일어났을 때의 전압과 전류와의 관계를 다른 방식의 스퍼터 장비와 비교해 보면, 본 실험에 사용한 장비는 300 V 정도의 방전전압으로 1 A에 가까운 방전전류를 얻은 점으로부터 저전압 고전류형인 방전특성을 나타낸다고 생각할 수 있는데, 이유로는 2극 스퍼터 장비는 1000 V 이상의 방전전압으로 1 A 이하인 방전전류 밖에 얻을 수 없으며, 고속증착이 가능한 평판 마그네트론 스퍼터 장비도 일반적으로 400 V 이상의 방전전압으로 증착하기 때문이다. 방전전압이 낮으면 플라즈마 내의 Ar가스의 (+)이온이 갖는 에너지가 작아지기 때문에 기판재료가 전기

적으로 절연된 경우에는 Ar 이온이 기판재료를 충격하는 것에 의해 발생하는 기판의 온도상승 또는 증착막의 압축내부응력 발생 등이 적어지기 때문이다.

3.2 피복층의 SEM 이미지

알루미늄을 피복한 탄소봉의 외관형태는 모든 방전 조건에서 백색이었으며, 금속광택은 나타나지 않았으나 핀셋으로 피복층의 표면을 약간 긁어내면 금속광택을 나타내었다. 또, 탄소봉을 손으로 부러뜨리면 2 개로 완전히 부러지지 않고 압축된 층의 피복층이 변형되어 피복층의 일부가 연결된 「<」 형태로 되었다. 알루미늄은 탄소봉 전체(길이 100 mm)에 균일하게 피복되었으며, 상하부 양극의 거리에 따른 색의 차이는 나타나지 않았다. 일반적으로 오일확산 펌프와 로터리 펌프만으로 구성된 장비를 이용하여 제작한 알루미늄 피막은 반사율이 낮고[12], 백색 또는 회색의 피막이 대부분인데, 이와 같은 원인으로서는 진공도가 낮은 점과 증발된 기름입자가 진공챔버 내에 미량 포함되어 있는 점이다. 본 장비를 이용하여 제작한 알루미늄 피막은 반사율이 낮고[12], 백색 또는 회색의 피막이 대부분인데, 이와 같은 원인으로서는 진공도가 낮은 점과 증발된 기름입자가 진공챔버 내에 미량 포함되어 있는 점이다. 본 장비를 이용하여 제작한 알루미늄 피막은 백색이지만, 이것은 피막표면의 요철(凹凸)에 의해 반사율이 저하되었기 때문이며, 회색이 아닌 점으로부터 비교적 고진공 상태에서 피복되었다는 것을 알 수 있다. 피복 후의 탄소봉의 직경은 상부 및 하부보다 중앙부가 조금 두꺼웠으며, 두꺼운 부분의 길이는 약 40 mm이었다.

Fig. 3은 탄소봉 중앙부의 절단면을 SEM으로 관찰한 단면사진으로, 탄소봉 전체에 약 30 μ m 정도의 알루미늄층이 피복되어 있는 것을 알 수 있다. 이 단면사진은 탄소봉을 절연시켜 피복한 A방법의 사진이지만, 어스를 시킨 B방법도 동일하게 탄소봉 전체에 알루미늄이 피복되었다. 여기에서 흥미로운 점은 방전이 일어났을 때에 탄소봉의 전위상태에 따라서 피복층의 두께와 구조가 달라지는 것이다. 즉, 전기적으로 절연시킨 상태인 A방법으로 피복하면 주상정 피막이 Fig. 4(a)와 같이 성장하며, 그 표면에는 뚜렷한 요철(凹凸)이 확인되었다. 이에 반하여, 탄소봉을 절연시키지 않은 상태(어스를 시킨 상태)인 B방법으로 피복한 막은 Fig. 4(b)와 같이 비정질구조이며, 표면은 A방법을 이용한 경우보다 요철(凹凸)이 적으며 평탄하였다. 일반적으로 스퍼터링 방법으로 제작한 막의 구조는 주상정 구조를 갖는다. 박막의

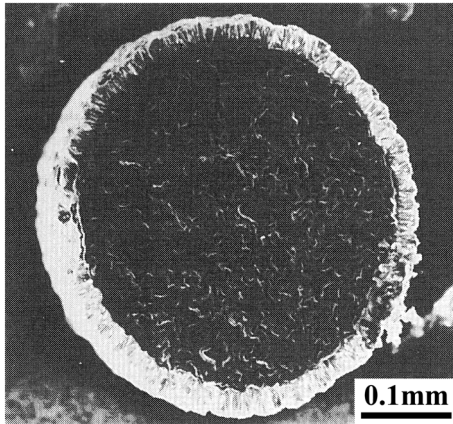


Fig. 3. SEM micrographs of the aluminum coated carbon wire.

구조에 관해서 Thornton[11]은 스퍼터 압력(Ar가스 압력)이 높고, 기판재료의 온도가 낮은 경우에는 Fig. 4(a)와 같은 주상정구조를 갖는 박막이 형성되며, Fig. 4(b)와 같은 비정질구조는 스퍼터 압력이 조금 낮고 기판재료의 온도가 높은 조건일 때 형성된다고 보고하였다. 또한 무정형구조는 알루미늄을 용융하여 고화시킨 경우와 같은 천이상태인 구조라고 보고하였다[11]. 이와 같이 Thornton이 제시한 구조 변화에 대하여, 본 연구에서는 바이어스 전원을 사용하지 않고, 기판재료의 전위를 변경시키는 것만으로 Thornton의 경우와 같이 피막구조의 제어가 가능하다는 것을 예측할 수 있었으며, 기판재료의 전위조정에 따라 다양한 피막구조를 얻을 수 있다고 판단된다. 또한, 막 두께는 A방법으로 제작한 피막이 B방법보다 약 2배 정도이었으며, 증착속도는 A방법으로 제작한 주상정 피막은 $15 \mu\text{m}/\text{h}$, B방법으로 제작한 무정형 피막은 $7 \mu\text{m}/\text{h}$ 이었다. 전압 및 전류 등과 같은 방전조건이 동일함에도 불구하고, 증착속도가 다른 것은 기판재료의 전위상태에 의한 것이라고 판단된다. 즉, 기판재료를 어스에 접속시킨 B방법으로 제작한 알루미늄 피막은 Ar이온의 충격에 의해 치밀한 피막으로 되어 밀도가 높게된 점과 재스퍼터 현상이 나타났기 때문에 얇은 막 두께를 얻었다고 생각된다. 재스퍼터 현상은 바이어스 스퍼터링 방법에서는 일반적으로 발생하는 현상이며, 본 실험에 사용한 장치에서는 기판재료의 전위가 피막구조의 제어에 기여하는 것을 시사한다.

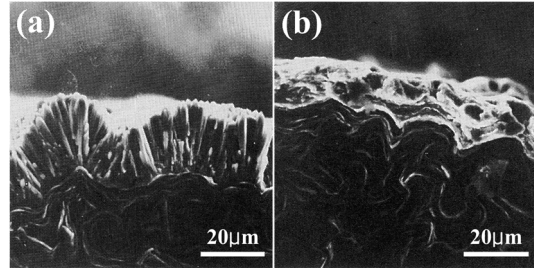


Fig. 4. SEM micrographs of growth structures sputtered on to the carbon wire with electrically (a) isolated and (b) grounded.

A방법 및 B방법으로 제작한 피막의 파단면을 고배율로 관찰하면, 피복층과 기판재료인 탄소봉과의 경계면이 뚜렷하게 확인되었다. 따라서 기판재료인 탄소봉과 알루미늄 피막과의 사이에는 반응상이 없다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 실험결과로부터 본 스퍼터 장비를 이용하여 기판재료인 탄소봉 전체에 균일하게 알루미늄의 스퍼터링이 가능한 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험결과를 기초로 하여 CF에 알루미늄 피복을 실시하여 FRM을 제작할 것이며, 이에 대한 결과는 금후에 보고하겠다.

4. 결 론

원통형상 타겟을 사용한 스퍼터 장비를 이용하여 기판재료인 탄소봉에 알루미늄의 피복을 실시한 결과, 다음과 같은 결론은 얻었다.

1. 방전전류는 인가전압의 증가 및 자기코일의 전류를 높이면 증가하였으며, 진공도가 낮은 0.06 Torr일 때가 0.03 Torr일 때보다 높았다. 방전이 일어났을 때의 전압과 전류와의 관계는 저전압 고전류형의 방전특성을 나타내었다.
2. 본 장비를 이용하여 기판재료인 탄소봉 전체에 알루미늄의 피복이 가능하였으며, 형성된 피막의 구조는 피막생성조건에 따라 결정질인 주상정구조에서 비정질구조까지 제어가 가능하였다.

참고문헌

1. E. L. Rodriguez : J. Mater. Sci. Lett., 8 (1989) 116.
2. T. A. Ranney and L. V. Parker : Ground water

- monitoring & remediation, **18** (1998) 127.
3. V. Caccese, J. P. Kabche and K. A. Berube : Composite Structures, **81** (2007) 450.
 4. T. R. Guess, E. D. Reedy and A. M. Slavin : J. Compo. Tech. & Res., **17** (1995) 117.
 5. A. B. Morgan, N. A. Gagliardi and W. A. Price : Fire & Materials, **33** (2009) 323.
 6. S. Shimada, M. Takahashi and J. Tsujino : Surf. & Coat. Tech., **201** (2007) 7194.
 7. J. Tsujino, K. Tsuda and I. Yamazaki : Inter. Conf. Euro. Ceramic Soc., (2008) 1179.
 8. H. Holzschuh : Thin solid films, **469/470** (2004) 92.
 9. M. Stoiber, S. Perlot and C. Mitterer : Surf. & Coat. Tech., **177/178** (2004) 348.
 10. T. Ohsaki, M. Yoshida, Y. Fukube and K. Nakamura, Thin Solid Films **45** (1977) 563.
 11. J. A. Thornton, Z. Metallkde, **75** (1984) 847.
 12. 吉田豊彦 : 表面處理技術總覽 (1987) 973.