

금속원소 도핑된 전도성 카본 박막의 미세구조에 관한 연구 The microstructure of metal doped conductive carbon coatings

명현식, 이재욱*, 이정용*, 한전건

성균관대학교 플라즈마 응용 표면기술 연구센터

*한국과학기술원 재료공학과 전자현미경 연구실

1. 서론

다이아몬드상 카본박막은 높은 경도 및 탄성계수, 낮은 마찰계수, 우수한 화학적 안정성, 높은 전기비저항 및 미려한 표면조도 등의 우수한 특성으로 인해 전세계적으로 많은 연구들이 진행되어 오고 있다. 일반적으로 이러한 다이아몬드상 카본 박막은 박막 내 흑연의 특성을 나타내는 sp^2 결합과 다이아몬드의 특성을 나타내는 sp^3 결합이 혼재하며 주로 높은 sp^3 결합을 지니는 비정질 구조로 알려져 있다. 따라서 이러한 구조적 특성으로 인해 다이아몬드상 카본 박막은 높은 경도, 우수한 윤활성 및 전기절연성을 나타낸다. 그러나 최근 90% 이상의 높은 sp^2 결합구조로 이루어져 있음에도 불구하고 우수한 경도 및 윤활 특성을 나타내며, 기존 다이아몬드상 카본막의 절연특성과 상반되는 매우 낮은 전기 비저항을 나타내는 고경도 전도성 카본 박막에 관한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 일반적으로 높은 sp^2 결합구조로 구성된 다이아몬드상 카본 박막의 미세구조는 비정질 구조로 알려져 있으며, 박막 합성 후에 500°C 이상의 열처리 공정에 의해서 일부 흑연상으로의 결정화가 진행되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구센터에서는 선행연구에서 마그네트론 스퍼터링 방법을 통해 높은 sp^2 결합 비율을 지님과 동시에 비정질 카본 기지위에 약 10nm 정도 크기의 나노 클러스터를 함유하고 있는 고전도성 나노구조 카본막을 합성하고, 그 전도 메커니즘을 규명하였다.

본 연구에서는 이러한 고전도성 나노구조 카본막의 결정화를 더욱 촉진하고, 전기전도성을 향상시키기 위해 미량의 금속원소를 도핑하고자 하였다. 일반적으로 금속함유 카본막의 연구는 경도 및 윤활성 향상의 관점에서 오래전부터 지속적인 연구가 수행되어 왔으나, 전기적 특성의 관점에서 수행된 연구는 전무하며 도핑량도 미량이 아닌 10at% 이상의 함량에서 연구가 진행되어 왔다. 이에 따라 본 연구에서는 카본과의 화합물을 형성하는 대표적 물질인 Ti과 화합물을 형성하지 않는 Au, 이렇게 두가지 종류의 금속원소를 미량 첨가하여 고전도성 카본막을 합성하였으며, 각각의 첨가원소에 따른 미세구조 변화를 초고전압 투과전자현미경을 통해 자세히 관찰·분석하고 이를 통해 그 상전이 메커니즘을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

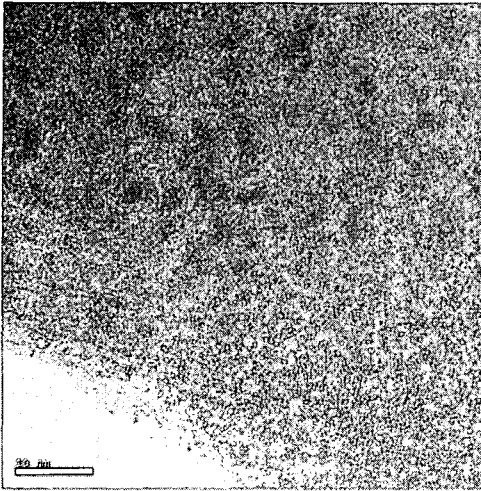
본 연구에서는 스퍼터링법 중에서 Closed-Field UnBalanced Magnetron Sputtering (CFUBM) 법을 이용하여 금속원소 박막을 합성하였으며 금속원소 종류에 따라 코팅막 구조 변화를 관찰하였다. 타겟은 99.999%의 순도를 갖는 고상 카본 타겟과 Ti, Au 두 가지 종류의 금속 타겟을 사용하였으며 카본의 타겟 파워는 $30\text{W}/\text{cm}^2$ 로 고정하였고 금속원소의 타겟 파워는 $0\sim 5\text{W}/\text{cm}^2$ 로 가변시켜 실험을 수행하였다. 이렇게 합성된 막의 미세구조 변화를 초고전압 투과전자현미경을 통해 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

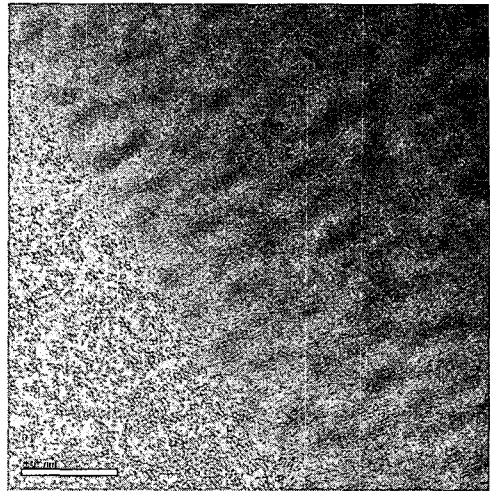
금속원소 첨가에 따라 합성된 카본 코팅막의 미세구조를 초고전압 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였다. (그림 1) 금속원소를 첨가하지 않았을 경우, 수 nm 크기의 그라파이트 나노 클러스터가 비정질 카본 기지 위에 불규칙적으로 분포되어 있음이 관찰되었다. 그러나 Ti를 첨가한 경우, 이러한 나노 클러스터가 상호 결집을 이루면서 일정한 방향으로 주상정 조직을 형성하고 있음이 관찰되었다. 이는 박막의 결정성 증가를 의미하는 것으로 미량 첨가된 Ti가 완전한 Ti-C 화합물을 형성하기 전에 카본 원자와 반응하여 결정성을 증가시켜주는 seed로 작용하였기 때문이라 판단되며, 이러한 Ti seed에 의해 카본의 결정성장이 이루어진 것으로 사료된다. 그러나 Au를 미량 첨가한 경우, 금속원소를 첨가하지 않은 카본막의 단면 조직과 유사한 형태의 미세구조가 나타났다. 이는 카본과 화학적 반응을 일으키지 않는 Au가 카본막 내에 독립적으로 존재하며 카본과의 어떠한 상호 결합도 발생시키지 않아 카본의 결정성장에 어떠한 역할도 하지 않은 것이라 판단되며, 본 결과로부터 첨가되는 원소의 종류에 따라 카본의 결정 성장 거동이 변화됨을 예측할 수 있다.

References

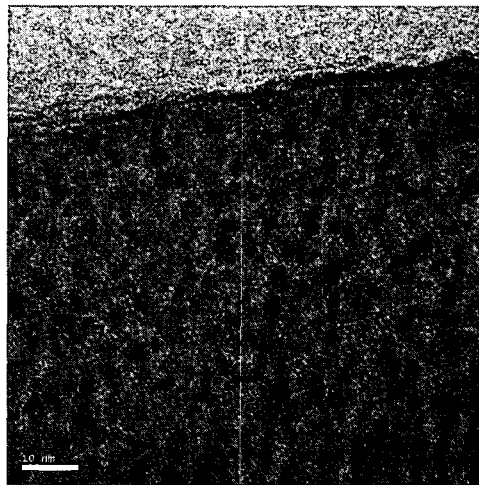
- [1] 8. V. Kulikovskiy, P. Bohac, F. Franc, A. Deineka, V. Vorlicek, L. Jastrabik, *Diamond Relat. Mater.*, 10 (2001) 1076-1081
- [2] F. C. Marques, R. G. Lacerda, M. M. de Lima Jr, J. Vilcarromero, *Thin Solid Films*, 343-344 (1999) 222-225
- [3] R. G. Lacerda, V. Stolojan, D.C. Cox, S. R. P. Silva, F. C. Marques, *Diamond Relat. Mater.*, 11 (2002) 980-984



(a)



(b)



(c)

그림 1. 금속원소 첨가에 따른 박막 미세구조 변화: (a) pure nc-C, (b) nc-C with 2.5 at%Ti, (c) nc-C with at%Au.