

MEMS 적용을 위한 비정질 상 탄소박막의 나노 스케일 마찰력 특성연구

고명균 (한양대학교 연구원), 박종완(한양대학교 교수)

A study on nano-scale friction of hydrogenated amorphous carbon for application in MEMS

Myoung-G.yun Ko, Jong -Wan Park (Dept. of Nano-structure Semiconductor Engineering, HYU)

ABSTRACT

The film is prepared by electron cyclotron resonance chemical vapor deposition (ECRCVD) employing CH_4 and H_2 gases. It is deposited by the control of microwave plasma power, gas flow ratio, deposition pressure, and In-situ thermal treatment temperature. The structure of a-C:H (hydrogenated amorphous carbon) thin film is analysed by FT-IR spectroscopy. The fraction sp^3 versus sp^2 bonding is very important to clear up the surface and interface of a-C:H film properties such as nano-scale friction behavior. The sp^3 versus sp^2 bonding of a-C:H thin film is dependent on the deposition conditions, therefore, nano-scale friction behavior is dependent on the deposition conditions.

Key Words : ECRCVD(전자기공명 화학적 기상증착), Nano-scale friction (나노 크기 마찰력), a-C:H (비정질 상 탄소), MEMS(미소기계장치)

1. 서론

최근 반도체 기술을 이용하여 나노 스케일의 소자 구현 기술을 이룩하고자 하는 노력이 진행되어 왔으며 특히 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 혹은 NEMS (Nano Electro Mechanical Systems) 라고 불리는 미소 전자 기계시스템과 자기 저장장치 그리고 다른 산업장비에 사용되는 마이크로-나노 구조물의 경계에서 일어나는 현상 중 하나인 나노 스케일 마찰력 특성에 많은 연구활동을 기울이고 있다[1-2]. 마찰 특성은 상대접촉 운동을 하는 두 물체 사이에서 상호적으로 일어나는 현상이며, 여기에는 크게 마찰, 마멸, 윤활현상으로 나뉘게 된다[3]. 구조물의 미세화에 의해 이러한 마찰특성은 나노 크기를 갖는 힘에 대한 연구로 발전하게 되었으며, 이러한 연구는 고체 표면 분석 장비의 발전과 함께 더욱 활발해져 왔다. 이러한 연구 결과, 고체 표면의 특성에 따라 마찰특성은 달라지게 되며 표면의 거칠기와 오염물질 그리고, 표면의 기체흡착이 마찰특성을 좌우하게 된다는 것을 밝혀낼 수 있었다. MEMS 라고 불리는 구동 기기는 아주 가볍고, 하중 또한 매우 작은 힘을 받는 상태에서 작동하기 때문에 나노 크기의 요소 부품

에 대한 마찰과 마멸 특성은 초 저 마찰 및 무 마멸의 운동 상태를 가지게 된다. 그렇기 때문에 미소단위의 소자의 구현에서 미소단위의 마찰력이 가장 문제화 되고 있다[4]. 미소적 단위에서의 마찰력 저하를 위해 탄소계열의 고체 윤활박막이 좋은 재료로 부각되고 있으며, 그 이유는 이러한 박막이 지니는 독특한 특성에 있다. 화학적 안정성, 광학 투과성, 좋은 열적 안정성, 그리고 높은 기계적 강도를 지니고, 이러한 비정질 상 탄소 박막의 표면 구조분석을 통해 표면의 수소의 거동에 따른 구조 변화와 마찰력 특성의 변화를 관찰함으로써 나노 스케일 마찰력 특성을 밝힐 수 있게 되었다.

2. 실험방법

2.1 a-C:H 박막의 증착

플라즈마 챔버와 반응 챔버의 두 개의 챔버 구성으로 이루어진 ECRCVD 장치를 사용하여 수소함량이 풍부한 비정질 상 카본박막을 증착하였다. 증착 조건으로는 CH_4 과 H_2 가스를 사용하여 7 에서 70mTorr 까지의 다양한 공정압력조건에서 증착을 실시하였으며 플라즈마 변수로써는 마이크로웨이브

과워 가스유량을 달리한 실험을 실시하였다. 가스의 유량의 증가는 공정압력을 증가시켰으며, 증착 온도는 상온(Room temperature)분위기로 하였다. 플라즈마 가스 및 활성화 가스로써 H₂ 가스를 사용하였으며, 탄소의 소스 가스로써 CH₄ 가스를 사용하였다. 그 유량 비는 1:2 를 유지하였고 기판은 실리콘 웨이퍼 p 형 (100)기판을 사용하였다. Fig. 1 은 ECRCVD 의 장치의 단면도를 나타내고 있다.

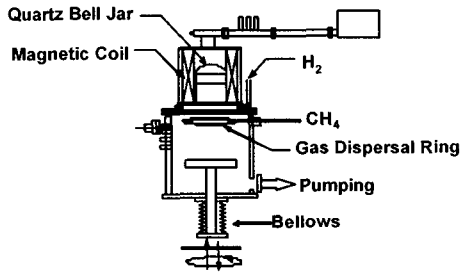


Fig. 1 Schematic diagram of ECRCVD system

2.2 분석방법

막의 표면 구조를 관찰하기 위해서 Fourier transform infrared (FT-IR) Spectroscopy 와 Rutherford back-scattering spectrometer (RBS) 의 시뮬레이션 방법을 이용하여 a-C:H 박막내의 탄소와 수소의 결합구조와 탄소 수소의 함량비를 각각 측정하였으며, 나노 스케일 마찰력 특성은 Atomic force microscopy(AFM)를 사용하여 AFM 팁에 0.1, 0.5, 1nN 의 다양한 힘의 하중을 가하여 표면에서의 원자단위의 계면 특성을 관찰하였다.

표면의 구조분석은 sp³ 과 sp² 함량을 구하여 박막 내의 탄소와 수소의 결합상태를 확인하여 박막 표면의 구조를 예상할 수 있었으며, 탄소와 수소의 함량비를 통해 탄소의 거동을 알 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 나노 스케일 마찰특성

나노 스케일 마찰특성은 마찰에서의 최고점과 지형분포의 최고점에서의 상호작용 포텐셜에 대해 Fourier 확장을 이용하여 원자 스케일에서

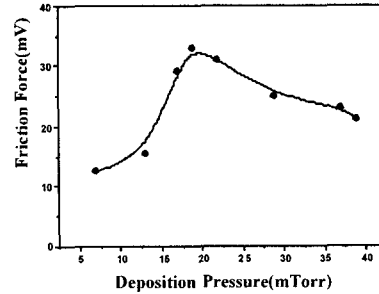


Fig. 2 Lateral force of a-C:H films with the various deposition pressure conditions

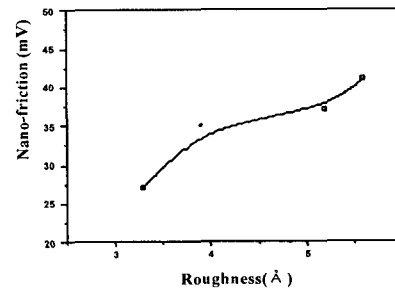


Fig. 3 Lateral force according to roughness of a-C:H films

LFM(Lateral force microscopy)의 cantilever tip 과 a-C:H 박막 사이에서 일어나는 원자상호간의 힘을 계산하여 원자 스케일에서 측면력의 변화는 수직과 측면방향에서의 원자상호간의 힘 변화의 관찰을 통해서 설명되어질 수 있다.

Fig 2. 는 증착 압력에 따른 나노 스케일 마찰력의 변화를 나타내오게 되는데 cantilever tip 의 물질은 SiN 을 사용하였으며 공정압력 20mTorr 부근에서 가장 높은 마찰특성을 보였으며 공정압력이 낮은 7mTorr 에서 가장 낮은 값을 얻을 수 있었다.

낮은 공정압력에서 활성화 된 탄소와 수소의 양이 높은 공정압력에 비해 적기 때문에 충분히 탄소의 공유결합이 충분히 이루어져 sp³ 결합이 이루어졌기 때문에 표면의 안정화와 함께 막의 응착력 또한 좋아진다는 것을 알 수 있다. 하지만, 수소의 역할은 단순히 메탄가스의 분해이외에도 공유결합을 하게끔 하는 역할을 하기 때문에 반드시 공유결합의 양(sp³/sp²)만으로 표면의 안정화가 일어난다고는 할 수 없을 것이다. 그러므로 접합면에서 이런 마찰력의 변화는 표면의 수소와 산소의 함량

그리고 박막내의 구조에 의해 변화를 나타내고 있음을 알 수 있고 이러한 박막내의 구조 변화는 증착 조건에 따라 달라지게 된다. 이러한 모든 변수가 나노 스케일 마찰력의 큰 요인이 되는 것이다. Fig. 3 을 보면 나노 스케일 마찰력과 표면의 거칠기와의 관계는 표면 거칠기가 커질수록 나노 스케일 마찰특성은 점차 커지는 형태를 보이고 있다. 그러므로 증착 압력과 박막의 표면 거칠기가 나노 스케일 마찰 특성에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

3.2 구조

막의 표면의 거칠기 및 형상을 결정짓는 요소 중에서 가장 결정적인 요인인 막의 구조는 탄소-수소의 결합 구도에 의해 결정되는데, 이는 FT-IR 의 피크의 각 파장에 따른 면적은 탄소와 수소의 결합 구도를 나타내게 되고 이것의 함량비가 곧 비정질 상 수소화 탄소의 구조를 나타내게 되는 것이다. Fig. 4 에서 나타내는 것은 증착 압력에 따른 각각의 탄소-수소의 결합 구도의 변화를 나타내고 있다. RBS 결과 수소함량은 65% 이상을 포함하고 있었다. 2800~2950 wavenumber 피크는 sp^3 의 결합구도를 가지고 2950~3000 wavenumber 피크는 sp^2 의 결합구도를 가지게 된다. 이는 sp^3 의 공유결합과 sp^2 의 탄소결합을 모두 가지고 있게 되고 이러한 특성으로 인해서 비정질 상 수소화 탄소는 다이아몬드 상 탄소라 불리기도 하며, 수소의 함량에 따라 폴리머 상 탄소라고 불리기도 한다. 증착 압력이 높아질수록 탄소상(sp^2)구도가 함량이 더욱 높아진 것을 Table 1 에서 볼 수 있으며 이는 탄소상 구도가 높아질수록 다이아몬드 상이 많이 형성된다는 것을 알 수 있다. 하지만, 이러한 구도의 함량과 반드시 표면 거칠기와 일치한다는 사실은 얻을 수가 없었으나, 어느 정도의 거칠기와도 비례한다는 것을 얻을 수 있었다. Table 2 에서는 하중에 따른 나노 스케일 마찰력 변화를 나타내고 있다.

4. 결론

비정질 수소화 박막의 원자 스케일의 변화는 표면에서의 변화가 가장 중요한 요인이 되며 이 표면의 변화는 증착 조건에 따라 다른 양상을 보임을 관찰 할 수 있었다. 비정질상의 구조는 아주 특이한 형태를 지니고 있으므로 이러한 구조를 이해하고 제어하는 것이 이러한 나노/마이크로 트라이볼로지의 특성을 제어하는 것에 가장 많은 영향을 끼치게 되는 것이다. ECRCVD 가 가지는 증착 시 높은 에너지에 의한

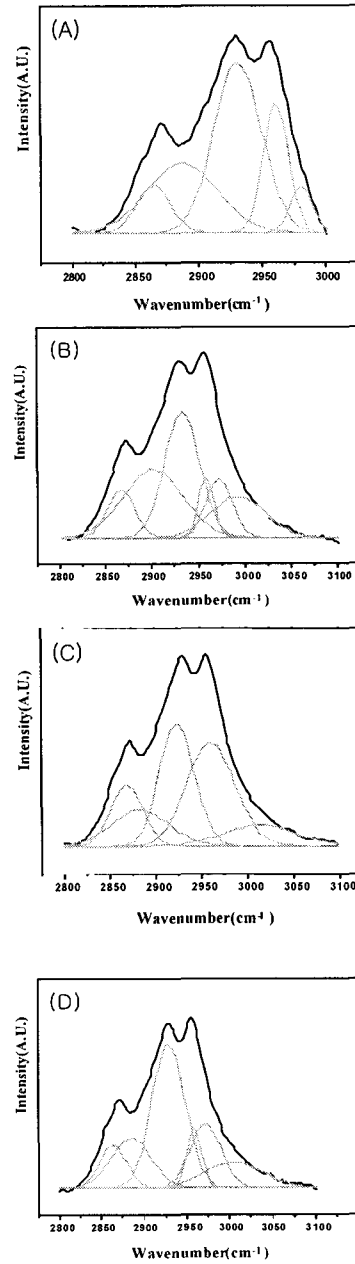


Fig. 4 FT-IR peak deconvolutions of C-H stretching regions for (A) 7mTorr, (B) 15mTorr, (C) 30mTorr and (D) 40mTorr

가스활성화가 박막의 증착 시 박막내의 구조에 영향을 주게 되어 초기 표면에서 많은 양의 수소를 포함하여 다른 비정질상 탄소와는 달리 많은 양의

수소를 가지게 되는 것이다.

이는 표면과 막내의 변화를 가져오게 되었고 이는 다시 마찰력특성에 영향을 주게 되었다. 마찰력 특성향상을 위해서 표면의 거칠기를 낮추는 것이 가장 중요한 요인임을 AFM 에서 표면 거칠기에 따른 LFM 변화를 보면 쉽게 알 수 있다. 그러나, 막내에 탄소와 수소의 거동을 제어하는 것은 비정질 상에서 가장 어려운 점이다. 비정질 상이 형성되는 것 자체가 아주 미묘한 에너지에 의해 결정이 되고 이러한 비정질 상태 내에서의 많은 공정 변수들을 일괄된 하나의 메커니즘으로 설명되어지기 어렵다는 것이다. 하지만, 막내의 탄소와 수소의 거동에 대한 표면 거칠기의 거동은 나노 스케일 마찰특성을 알 수 있게 되는 것이다.

ECRCVD 로 증착된 a-C:H 박막의 원자 스케일의 변화는 표면에서의 변화가 가장 중요한 요인이 되며 이 표면의 변화는 증착 조건에 따라 다른 양상을 보임을 관찰 할 수 있었다. 그러므로, 나노 스케일 마찰력 특성향상을 위해서는 표면의 거칠기를 낮추는 것 뿐만 아니라 막내에 탄소와 수소의 거동을 제어하는 것이 중요함을 알 수 있다.

참고문헌

1. A. Grill, *Diamond Relat. Mater.* **8**, pp428, 1999
2. Arup Gangopadhyay, *Tribology Lett.* **5**, pp25, 1998
3. B. Bhushan "Handbook of Micro/Nano Tribology" 2nd Edition .Chap. 4
4. B. Bhushan "Handbook of Micro/Nano Tribology" 2nd Edition .Chap. 14

Peak region contribution (%)				
	(A) 7	(B) 15	(C) 30	(D) 40
3085	0	0	0	0
3035	0	14	10	16
2990-3000	5	10	20	17
2975	17	7	0	8
2955	43	32	15	0
2920	0	0	14	37
2920	0	0	0	0
2885	27	20	11	16
2855	8	8	11	16
SP ₁ / SP ₂	2.72	1.94	1.7	1.68

Table 1 Peak region contribution for (A)7mTorr, (B) 15mTorr, (C) 30mTorr and (D) 40mTorr

Depn. Pressure(mTorr)	Lateral Force (mV)		
	(A) 0.1 nN	(B) 0.5 nN	(C) 0.5 nN
40	27.80	35.07	54.19
38	24.75	32.46	38.92
22	23.03	32.34	67.45
19	29.27	38.37	85.60
17	29.13	42.33	60.58
13	26.07	38.70	82.93
7	25.34	44.22	90.11

Table 2 Lateral force(mV) for various load forces