1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7.19-21

레이저 공정변수 변화에 따른 다이아몬드상 카본박막의 전계방출 특성분석

심경석, 이상렬
연세대학교 전기공학과

Investigation on field emission properties of diamond-like carbon thin film by variation of laser processing parameters

Kyung-Suk Shim, Sang Yeol Lee
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract - In order to investigate the properties of diamond-like carbon(DLC) thin films depending on the deposition parameters, DLC thin films were systematically fabricated by pulsed laser deposition(PLD). DLC thin films have been shown advantageous field emission properties due to a negative electron affinity(NEA) and a low work function. At the atomic level, DLC is referred to the group of carbon materials with strong chemical bonding composition of sp^2 and sp^3 arrangements of atoms incorporated with an amorphous structure. The experiment was performed at substrate temperature in the range of room temperature to 600℃. The laser energy densiy was used to be in the range of 6 J/cm^2 to 20 J/cm^2. SEM, Raman, PL, XPS and field emission characteristics were used to investigate the DLC thin films.

1. 서 론

다이아몬드상 카본 박막(Diamond Like Carbon, DLC)은 탁월한 역학적, 광학적, 열적, 전기적 특성들로 인하여 여러 분야에서 폭넓게 응용가능성이 많은 신소재로 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 특히, 다이아몬드상 카본 박막이 가지고 있는 음의 전자친화도(Negative Electron Affinity - NEA)와 내마모성 등의 특성은 여러 분야에 응용 가능성을 제시하고 있다. 음의 전자 친화도는 다이아몬드상 카본박막을 field emission display(FED)의 응용에 관심을 가지게 한다.[2] 다이아몬드상 카본 박막이 가지고 있는 음의 전자 친화도는 기존의 전계방출소자에서 필요한 팁 공정이 필요없는 평판에서 적은 구동 전압과 높은 전류 밀도를 구현할 수 있는 장점이 있다.

전계 방출은 팁의 구조와 물성적인 측면에 의해 지배받게 되는데, 다이아몬드상 카본 박막은 음의 전자 친화도로 인해 팁의 코팅 재료나 평면 팁의 물질로 상당히 각광받고 있는 물질이다. 다이아몬드상 카본 박막에 있어서 전계 방출은 원자 결합 구조에 의해 결정된다. 탄소 결합은 다이아몬드 결합 구조인 sp^3 결합과 그래파이트 구조인 sp^2 결합으로 나누어 질 수 있는데, 다이아몬드상 카본 박막은 이러한 sp^3 결합과 sp^2 결합이 공존하는 구조를 가지고 있다.[3][4][5] 다이아몬드상 카본박막은 공정조건에 따라 그 특성에 중요한 역할을 하는 sp^3/sp^2의 비가 변화한다.

본 연구에서는 그래파이트 타겟으로부터 펄스 레이저를 통해 발생한 탄소 플라즈마를 이용하여 다이아몬드상 카본박막을 증착한 후 증착조건에 따른 전계방출 특성을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

본 실험에서 사용된 증착법은 최근 신물질 연구에 각광받고 펄스 레이저 증착법을 사용하였다.[6] 실험에 사용한 시스템의 개략도는 그림 1과 같다. 본 실험에 사용된 PLD 시스템은 터보펌프를 사용하여 10^{-6} Torr 까지 초기 진공을 만들 수 있으며, 기판홀더를 이용하여 기판과 타겟간의 거리를 조정할 수 있다. 기판온도를 조절하

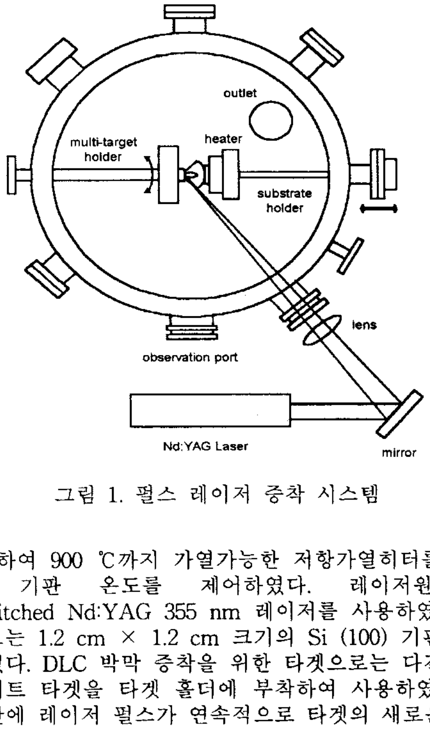

그림 1. 펄스 레이저 증착 시스템

기 위하여 900 ℃까지 가열가능한 저항가열히터를 사용하여 기판 온도를 제어하였다. 레이저원으로는 Q-switched Nd:YAG 355 nm 레이저를 사용하였다. 기판으로는 1.2 cm × 1.2 cm 크기의 Si (100) 기판을 사용하였다. DLC 박막 증착을 위한 타겟으로는 다결정 그래파이트 타겟을 타겟 홀더에 부착하여 사용하였다. 증착동안에 레이저 펄스가 연속적으로 타겟의 새로운 면에 조사되도록 하기 위하여 타겟 홀더를 분당 약 5 ~ 7 회전하게 세팅하였다. 기판과 타겟과의 거리는 3 cm로 고정시킨 상태에서 증착하였다. 위와 같은 실험 조건하에서 레이저 에너지 밀도를 6 J/cm^2에서 20 J/cm^2까지 2 J/cm^2단위로 변화시켜 주었으며, 기판 온도를 상온에서 600 ℃까지 변화시켜 주면서 실험을 하였다. 증착된 박막을 SEM, Raman, PL, XPS, 전계방출 측정장치 등을 이용하여 특성을 분석하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

그림 2는 레이저 에너지 밀도가 12 J/cm^2 일 때 기판온도를 변화시켜 증착한 다이아몬드상 카본박막의 Raman spectrum을 나타낸 것이다. Raman spectrum에서 다이아몬드 상을 나타내는 peak은 1332 cm^{-1}에서 매

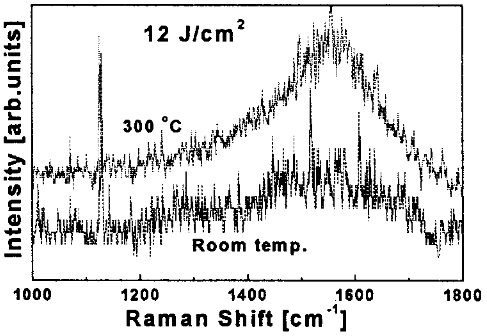

그림 2. 온도변화에 따른 Raman spectrum

우 강하게 나타나고, 그래파이트 상을 나타내는 peak은 D-peak으로 불리우는 1350 cm^{-1}와 G-peak으로 불리우는 1580 cm^{-1}으로 두 개의 peak이 나타난다. 다이아몬드상 카본박막을 나타내는 Raman peak은 다이아몬드 peak과 그래파이트 peak이 합성되어 1560 cm^{-1}에서 완만한 하나의 peak이 나타난다.[6] 그림 2에서 볼 수 있듯이 상온에서는 그래파이트상을 나타내지만 300℃에서는 다이아몬드상 카본상태의 peak이 나타난다. 하지만 온도

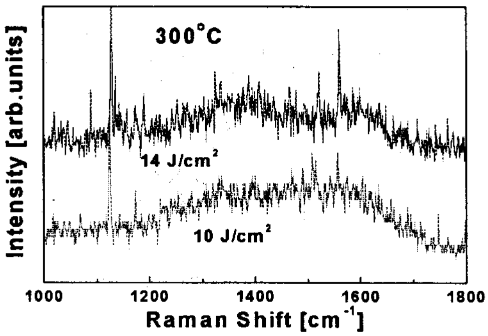

그림 3. 레이저 에너지 밀도 변화에 따른 Raman spectrum

가 증가할수록 G-peak이 증가함으로써 탄소원자의 sp^2 결합이 증가한다는 것을 관찰하였다. 그림 3은 레이저 에너지 밀도 변화에 따른 Raman 변화를 관찰 한 것이다. 에너지 밀도가 10 J/cm^2 일 때는 다이아몬드상 카본 특성을 나타내지만, 에너지 밀도가 증가 할수록 급격한 sp^2 결합의 증가로 인한 명확한 그래파이트 peak이 관찰되었다. 그림 2와 3에서 보면, 기판온도와 레이저 에너지 밀도가 증가하면 다이아몬드상 카본박막을 얻을수 있지만 어느 어느 일정 점 이상을 넘어서면 박막의 조성은 sp^2 결합이 급격하게 증가하는 그래파이트로의 변환이 일어난 다는 것을 알 수 있다. 제작되어진 박막의 optical bandgap이 레이저 에너지 밀도 및 증탁 온도와의 관계를 알아보기 위해 PL(Photoluminescene)분석을 행하였다. 그림 4와 5는 각각 기판온도와 레이저 에너지 밀도를 변화 시키며 제작한 다이아몬드상 카본 박막의 optical bandgap 변화이다. 그래파이트와 다이아몬드의 경우 optical bandgap은 각각 0 eV 와 5 eV로 알려져 있다. PL 분석결과 기판온도와 레이저 에너지 밀도가 증

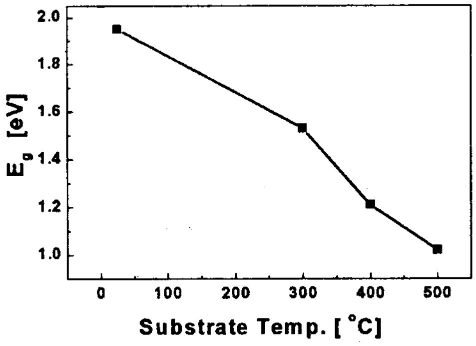

그림 4. 기판온도 변화에 따른 다이아몬드상 카본 박막의 optical bandgap 변화

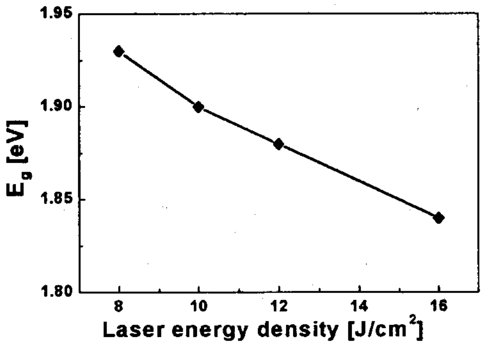

그림 5. 레이저 에너지 밀도에 따른 다이아몬드상 카본 박막의 optical bandgap 변화

가함에 따라 optical bandgap은 감소하는 경향을 보이며, 이는 너무 강한 증착 에너지는 박막 내의 sp^3 결합을 sp^2 결합으로 변화시킨다는 Raman spectrum의 결과를 뒷받침 해준다. 그림 6에서 기판온도가 300℃ 이고 레이저 에너지 밀도가 12 J/cm^{2}로 최적화 된 다이아몬드상 카본박막 증착조건에서의 전계방출 특성을 나타내었다. 전계방출이 시작되는 turn-on voltage E_{th}=5.03 V/㎛ 가

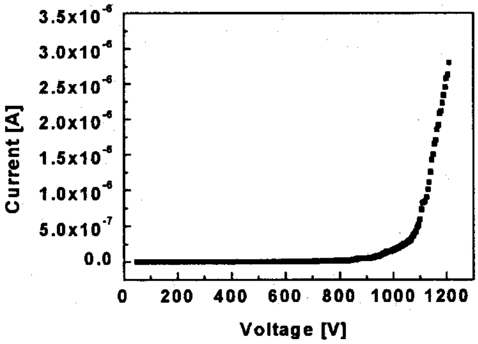

그림 6. 300℃, 12 J/cm^2 에서의 전계방출 특성

도출 되었다. 여기에서 얻어진 turn-on voltage 값은 FED의 electron emitter에 적용 될 수 있는 우수한 값이며, 팁이 없는 평판에서 FED의 구현을 실현할 수 있는 하나의 연구 성과라고 할 수 있다.

3. 결 론

다이아몬드상 카본 박막을 펄스 레이저 증착법으로 제작하였다. Raman과 PL 분석을 통해 기판온도와 레이저 에너지 밀도가 일정점 이상으로 높아지면 박막은 sp^2 결합이 급격히 증가하여 그래파이트상이 되는 것을 관찰하였다. 기판온도가 300℃ 이고 레이저 에너지 밀도가 12 J/cm^2 일 때 가장 좋은 전계방출 특성을 얻었으며, 이때의 turn-on voltage는 E_{th}=5.03 V/㎛ 값을 얻었다. 이상의 결과에서 레이저 공정으로 제작된 다이아몬드상 카본 박막은 FED의 응용에 적합한 특성을 가짐을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1997년 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

[참 고 문 헌]

[1] F.Y.Chuang et al, "Effect of morpholgy on electron emission characteristics of pulsed laser deposited diamond-like films", Applied Surface Science, Vol.113/114, pp.259, 1997

[2] Eung Joon Chi et al, "Fabrication of amorphous-carbon-nitride field emitters ", Appl. Phys. Lett., Vol.71(3), pp.324, 1997

[3] A.A. Voevodin et al, "Preparation of amorphous diamond-like carbon by pulsed laser deposition : a critical review", Surface and Coating Technology, Vol. 82, pp.192, 1996

[4] M.A. Capano et al, "Characterization of amorphous carbon thin films", J. Vac. Sci. Technol. ,Vol. 14(2), pp.431, 1996

[5] A. Wissitsora-at et al, "A study of diamond field emission using micro-patterned monolithic diamond tips with different sp^2 contents", Appl. Phys. Lett., Vol. 71(23), pp.3394, 1997

[6] J. S. Lee et al, "Electron field emission characteristics of planar diamond film array synthesized by chemical vapor deposition process", Appl. Phys. Lett., Vol. 71(4), p.554, 1997