

다이아몬드상 카본필름의 탄성률(E)과 포아송비(ν)의 독립적 측정

조성진*, 이광렬*, 은광용*, 한준희*, 고대홍†

- * 한국과학기술연구원 박막기술연구센터
- + 한국표준과학연구원 소재특성평가센터
- # 연세대학교 세라믹공학과

서론

다이아몬드상 카본(diamond-like carbon, DLC) 필름은 밀도에 대한 높은 탄성률을 갖는 박막 소재로써 높은 acoustic wave velocity를 요구하는 응용에 일부 적용되고 있다. 보다 응용의 폭을 넓히기 위해서는 정확한 탄성률 평가가 요구되고 있으나, 박막의 탄성률은 일반적으로 bulk상과 다른 양상을 나타내고 있어 bulk상의 탄성률을 적용할 수 없다. 더구나, DLC 필름은 증착조건이 광범위하게 변화하기 때문에 각 증착조건에 따른 탄성률 평가는 중요 관심사가 되고 있다. 지금까지 박막의 탄성률 측정에는 nano-indentation, Brillouin light scattering measurement, ultrasonic surface wave measurement, bulge test, vibration membrane method 가 이용되어 왔다. 하지만, 이러한 방법들은 고가의 장비나 난해한 해석기술 그리고, 고도의 micro-machining 기술이 요구된다.

본 연구에서는 DLC 필름의 빈약한 접착력의 주요원인 중에 하나인 높은 압축잔류응력과 Si 기판의 이방식각기술(anisotropic Si etching technique)을 이용하여 Si 기판위에 증착된 DLC 필름의 biaxial modulus($E/(1-\nu)$)를 측정하는 새로운 방법을 제시하였다. 또한, 이 결과를 nano-indentation의 plane strain modulus($E/(1-\nu^2)$) 측정 결과와 결합하여 DLC 필름의 포아송비(ν)와 탄성률(E)을 독립적으로 평가하였다.

실험방법

DLC 필름은 (100) Si 기판위에 r.f.-PACVD (radio frequency plasma assisted CVD) 법으로 합성하였으며, 합성시 bias 전압은 -100~-550 V 범위에서 변화시켰다. Nano-indentation은 필름의 plane strain modulus($E/(1-\nu^2)$)를 측정하는데 사용되었다. 필름의 잔류응력은 laser reflection method에 의해 측정되었다.

DLC 필름이 증착된 Si (100) 기판위에 <011>방향을 따라 조개어진 시편을 Si 기판의 이방식각기술과 DLC 필름의 화학적 안정성을 이용하여 Si 기판으로부터 relief된 필름을 얻을 수 있었다. relief된 필름의 단면은 싸인곡선 형태로 관찰되었으며, 싸인곡선의 주기와 폭은 주사전자현미경에 의해 측정하였다.

결과 및 고찰

Biaxial modulus 측정($E/(1-\nu)$)에는 비정질이나 다결정 박막에서의 응력(σ)-변형률(ϵ) 관계 식(식 (1))을 응용하였다.

$$\sigma = \frac{E}{1-\nu} \epsilon \quad (1)$$

Laser reflection method에 의해 얻어진 잔류응력(σ)과 Si 기판으로부터 relief된 필름의 썩인 곡선으로부터 측정된 변형률(ϵ)을 식 (1)에 적용하여 biaxial modulus($E/(1-\nu)$)를 구할 수 있었다.

Laser reflection method와 nano-indentation에 의해 각각 측정된 잔류응력과 plane strain modulus($E/(1-\nu^2)$) 그리고 Si 기판의 이방식각기술에 의해 얻어진 biaxial modulus ($E/(1-\nu)$)는 모두 음의 bias 전압 변화에 따라 선형 비례하였다. 이것은 음의 bias 전압 증가에 따라 플라즈마 이온에너지가 증가되면서 나타나는 현상으로 이해되고 있다. 표 1은 음의 bias 전압 변화에 따른 독립적인 포아송비(ν)와 탄성률(E)의 결과로 biaxial modulus($E/(1-\nu)$)와 plane strain modulus($E/(1-\nu^2)$)의 비로부터 계산되었다. 음의 bias 전압 증가에 따라 탄성률(E)은 16~166 GPa 까지 증가하였으나, 포아송비(ν)의 경우 soft한 폴리머 필름이 형성되는 -400V 미만의 영역에서 음의 값을 나타내었다. 이것은 이들 필름의 변형이 소성영역까지 진행되어진 결과로 이해되었다. 즉, 높은 잔류응력이 작용하는 soft한 폴리머 필름에서는 Si 기판의 이방식각기술에 의한 biaxial modulus 측정방법의 적용이 부적합 하였다.

음의 bias 전압 (V)	탄성률, E (GPa)	포아송 비, ν
100	16±8	-0.47±0.2
250	70±13	-0.20±0.2
400	94±6	0.21±0.1
550	128±21	0.22±0.2

표 1. r.f.-PACVD 법에 의해 증착된 DLC 필름의 탄성률(E)과 포아송비(ν).

결론

DLC 필름의 화학적 안정성과 Si 이방식각기술을 이용하여 DLC 필름의 biaxial modulus를 측정할 수 있었으며, nano-indentation에서 측정된 plane strain modulus과의 연립 계산에 의해 독립적인 탄성률(E)과 포아송 비(ν)를 얻을 수 있었다. 그러나, 높은 압축응력을 받는 soft한 폴리머 필름에서는 적용할 수 없었다.