

P-006

### Comparative Study on Microwave Probes for Plasma Density Measurement by FDTD Simulations

D. W. Kim<sup>1,2</sup>, S. J. You<sup>1</sup>, B. K. Na<sup>3</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, H. Y. Chang<sup>3</sup>, W. Y. Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vacuum center, KRISS, <sup>2</sup>Mechanical Engineering, KAIST, <sup>3</sup>Physics, KAIST

In order to measure the absolute plasma density, various probes are proposed and investigated and microwave probes are widely used for its advantages (Insensitivity to thin non-conducting material deposited by processing plasmas, High reliability, Simple process for determination of plasma density, no complicate assumptions and so forth). There are representative microwave probes such as the cutoff probe, the hairpin probe, the impedance probe, the absorption probe and the plasma transmission probe. These probes utilize the microwave interactions with the plasma-sheath and inserted structure (probe), but frequency range used by each probe and specific mechanisms for determining the plasma density for each probe are different. In the recent studies, behaviors of each microwave probe with respect to the plasma parameters of the plasma density, the pressure (the collision frequency), and the sheath width is abundant and reasonably investigated, whereas relative diagnostic characteristics of the probes by a comparative study is insufficient in spite of importance for comprehensive applications of the probes. However, experimental comparative study suffers from spatially different plasma characteristics in the same discharge chamber, a low-reproducibility of ignited plasma for an uncertainty in external discharge parameters (the power, the pressure, the flow rate and so forth), impossibility of independently control of the density, the pressure, and the sheath width as well as expensive and complicate experimental setup. In this paper, various microwave probes are simulated by finite-different time-domain simulation and the error between the input plasma density in FDTD simulations and the measured that by the unique microwave spectrums of each probe is obtained under possible conditions of plasma density, pressure, and sheath width for general low- temperature plasmas. This result shows that the each probe has an optimum applicable plasma condition and reliability of plasma density measurement using the microwave probes can be improved by the complementary use of each probe.

**Keywords:** Plasma diagnostics, FDTD simulation, Microwave probe

P-007

### 이온 에너지 분석을 통한 저손상 그래핀 클리닝 연구

김기석<sup>1</sup>, 민경석<sup>2</sup>, 염근영<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 신소재공학부, <sup>2</sup>삼성전자 S.LSI 사업부 TD 센터 공정개발팀, <sup>3</sup>성균관대학교 나노과학기술원

그래핀은 높은 전기 전도도와 열전도도, 기계적 강도를 가지고 있고 동시에 높은 전자기동도( $200,000 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 특성을 갖는 물질로써 차세대 소재로 각광받고 있다. 하지만 그래핀을 소자에 응용하기 위해서는 전사공정 과 lithography 공정 과정에서 발생하는 PMMA(Poly methyl methacrylate) residue를 완벽하게 제거해야 하는 문제점이 있다. 특히, lithography 공정 중 완벽하게 PMMA residue 가 제거되지 않고 잔류해 있을 경우에 소자의 life time, performance에 악영향을 준다는 보고가 있다. 이와같은 문제를 해결하기 위해 화학적 cleaning, 열처리를 통한 cleaning, 전류 인가에 의한 cleaning과 같은 방법들을 이용하여 그래핀의 PMMA residue를 제거하는 공정들이 보고 되고 있지만, 화학적 cleaning 방법의 경우 chloroform 이라는 독성물질 사용으로 인해 산업적으로 응용이 어렵고, 열처리 방법은 전극 등의 금속이 200°C 이상의 높은 온도에서 장시간 노출될 경우 쉽게 손상을 입으며, 전류 인가에 의한 cleaning 방법은 국부적으로만 효과를 볼 수 있기 때문에 lithography 공정 후 PMMA residue를 효과적으로 제거하기에는 한계를 보이고 있다. 본 연구에서는 Ar을 이용하는 Ion beam 시스템을 통해 beam energy를 제어함으로써 PMMA residue를 효과적으로 제거하는 연구를 진행하였다. 최적화된 플라즈마 발생 조건을 찾기 위해 QMS (Quadrupole Mass Spectrometer)를 이용하여 입사하는 ion energy와 flux 양을 컨트롤 하였고, 250 W에서 최적화된 ion energy distribution 영역이 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 25 Gauss 정도의 electro-magnetic field를 이용하여 Ar의 ion energy를 10 eV 이하로 낮추어 damage를 최소화함으로써 효과적으로 그래핀을 cleaning 할 수 있었다. Cleaning과정에서 ion bombardment에 의해 발생한 damage는 250°C에서 6시간 동안 annealing 공정을 거치면서 회복되는 것을 Raman spectroscopy의 D peak ( $1335 \text{ cm}^{-1}$ ) / G peak ( $1572 \text{ cm}^{-1}$ ) ratio 로 확인할 수 있었고, PMMA residue의 cleaning 여부는 G peak ( $1580 \text{ cm}^{-1}$ )의 blue shift와 2D peak ( $2670 \text{ cm}^{-1}$ )의 red shift를 통해 확인하였다. 그리고 AFM (Atomic Force Microscopy)을 이용하여 cleaning 공정과정에서 RMS roughness가 4.99 nm에서 2.01 nm로 감소하는 것을 관찰하였다. 마지막으로, PMMA residue의 cleaning 정도를 정량적으로 분석하기 위해 XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)를 이용하여 sp<sup>2</sup> C-C bonding이 74.96%에서 87.66%로 증가함을 확인을 할 수 있었다.

**Keywords:** 그래핀, Ion beam, QMS (Quadrupole Mass Spectrometer), AFM (Atomic Force Microscopy), XPS (X-ray Photon Spectroscopy)