

N₂+H₂ ICP 표면처리를 이용한 CVD 그래핀 도핑 연구

이승환^{a*}, 최민섭^a, 임영대^a, 유원종^{a,b,c}

^{a*}성균관대학교 나노과학기술학과, ^b성균관대학교 나노소재기반휴먼인터페이스 융합연구센터,
^c성균관대학교 기계공학부

초 록: 본 연구에서는 반도체 기술의 핵심으로 알려있는 플라즈마 표면 처리 공정을 이용하여 인위적으로 그래핀과 기능기 반응을 통한 도핑효과를 일으켜, 전계효과(Electric Field Effect)를 인가하였을 때 그래핀 내에서 발생하는 Electron & Hole carrier 들의 accumulation & Depletion 효과에 의한 Charge Density 변화를 Graphene Field Effect Transistors (GFETs) 소자의 전기적 특성 변화를 확인하였다. 특히, 그래핀 내 Conduction of electron을 높이기 위하여, N₂+H₂ 가스 조합을 플라즈마 방전 가스로 사용하였으며, Optical Emission Spectroscopy (OES) 및 Langmuir-probe 측정을 통하여 합성가스의 ICP 방전 상태 및 효과를 예측하였다.

1. 서론

그래핀은 탄소를 육각형 벌집모양으로 쌓아 올린 모양을 가진 흑연에서 가장 얇게 한 겹을 떼어낸 것과 같은 나노 크기의 물질로 2차원 평면 형태다. 두께는 0.2nm로 매우 얇고, 전기적·기계적·화학적 특성이 매우 안정적이고 뛰어나기에 현재 사용되는 Si 반도체의 기술적 한계를 극복하기 위하여 많은 그룹에서 활발한 연구가 진행되고 있다.[1] 그 중에서도, 다양한 전자소재 재료로 적용하기 위하여 그래핀 내에서 발생하는 Electron & Hole carrier 들의 Charge Density 변화를 화학적 및 플라즈마 도핑방법을 이용하여 n- 및 p-type 물질로 인위적으로 만드는 도핑연구가 주목되고 있다.

2. 본론

본 연구에서는 Thermal Chemical Vapor Deposition (CVD) 방법으로 합성된 그래핀을 Inductively Coupled Plasma (ICP) 처리를[2] 이용하여 손상을 최소화하고, 플라즈마 활성화도 유지효과를 확인하기 위하여, Langmuir-probe 실험을 통하여 검증하였다. 특히, ICP에서 CCP방전모드 보다 낮은 플라즈마 농도 (8.647E-8cm³), 전위밀도 (0.0179mA/cm²) 와 거의 비슷한 전자온도(1.89eV)가 관찰되었다. 그리고, CVD 그래핀의 실제적인 N-type 도핑효과를 극대화시키기 위하여, 다량의 여가전자(Free-electron) 상태로 전자의 Donor를 활성화하는 -NH 아민기 (Amine- Functional)를 N₂+H₂ 합성가스 조합으로 플라즈마를 발생시켰으며 [3], Optical Emission Spectroscopy (OES) 측정을 통하여 검출된 Photon -counts 양에 따른 -N, -NO, -NH radical의 발생을 확인하였다. 마지막 실험으로, N₂+H₂ ICP 플라즈마 처리 전, 후에 따른 그래핀 내 Charge Density 변화를 확인하기 위하여 그래핀 Field Effect Transistors(GFETs) 소자의 전기적 특성을 확인하였다. CVD 그래핀 FETs 샘플을 ICP N₂+H₂ 표면처리 후 N-type 도핑효과와 비슷한 디락포인트 이동(37.5->22.5, 약 15V_G이동), 디락포인트 근접한 지점 전자 이동도의 증가하는(953->1171cm²/Vs, 약 218cm²/Vs 증가) 결과가 관찰되었다. 이는 탄소와 달리 한 개의 여분의 원자가전자를 가지고 있는 질소원자는 ICP 장치 N₂+H₂ 혼합가스에서 최소한의 이온 폭격에너지로 해리되어 그래핀 샘플 표면을 손상 주지 않고, N 래디칼에 의한 -N, -NH, -NO 결합 흡착반응이 활성화되어 (SP²->SP³) 전도성을 낮추지만 여가전자 제공으로 그래핀 내 Carrier 농도를 변화 시켜 실제적으로 페르미레벨 이동효과를 발생시켰다.

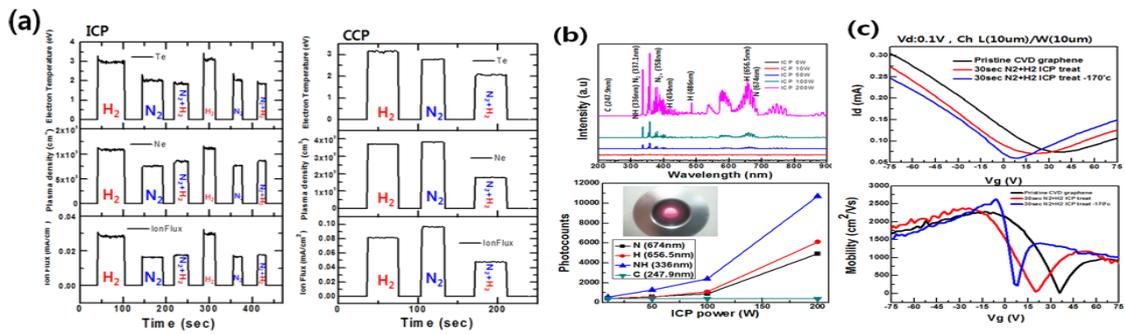


Fig.1. 플라즈마에 따른 Langmuir-probe(a), OES(b), 그래핀 FETs I_D - V_G 그래프와 이동도 변화 그래프(c).

3. 결론

이온폭격의 손상을 최소화 하는 ICP 플라즈마 방전 방식과 N_2+H_2 혼합가스를 이용하여 CVD pristine 그래핀을 N-type 특성으로 도핑 하였다. Langmuir-probe 측정 방법으로 확인된 플라즈마 농도, 전위차, 전자 온도 변화 값으로 ICP 방전의 그래핀 표면 처리 효과를 검증하였고, OES를 통하여 N_2+H_2 혼합가스에서 -NH 아민기 (Amine-Functional) 발생을 확인 하였다. 추가적으로, 그래핀 FETs를 제작하여 Dirac-point 와 이동도 변화를 통하여 도핑 효과를 검증 및 확인하였다.

참고문헌

- [1] K. S. Novoselov, Science,306,5694,(2004)
- [2] Young Dae Lim, ACS Nano,(2012)
- [3] X, Wang, Science,324,(2009)