

# 극초음속 비행체 설계를 위한 저정밀도 유체-열-구조 통합해석 도구 개발

## Development of Low Fidelity Fluid-Thermal-Structural Analysis Tool for Super/Hypersonic Air Vehicle

류동국\* 전형근\* 정상영\* 김상호\* 이재우\* 김만식

Dongguk Ryu Hyunggeun Chun Sang-Young Jung Sangho Kim Jae-Woo Lee

\* 건국대학교

\*\* 국방과학연구소

(발표자 이메일 주소)

### ABSTRACT – 1 칼럼, 200 자 이내로 작성(9 줄 아래로)

For the Super/Hypersonic aircraft design, Structure deformation caused by aerodynamic and thermal load, then aero/thermal analysis is important for super/hypersonic vehicles. In this research, development and verification of low fidelity aerodynamic, thermal analysis tool, for coupling with structure analysis. For aerodynamic analysis, using Taylor-Maccoll equation for conical region, isentropic equation for intake's internal flow and combustor nozzle's flow. For outer flow using Shockwave equation with Prandtl-Meyer expansion wave equation. For thermal analysis, using Van Driest II and Reference Enthalpy method. For Verification, using Computational Fluid Dynamics with 3D euler equation for aerodynamic analysis, 3D Navier-Stokes equation for thermal analysis. Integrated each module with JAVA, MATLAB and SQLite Database. Finally, figure out hypersonic air vehicle's structural design and heat resistant/insulation materials.

Keywords : Super/Hypersonic Vehicle, Adiabatic temperature, Conical flow, Fluid-Thermal-Structural analysis

### 1. 서 론

Hg<sub>1-x</sub>CdxTe(MCT)는 적외선을 감지하는 물질로서 1960년경부터 연구되기 시작했다. MCT는 직접 천이 반도체로써 빛에 대한 감지도가 높아 성능이 우수한 소자를 제작할 수 있다. 또한, 조성비 x 값을 변화하여 감지하고자하는 적외선 대역에 최적인 금지대역(bandgap)을 갖도록 조절할 수 있다[1]. 따라서, 조성비 x=0.3인 MCT는 금지대역이 0.25 eV로써, 3~5 μm 대역의 적외선을 감지하게 되고, x=0.2인 MCT는 금지대역이 0.1 eV로써 8~12 μm 대역의 적외선을 감지하게 된다. 일반적으로 금지대역폭이 작은 x=0.2 MCT를 이용한 소자 제작은 표면이 작은 전하에도 쉽게 축적(accumulation)되거나, 공핍(depletion)되기 때문에 x=0.3 MCT 적외선 감지소자 제작에 비해 훨씬 어려운 것으로 알려져 있다.

### 2. 수소화에 의한 LWIR 소자 제작

본 연구실에서 LWIR MCT 다이오드는 p 기판에 이온주입을 하여 선택적으로 n type으로 바꾸는 공정을 기본으로 하고 있다. 이러한 공정은 접합에 이온주입으로 생긴 손상으로 인해 역방향 터널링 전류가 큰 특성을 보인다. 이런 역방향 터널링 전류성분을 줄이기 위해서 이온주입후 열처리를 하게 되는데, 비록 손상이 적은 영역으로 접합이 이동하여 다이오드의 역방향 특성이 좋아지는 등 다이오드 특성이 전반적으로 향상되기는 하나, 성능지수인 ROA를 근본적으로 증가시키는

기판의 소수 운반자 수명에 변화를 주지는 못한다.

수소화가 수은 빙자리로 도핑된 MCT 기판의 소수 운반자 수명을 늘릴 수 있을 거라 생각되어 도입되었다 [2]. 수소화를 위한 수소 플라즈마 발생 장치로서는 유도 결합 플라즈마(Inductive Coupled Plasma, ICP)가 쓰였는데, 이는 유도 결합 플라즈마 장비는 다른 플라즈마 장비들에 비해 bias가 덜 가해지므로 이온이 기판에 주는 손상이 작다.

이온 주입 후 수소화를 통해 소수전자수명이 증가할 것으로 예상하여 소수 전자 수명을 LBIC (Laser Beam Induced Current)을 이용하여 측정해 보았으나, 변화가 없었다. 한편, 수소화가 기판에 어떤 영향을 끼치는 가를 알아보기 위해서 수소화 후 기판의 differential hall 측정을 해 보았다. 그림 1은 bulk 기판의 전면에 수소화만을 한 후 differential hall 측정을 통하여 기판의 타입과 농도를 짚어방향으로 측정한 결과이다. 수소화 조건은 300 W, 30 mTorr에서 수소화를 1시간 하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 표면으로부터 일정 영역은 n형으로 변화한 것을 알 수 있으며, 특히 p영역과의 경계에서 농도가 ~ 10<sup>14</sup>/cm<sup>3</sup>의 낮은 농도를 보이는 것을 알 수 있다. 표면 부근의 높은 n 농도는 플라즈마 데미지에 의해서 형성될 수 있으나, 그 아래의 n-영역 농도는 원래 기판에 포함되어 있는 불순물에 의한 농도로 생각된다. 또한 n 영역 이후의 p의 농도가 거리에 따라 exponential로 증가하여 원래의 기판 농도로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 수소가 확산에 의해서 기판으

로 들어가게 되고, 거리에 따라서 수소의 농도가 감소하게 되면, 점점 수은 빈자리를 채우는 수소의 양이 작아지게 되고 원래 p형의 농도가 나타나게 되는 것으로 생각된다.

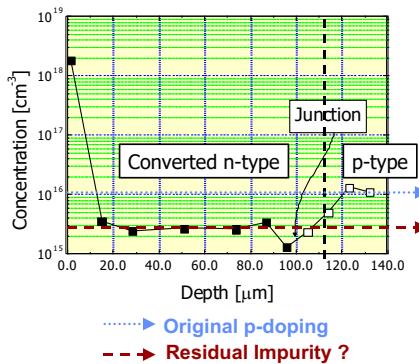


그림 1. 강하게 수소화된 bulk 기판의 농도 변화

수소화한 기판의 differential hall 측정 결과와 수소의 SIMS 깊이 분포 결과를 그림 2에서 비교해 보았다. 이 때, 타입이 n으로 바뀐 영역의 전자 농도와 수소의 깊이 농도의 경향이 일치함을 볼 수 있다. 또한, 수소화에 의해 수은 빈자리 도핑된 웨이퍼는 p-형이 n-형으로 바뀌었으나, Au 도핑된 웨이퍼는 type conversion이 일어나지 않았고, 이온 주입 공정에 의해서는 두 웨이퍼 모두 접합이 형성된 결과로부터, 수소화에 의한 접합 형성은 테미지라기 보다는, 수소 확산에 의한 수소와 수은 빈자리의 결합에 의해서 접합이 형성된다고 볼 수 있다.

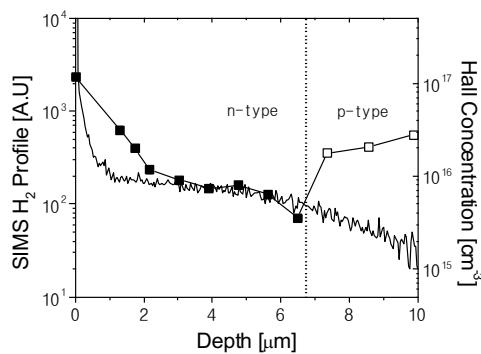


그림 2. 수소화한 접합의 doping profile과 수소 이온의 SIMS 측정 결과

수소화만으로 p-n접합을 형성할 수 있도록, 플라즈마 파워, 공정압력, 시편과 quartz window와의 거리 등을 변화하여 그림 3과 같이 접합의 깊이가 약 5 μm가 되도록 최적화 실험을 하였다.

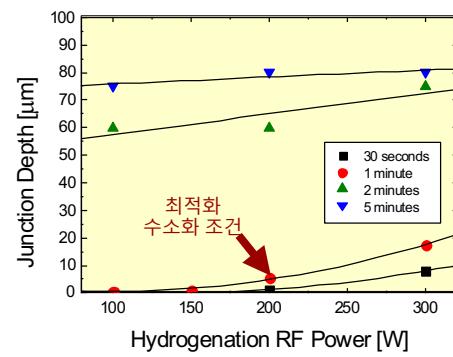


그림 3. 최적화된 수소화 조건

이 최적화 실험 결과 얻은 최적화된 수소화 공정은 공정압력 10 mtorr, 플라즈마 파워 200 W, quartz에서 window까지 거리 12 cm, 공정시간 1분이었다.

그림 4는 최적화된 수소화 공정으로 제작된 다이오드와 이온 주입 후 열처리 공정으로 제작된 다이오드를 비교한 것이다. 두 다이오드 모두 dark 상태에서의 측정 결과이다. 그림에서 보듯이, 전체적인 RdA값이 5배 정도 수소화 공정으로 만들어진 다이오드가 좋음을 알 수 있다. 이 때 ROA값은 109 Ωcm<sup>2</sup>로서 BLIP 조건을 훨씬 넘어서고 있다.

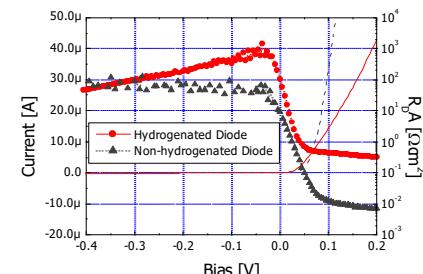


그림 4. 수소화에 의한 소자와 이온 주입 공정에 의한 소자의 성능 비교

그림 4는 수소화 공정으로 만들어진 다이오드들의 감지도 측정 결과이다. Field of View(FOV)는 50°에서 최대 감지도는 파장 8.5 μm에서 3.2x10<sup>11</sup>Jones<sup>-1</sup>이며, cutoff 파장은 9.1 μm이다.

### 3. 결론

열처리 후 수소화를 도입하는 것에 한 걸음 더 나아가서, 수소화만으로 n 영역을 형성하는 공정을 개발하였다. 수소화를 수행할 경우 수소가 p 기판의 acceptor를 형성하고 있는 수은 빈자리를 채우면서 residual impurity의 type이 드러나 n type으로 type conversion이 되는 것임을 수소 원자의 SIMS 분포를 측정함으로써 알 수 있었다. 또한 수소의 확산을 통해서 n 접합 쪽이 작고 적외선이 입사되는 CdTe 기판 방향으로 커지는 hole 농도 grading으로 LWIR 소자의 특성을 지배하고

있는 확산 전류를 매우 크게 줄이면서 Ro를 증가시키게 되는 것으로 여겨진다.

신호취득회로에 있어서는  $20 \times 4$  TDI용 신호취득회로의 동작을 확인하였으며, 새로운 방식의 입력회로인 CMDI ROIC 설계 기술을 통해 R0가 작은 LWIR 소자에 있어서도 injection efficiency가 1이 되는 ROIC를 제작할 수 있게 되었다.

#### 참고문헌

- [1] W. E. Tennant, C. A. Cockrum, J. B. Gilpin, M. A. Kinch, M. B. Reine and R. P. Ruth, J. Vac. Sci & Technol. B10, 1359, 1992.
- [2] Y.-H. Kim, T.S. Kim D.A. Redfern, C.A.Musca, H.C. Lee, and C.K. Kim, J. Electron. Mater., Vol. 29, 859, 2000.
- [3] N.Y. Yoon, B.K. Kim, H.C. Lee and C.K. Kim, Electron. Lett., Vol. 35, No. 18, 1507, 1999.