새로운 클러스터 이온건 및 KBSI형 TOF-SIMS 개발

DOI: 10.3938/PhiT.27.017

최 명 철

Development of a New Cluster Ion Gun and KBSI-type TOF SIMS

Myoung Choul CHOI

Since 2003, the Korea Basic Science Institute (KBSI) has been developing mass spectrometers (MSs) such as the ultra high resolution FTICR (Fourier-transform ion cyclotron resonance) MS, TOF (time-of-flight) MS and ion trap MS. The KBSI Cluster ion beam TOF-SIMS (time-of-flight secondary ion mass spectrometer) system has been undergoing development since 2015 to make the first organic sample imaging TOF-SIMS in Korea. Secondary ion mass spectrometry (SIMS) is a powerful technique^[1] for the in-depth analysis of solid materials. Furthermore, chemical imaging is one of the most important analytical subjects in mass spectrometry. Generally, several different kinds of ionization methods, such as ESI (electrospray ionization), MALDI (matrix assisted laser desorption/ionization), and DESI (desorption electrospray ionization), are used for imaging with a mass spectrometer. In SIMS area, TOF SIMS utilizes various ion beams to analyze samples. Especially, an argon gas cluster (Ar_n^+) ion beam (GCIB) was reported to be useful for the analysis of organic samples, such as polymers and organic light-emitting diode (OLED) and for obtaining their depth profiles.^[2,3] In this development, a GCIB, LMIB (liquid metal ion beam), and TOF-SIMS have been developed for imaging and depth profiling.

저자약력

최명철 박사는 2001년 광운대학교에서 물리학 박사를 취득하였으며 원자력의 학원을 거쳐 2004년부터 한국기초과학지원연구원에 재직 중이다. 2004년부터 2007년까지 독일 Ernst Moritz Arndt 대학과 미국의 국립고자기장연구소(NHMF)에서 방문 연구원을 통해 다양한 질량분석기 개발연구에 참여해왔다. (cmc@kbsi.re.kr)

들어가는 말

한국기초과학지원연구원(KBSI)의 연구장비개발본부를 중심으로 2017년부터 핵심기술개발 경험을 보유한 출연연과 장비개발 전문 국내기업 및 관련 연구자들과 함께 분석장비 개발을 위한 융합연구가 연구원 Big 사업으로 진행되고 있다.

국내외 분석장비 시장은 해마다 커지고 있지만 이를 뒷받침 해줄 국산 분석 장비개발은 상대적으로 매우 작다. 국가 연구 시설·장비는 대부분 외산장비들로 구축되어 있다. 특히 고가 분석장비 시장의 경우 대부분 외국산 장비로 이루어져 있어 분석장비를 활용한 고도화된 분석 및 기초, 기반 연구에 큰 장애물이 되고 있어 장비개발 및 관련 산업 육성의 필요성이 대두되고 있는 시점이다.

2003년부터 한국기초과학지원연구원에서는 초고분해능 FTICR 질량분석기, 비행시간형 질량분석기 그리고 이온트랩형 질량분석기와 같은 다양한 질량분석기를 개발하여 오고 있다. 최근에는 “연구장비개발본부”를 중심으로 분석장비 국산화 및 새로운 분석장비 개발을 위한 장비개발사업이 진행되고 있으며 이 사업을 통해 다양한 고가의 분석장비를 개발하고 있다. 이들 중 클러스터(cluster) 이온빔과 이를 바탕으로 한 TOF-SIMS(비행시간형 이차이온 질량분석기)의 개발사업이 진행 중이다.

본 사업은 분자 구조를 갖는 다양한 유기물 시료의 화학적 조성을 보다 효과적으로 분석하는 In-Depth analysis를 실현하는데 있다. 즉, 유기물 시료의 화학적 이미징 분석 기능을 갖는 개선된 cluster TOF-SIMS를 개발하고 이를 기반으로 TOF-SIMS의 국산화에 기여하는 것이다.

REFERENCES

- [1] N. Winograd, Anal. Chem. **77**, 125A (2005).
- [2] I. Yamada, J. Matsuo, Z. Insepov, D. Takeuchi, M. Akizuki and N. Toyod, J. Vac. Sci. Technol. A **14**, 781 (1996).
- [3] P. J. Cumpson, J. F. Portoles, A. J. Barlow, N. Sano and M. Birch, Surf. Interface Anal. **45**, 1859 (2013).

Fig. 1. Concept of TOF-SIMS.

Cluster ion beam TOF-SIMS 개요

독일의 Benninghoven 교수에 의해 개선된 TOF-SIMS는 ION-TOF사(독일)를 설립하여 현재까지 전 세계 TOF-SIMS^[4,5] 상용 분석장비 대부분을 공급하고 있다. 장치의 구성은 시료의 일부분을 선택적으로 이온화시키는 다양한 종류의 이온빔(ion gun)과 이때 형성되는 이차이온을 분석하는 비행시간형 질량 분석기(TOF-MS)로 이루어져 있다.

사용되는 응용분야는 다양한 무기물, 나노소재 및 반도체분야에서 미량의 성분분석 및 지질광석과 폴리머분석 등 여러 분야에 사용되어 왔다. 하지만 한계를 가지고 있어 극복을 위한 연구가 진행되고 있는 분석장비이다. TOF-SIMS가 갖고 있는 문제점은 시료를 이온화하기 위해 사용하는 이온빔이 매우 파괴적이라는 점이다. 물론 이런 특성을 이용해 초미세 가공기능을 구현할 수 있지만 분자구조를 갖는 시료의 경우 충돌하며 분자구조 정보를 잃어버리게 된다.^[6-8] 이러한 문제점 때문에 분자 구조를 갖는 시료의 분석이 어렵다. 따라서 큰 분자구조를 갖는 유기물 및 생체시료의 분석에 사용이 아직 제한적이고 분석할 시료의 특성에 따라 분석에 적당한 이온빔을 선택해야 하는 점들이 효과적인 분석을 어렵게 만드는 요인들이었다. 분석하는 시료가 비교적 간단한 분자구조를 갖거나, 혹은 무기물 원소를 주로 분석해온 TOF-SIMS를 구성하는 질량 분석기는 단백질이나 생체시료를 분석하는 다른 질량분석기에 비하여 질량 분석 기능이 상대적으로 단순하다. 특히 고분자 시료의 분석에 자주 사용되는 Tandem MS 분석 기능 역시 최근에 도입되어 사용되기 시작했다.^[9] 2000년에 들어오면서 일 본을 중심으로 활발히 연구된 가스 클러스터 이온빔(GCIB; Gas Cluster ion Beam)이 SIMS 분석의 문제점들을 해결하기 위한 새로운 가능성으로 주목 받기 시작했다.^[10] 그 이외에도 C60, Au 등 다양한 이온빔 및 클러스터 형태의 이온빔이 시도되어오고 있었다.^[11] 하지만 여전히 아르곤(Ar) 가스를 사용한 클러스터 이온빔은 분석 시료를 오염시키거나 분자구조 파

괴를 최소화시키며 또한 이차이온의 발생률을 증가시켜 큰 분자시료 분석의 가능성이 제시되어 오고 있다.

최근 아르곤 클러스터 빔은 그 장점 때문에 TOF-SIMS를 포함하여 XPS에서 depth profile용 sputter gun으로 널리 사용되고 있다. 그러나 시료분석용 primary beam으로 보다 효과적으로 사용되기 위해 다양한 시료에 대해 아직도 개발 및 최적화가 필요하다. 특히 다른 이온빔에 비하여 더 많은 조절 인자(parameter)를 가지고 있어 조절 자유도가 넓지만 그만큼 조절이 복잡하여 현재 상용화된 TOF-SIMS 장비에서 사용되는 아르곤 클러스터 이온빔의 조절 인자는 일반적으로 자유롭게 사용하기 어렵다. 인자를 조절하여 모든 시료를 효과적으로 분석할 수 있는 이온빔으로 구성하는 것은 아직 어디에서도 완성되지 못하고 있다. 하지만 다양한 특성을 갖는 이온빔을 개발하여 특정 시료 분석에 보다 적합하게 이온빔 구성을 할 수 있다면 TOF-SIMS의 분석 기능을 특정 시료분야에 최적화할 수 있을 것이다. 그리고 큰 분자구조를 효과적으로 이온화시킬 이온빔이 구성되면 질량분석기의 기능을 고도화하여 tandem MS를 포함한 다양한 분석기능 개발이 필요해지게 된다.

본 개발과제는 이를 위해 크게 2종류의 클러스터 이온빔을 개발하고 있다. 우선 2019년까지 아르곤 가스클러스터 이온빔 장치 및 갈륨 액체금속 이온빔 장치를 개발하고 있으며 질량 분석기는 Floating type의 TOF MS를 구성하여 고분해능 질량 분석을 구현할 계획이다.

TOF-SIMS용 액체금속 이온빔과 가스클러스터 이온빔 개발

전기장과 자기장을 이용하여 제어하고 분석을 하는 질량분석

REFERENCES

- [4] A. Benninghoven, *Angew. Chem.* **33**, 1023 (1994).
- [5] G. C. Rider, A. R. Waugh, J. Wolstenholme, D. R. Kingham, J. M. Walls and A. Brown, *Surf. and Interface Anal.* **11**, 402 (1987).
- [6] T. Aoki, J. Matsuo and G. Takaoka, *Nucl. Instrm. and Meth. in Phys. Res. B* **202**, 278 (2003).
- [7] J. Matsuo, S. Ninomiya, Y. Nakata, Y. Honda, K. Ichiki, T. Seki and T. Aoki, *Appl. Surf. Sci.* **255**, 1235 (2008).
- [8] David F. Yancey and C. Reinhardt, *J. Electron Spectroscopy and Rel. Phenomena*, In press (2018).
- [9] P. D. Piehowski, A. J. Carado, M. E. Kurczy, S. G. Ostrowski, M. L. Heien, N. Winograd and A. G. Ewing, *Anal. Chem.* **80**, 8662 (2008).
- [10] K. Moritani, M. Hashinokuchi, J. Nakagawa, T. Kashiwagi, N. Toyoda and K. Mochiji, *Appl. Surf. Sci.* **255**, 948 (2008).
- [11] S. Rabbani, A. M. Barber, J. S. Fletcher, N. P. Lockyer and J. C. Vickerman, *Anal. Chem.* **83**, 3793 (2011).

Fig. 2. Nozzle type (left), electron impact ionizer (right).

기에서 분석할 시료를 이온화시키는 과정은 매우 중요하다. 일반적으로 시료를 이온화하는 다양한 방법이 사용되고 있는데 그것은 모든 시료를 효과적으로 이온화시킬 수 있는 유일한 방법이 아직 없기 때문이다. 시료의 특성에 맞는 이온화 방법을 사용해야 하며 따라서 이온화 방법마다 특성이 다르고 시료의 분야가 차이 난다. 단백질, 펩타이드 같은 거대분자나 생체시료를 분석하기 위해서 대부분 ESI(Electro Spray Ionization) 이나 MALDI(Matrix Assisted Laser Desorption Ionization)가 대표적 방법이며 다양한 변형 방법들이 사용된다. 그러나 이온빔을 사용하는 TOF-SIMS에서는 이러한 시료를 분석하기 어렵다.

1. 아르곤 가스 클러스터 이온빔(Gas Cluster Ion Beam) 개발

분자 시료를 더 부드럽게 그리고 더 많이 이온화시키기 위해서 최근 사용되는 이온빔이 가스(아르곤) 클러스터 이온빔이다. 이온빔 장치의 구조는 기존의 이온빔 원(source)과 매우 다른 구조를 갖고 있다. 2 bar ~ 30 bar 정도의 고압가스를 $\sim 10^{-3}$ Torr 진공인 공간에 특정 노즐을 통해 아르곤가스를 불어 넣어주는 구조가 아르곤 클러스터를 만들어주는 부분이다. 고압의 가스는 “축소-확대”형 노즐을 통해 축소-팽창하면서 기체분자의 열에너지가 점차 분출방향의 운동에너지로 전환되는 냉각이 일어난다. 이때 아르곤 원자 간 반데르발스(Van Der Waals) 힘으로 결합된 아르곤 클러스터가 발생된다. 그러나 고압의 가스를 진공 챔버로 주입하면서 그 진공도를 유지하기 위해 진공펌프의 용량이 커지거나 노즐의 크기를 매우 작게 만들어 적절한 조건을 유지할 수 있도록 해야 한다.

그림 2와 같이 “소닉 노즐”은 평판 중앙에 실린더 단면 구멍이 뚫린 구조이고 “코니컬 노즐”은 한쪽 부분이 코니컬 형태의 단면을 갖는 구조이다. 클러스터 생성 특성을 측정하기 위해 클러스터를 이온화하여 측정하였다. TOF 질량분석기를 구성하여 이온화 클러스터의 크기 분포를 측정한 결과는 그림 3, 4와 같다.

그림 3, 4에서 노즐 모양이 형성되는 클러스터의 크기(질량) 분포에 직접적인 영향이 있음을 실험으로 확인할 수 있다. 또

Fig. 3. Conical type nozzle.

Fig. 4. Sonic type nozzle.

Fig. 5. Nozzle and skimmer.

한 가해주는 압력에 따라 생성되는 클러스터의 크기 분포는 압력으로 조절될 수 있다.

그림 6에서 클러스터는 매우 넓은 크기 분포를 갖는다. 이 넓은 크기 분포는 클러스터 이온빔의 새로운 특성 조절 인자로 사용될 수 있다. 즉, 전체 크기에서 영역별로 선택하여 사용하면 그 크기별 시료이온화 및 sputtering 특성이 서로 차이가 있어 조절인자로 사용될 수 있다. 따라서 생성된 클러스터에서 원하는 크기영역을 선택하여 출력시키는 장치가 필요하다. Wien filter는 “속도 필터”라고도 불리며 지나가는 전하의 속도에 따른 선택을 한다.

Fig. 6. Cluster size distributions (n: number of Ar atom).

Fig. 7. GCIB gun and cluster beam extraction (phosphor screen).

그림 7은 10 kV로 가속되어 wien filter를 지난 가스 클러스터 이온빔이 MCP-형광 막에 상을 형성하고 있다. 이러한 측정을 통해 구조 및 고전압 개선작업이 현재 이루어지고 있다.

2. 액체금속 이온빔(Liquid Metal Ion Beam) 개발

FIB(focused ion beam) 장비와 사용하는 갈륨을 이용한 액체금속 이온빔 원(source)은 국내에서도 이미 80년대 광운대학교 강승언 교수 그룹 등에서 연구가 되어 왔었다.

TOF-SIMS에서 액체금속이온빔은 매우 중요한 분석용 이온빔으로 사용된다. Au, Ga, Bi 등을 이온원으로 사용한 SIMS 분석특성연구가 국외에서 진행되어 왔다. 액체금속 이온원의 구조와 원리는 동일하다. Heater로 액화된 액상의 금속이 텅스텐 팁 끝으로 흘러내리고 그 끝에 고압의 전압을 가하여 액상의 금속이 팁 끝에 강한 전기장에 의해 tailor cone을 형성하며 field evaporation을 통해 이온을 방출한다.^[12] 현재 Ga 이온원을 개발하고 있으며 이를 바탕으로 비스무스(Bi) 및 금(Au) 클러스터 이온원 개발이 2019년 말부터 시작될 계획이다.(그림 8 참조)

출력된 이온빔은 이온 옵티크로 집중(focusing)되고 deflector로

Fig. 8. Tungsten tip & liquid metal ion source(Ga LMIS).

Fig. 9. TEM grid, mesh image (left) Ga liquid metal ion gun (right).

raster scan 동작을 하게 된다. 이때 각 위치에서 나오는 이차 전자의 세기(intensity)를 측정하고 이 값을 그 위치에 맵핑하면 위 그림 9와 같은 secondary electron image를 얻을 수 있는 현미경 영상기능을 구성할 수 있게 된다. 이와 같은 영상화 방법은 FIB, SEM(secondary electron microscope) 등 다른 많은 영상화 장비에서 사용하는 기능이다. 하지만 영상을 구성하는 각 위치의 세기(intensity)에는 그 시료의 화학적인 정보가 들어있지 않다. TOF-SIMS에서 구현할 영상화 방법의 기본적인 구조는 위와 같은 방법을 사용한다. 그러나 실시간 분석하는 측정기를 질량분석기, 즉, TOF MS를 사용하여 영상의 각 위치별 화학적인 조성의 정보를 얻고 이들 중 특정 성분을 선택하여 영상화한다. 이러한 화학적 영상화 기능은 단순한 영상에 비하여 훨씬 더 많은 정보를 갖게 된다. 유기물 분석을 위한 TOF-SIMS에서 화학적 영상화 기능구현을 위해 이온빔과 질량분석기 및 시료 이송대를 개발하고 이들을 효과적으로 결합하는 작업이 진행되고 있다.

REFERENCES

- [12] A. R. Waugh, E. D. Boyes and M. J. Southon, Surf. Sci. 61, 109 (1976).

Fig. 10. TOF MS "Tinkerbell" (left), spectrum signal (middle & right).

Fig. 11. Prototype KBSI cluster TOF-SIMS.

TOF-SIMS(비행시간형이차이온질량분석기) 개발

이온빔으로 이온화된 시료 표면에 이차이온들의 화학적 조성을 분석하기 위해 비행시간형 질량분석기(TOF MS)를 사용한다. TOF MS는 시료에서 이온화되어 나오는 다양한 화학적 성분들을 고분해능으로 또 고속으로 분석할 수 있어 다른 질량 분석기보다 많은 장점을 가지고 있다. 특히 2014년, UV Laser를 사용하여 시료를 이온화하는 Matrix Assisted Laser Desorption Ionization(MALDI) TOF MS, "Tinkerbell",을 국내 분석장비 개발 업체인 (주)아스타가 처음으로 국산화에 성공하여 보급하고 있다. 이 분석 장비는 현재 병원에서 병원균 고속 진단용 장비로 보급되고 있으며 다양한 바이오분석 및 암진단 장비로 개발이 진행되고 있다. 이러한 국산 질량분석 장비의 기반은 TOF-SIMS의 국산화 개발에 가능성을 높게 해주고 있다.

본 과제의 주요 목표 중 하나가 분석장비 국산화이다. 2018년부터 국내의 상용 질량분석장비 기반을 활용하여 상용 TOF-SIMS 시작품 개발을 시작하였다. 개발된 이온빔 장치를 TOF MS와 결합하고 TOF 구조를 TOF-SIMS로 변형하는 상용화 작

Fig. 12. Immersion lens and reflectron.

Fig. 13. Floating type TOF MS.

업을 시작하였다. 그리고 클러스터 이온빔을 이용한 유기물 분석기능을 최적화하고 이를 바탕으로 다양한 질량분석기능을 구현하는 KBSI형 TOF-SIMS 개발을 2019년 말부터 시작할 예정이며 이를 위한 prototype cluster TOF-SIMS를 2019년까지 완성할 계획이다.

1. KBSI 클러스터 이온빔 및 이차이온질량분석장비 개발

MALDI TOF MS는 이온화를 위해 전기장에 전혀 영향을 받지 않는 Laser를 사용하기 때문에 구조가 비교적 단순했다. 하지만 양전하를 갖는 이온빔을 사용하는 TOF-SIMS의 경우 구조와 동작이 복잡해진다.

여기서 중요한 부분은 5 μm 이하의 정밀한 위치 제어가 가능한 5축(x, y, z, rotation, tilt) sample stage와 이차이온 추출용 extraction lens 및 reflectron의 개발이다.

시료대에서 나오는 이차이온의 추출을 위해 immersion lens를 구성했고 고분해능 구현을 위해 reflectron을 개발하고 있다.(그림 12)

일반적으로 MALDI TOF MS에서는 시료대에 고전압을 가하

Fig. 14. OLED samples.

고 laser로 이온화된 시료가 GND(0 V)를 향해 가속하여 flight tube를 진행하는 구조를 사용한다. 그러나 고전압의 양전위로 가속된 이온빔이 이온화를 위해 시료대(sample plate)에 입사할 때 시료대에 고전압을 사용할 수 없다. 이를 위해 flight tube를 최대 5 kV의 가속전압으로 floating시킨 floating type의 TOF MS 구조를 구성하여 immersion lens 및 reflectron을 결합하였다.

그림 13에서 아래 부분이 extraction용 immersion lens이고 윗 부분이 reflectron이다.

이러한 형태의 TOF MS는 향후 ion trap과 결합하여 Tandem MS 기능을 추가 결합할 예정이다.

Cluster ion beam 및 TOF-SIMS 응용연구

개발되는 클러스터 이온빔 및 TOF-SIMS의 특성 및 응용연구는 개발된 분석장비의 효과적인 활용과 상용화를 위해 중요하다. 시료분석 특성에 영향을 미치는 클러스터 이온빔의 특성 및 응용 연구는 특히 중요하다고 할 수 있다.

가스 클러스터 이온빔 및 금속 클러스터 이온빔을 이용한 특성 및 새로운 응용으로의 확장을 위한 실험을 개발과 함께 진행하고 있다.

1. OLED 유기물 분석용 가스 클러스터 이온빔 특성 연구

최근 국내 Display 시장에서 차세대 주력 산업으로 여겨지고 있는 OLED는 몇 가지의 유기물 분자를 이용한 다층의 layer를 가지고 있다. TOF-SIMS의 주요한 분석 기능인 3D Depth-profile 기능을 이용하여 여러 층으로 이루어진 OLED의 화학적 변화를 직접 분석할 수 있다면 OLED 동작 시 나타나는 다양한 문제점들의 원인 분석에 주요한 분석장비가 될 수 있다. 우선 이온빔들은 분자구조 정보를 최대한 파괴하지 않고 해당 유기물 시료를 분석할 수 있어야 한다.

아르곤 클러스터 이온빔이 갖는 이를 위한 중요한 조절 인자 중 하나로 우선 클러스터의 크기별 이온화 특성 변화를 실험하였다. 그림 14와 같이 실리콘 웨이퍼 위에 OLED를 구성하는 시료별로 ~ 50 nm 두께의 유기물을 각각 증착시켰다.

Fig. 15. Ar cluster size vs. intensity of parent peak.

Fig. 16. Laser ionization cluster ion beam TOF MS (top), size distribution of Toluene cluster ion beam (bottom).

그리고 가스 클러스터 이온빔의 가속 전압을 고정하고 클러스터의 크기(개수)에 따른 분자구조가 깨지지 않고 이온화되어 나오는 peak(parent peak)의 크기 변화를 보았다

그림 15에서와 같이 최적 클러스터 조건이 조금씩 다를 것을 볼 수 있다. 즉, 시료마다 클러스터 이온빔의 세밀한 조절이 필요하다는 것이다. 향후 OLED 시료에 대하여 얻어진 실험 자료를 바탕으로 OLED 분석에 최적화된 조건을 갖는 가스 클러스터 이온빔으로 구조 및 제어를 최적화할 수 있을 것이다.

2. 새로운 클러스터 이온빔 특성 연구

SIMS 분석에서 새로운 특성의 이온빔은 새로운 시료분석으

Fig. 17. Molecular structure of rhodamine 6G (top), spectrum of rhodamine 6G (bottom).

로 응용될 수 있는 가능성이 높다. UV Laser를 이온화원으로 사용하여 다양한 물질을 사용한 클러스터 이온빔 원을 개발하여 그 특성을 측정하였다.

그림 16(위)과 같이 다양한 물질의 클러스터화 및 이온화장치를 구성하고 10 kV로 가속되는 클러스터빔으로 구성하여 그 특성을 분석하는 장치를 제작하였다. 이 장치를 이용하여 톨루엔 클러스터 이온빔을 생성하고 클러스터 크기별 이온빔을 출력할 수 있도록 구성하였다. 그림 16(아래)과 같이 톨루엔 1개 ~ 20개 이상까지 개별크기를 선택하여 단일 크기의 클러스터 이온빔으로 출력이 가능하다. 다양한 크기로 출력되는 클러스터 이온빔을 사용하여 유기물 분자인 로다민(rhodamine 6G) 시료에 적용하여 TOF-SIMS 신호를 관찰하였다.

그림 17(위)와 같이 톨루엔 이온빔의 TOF-SIMS 스펙트럼은 깨지지 않은 본래 분자(parent peak)에 해당하는 피크와 깨져나간 분자들(fragmented peak)이 보인다. 이러한 깨져나가는 분자들의 비율이 클러스터의 크기가 커짐에 따라 점차 줄어들음을 볼 수 있다.

Fig. 18. cluster size vs. ratio of fragment peak and parent peak.

위 결과에서 클러스터의 크기가 커짐에 따라 에러바(bar)가 커지는 것은 그림 18(오른쪽)에서와 같이 클러스터의 크기가 커짐에 따라 출력되는 이온의 양이 급격하게 줄어들어 상대적으로 커지는 것으로 보이지만 깨진 분자들의 합(sum of fragment peaks/parent peak)의 비율은 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 단일 클러스터 크기에 따른 SIMS 분석 특성을 볼 수 있는 의미있는 결과이다. 현재 장치의 이온화율 개선작업을 진행 중에 있다.

맺음말

고성능 분석장비들이 기초, 응용 및 산업화 연구에 폭 넓게 사용되고 있으며 연구/개발에 차지하는 영향력이 매우 크다. 특히, 새로운 분석법을 실험에 구현하고자 하는 국내 연구자들에게 열악한 국내 분석장비 국산화 기반이 연구에 큰 장애가 되어온 지 오래이다. KBSI에서 개발이 진행되고 있는 cluster ion beam은 각각의 주요 구조에 해당하는 장비개발이 모두 병행해서 진행되고 있으며 여기서 얻어질 핵심 요소기술들은 기존의 국산 TOF 질량분석기와 결합하여 TOF-SIMS로 상용화할 계획이다. 그리고 이러한 핵심 요소기술들을 바탕으로 다양한 새로운 분석기능을 구현할 수 있도록 기반 TOF-SIMS 구조를 바탕으로 다양한 구조 및 기능 조합이 이루어질 예정이다. 이러한 노력이 국내 분석장비 개발 시장에 새로운 활력을 주는 결과가 되기를 기대한다.