

고온 단결정 성장용 초크랄스키 결정성장 장치 구축

장인수¹ · 이정일^{1*} · 김장렬¹ · 김상인¹ · 김봉환¹ · 정기수²

¹한국원자력연구원 방사선안전관리팀

²경상대학교 물리학과

* E-mail: jilee@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 단결정, 초크랄스키, 결정성장

서 론

단결정은 반도체, 광응용, 방사선 측정 연구 및 산업에 다양하게 이용되고 있다. 단결정을 육성하는 방법은 Czochralski법[1], Bridgman법, Epitaxy법, CVD 등 매우 다양하다. 이 중 Czochralski법은 용융액에서 결정을 인상하는 방법(crystal pulling method)으로 가장 넓은 범위에 이용되는 방법이다. 결정을 구성하는 화합물에 소량의 첨가물을 결정성장 단계에서 도핑할 수 있으므로 다양한 레이저 응용 단결정이나 방사선 계측용 섬광체 물질을 성장시키는데 널리 응용되고 있다. 또한 로(furnace)의 출력과 단열재를 적절하게 설계하고 선택하면 산화물 등과 같이 융점이 매우 높은 물질도 성장이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서 방사선 계측용 광자극발광(OSL) 물질을 성장시킬 목적으로 자동직경 제어장치가 부착된 Czochralski 단결정 성장장치를 구축하였다.

Czochralski 단결정 성장장치

Czochralski 방법은 도가니 내에 녹아 있는 성장시키고자하는 결정의 용융액에 회전하고 있는 종자(seed crystal)를 접촉시킨 후 천천히 인상하여 결정을 성장시키는 방법이다. 전도성이 있는 물질(이리듐, 백금, Graphite 등)로 된 도가니에 성장시키고자 하는 물질을 넣고 고주파 가열(RF heating)을 통하여 도가니 내 재료를 용융시킨다. 이 때 용융된 액체는 온도변화에 민감하므로 즉각

적인 온도 변화를 최소화 시키는 단열재 등의 장치가 필요하다. 또한 고품질의 단결정을 성장시키기 위해서는 결정을 회전시켜 줌으로서 결정 성장 중 용융액의 용융액 내의 대류를 안정적으로 유지시키고 적절한 형태의 액상 고상 경계면을 형성시켜 안정적인 결정의 성장을 돕는다. 그림 1에 구성된 결정 성장 장치를 나타내었고, 장치의 대략적인 사양은 다음과 같다.

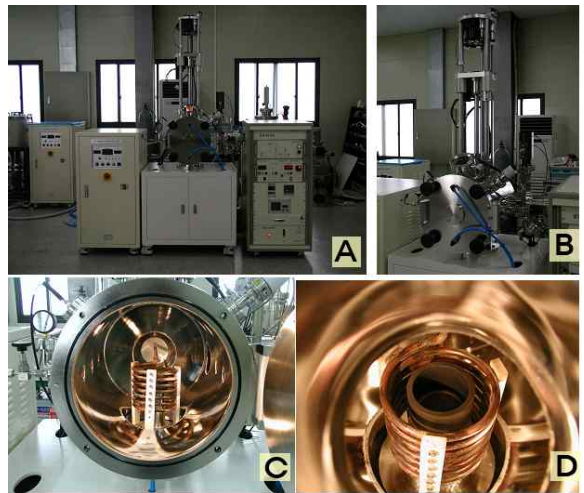


그림 1. 결정 성장 장치. A: 전체 구성, B: 챔버 및 시료 인상 부분, C: 챔버 내부, D: 시료 가열부(RF coil)

- 챔버 : 직경 400 mm, 깊이 550 mm (이중 챔버)
- 진공모듈: Turbo pump 300 L, Rotary pump 550 L, 진공도 $\sim 10^{-6}$ Torr
- 시료 인상속도: 저속 0.225 - 22.5 mm/h, 고속 0 - 200 mm/h
- 인상진동: 최대 1 μ m

- 가열방식: RF generator 20 kW
- 최대가열온도: 2000 °C 이상
- Heat insulator: Zirconia, Alumina 세라믹

단열재와 자동직경제어

Czochralski 결정 성장 장치에서 안정적인 결정 성장을 위해서는 단열이 특히 중요한 요소 중의 하나이다. 그림 2에는 LiAlO₂ 결정 성장을 위한 단열재의 구조를 보여주고 있다. RF 코일과 도가니 사이에 Zirconia Block을 적재하여 일차 단열재로 적용하고 RF 코일과 Zirconia Block 사이에 Quartz 튜브나 Zirconia felt를 설치하여 추가적인 열손실을 막아 최적의 단열 효과를 얻는다.

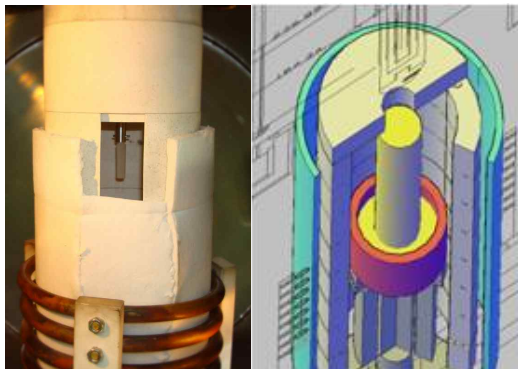


그림 2. 단열재 적재 모습과 3D CAD 영상

결정 성장은 seeding 작업, necking 작업, shouldering 과정 거쳐 body를 성장시키고 용융액과 성장된 단결정을 분리시키는 작업을 거쳐 완료된다. 결정의 직경은 결정과 용융액 사이 계면의 온도에 의해 결정된다. 결정 성장 과정 중 결정 크기가 크게 변할 경우 결함 발생을 유발 시키는 원인이 될 가능성이 있다. 그러므로 결정성장시 직경 조절을 위해 자동으로 도가니의 온도를 최적 상태로 제어하는 기능이 필요하게 되는데 이 기능을 자동직경제어(Automatic Diameter Control: ADC)라고 한다. ADC 구현은 다음과 같이 이루어진다. 제어용 PC가 CCD 카메라와 DAQ(데이터 수집장치)를 통해 필요한 정보(결정무게, RF 출력)를 입

력받고 이를 처리하여 A/D converter와 D/A converter를 통하여 RF 발전기의 출력을 제어하여 최종적으로 직경을 조절하고 이 과정을 계속한다. 그림 3에 ADC 구성의 개략도를 나타내었다. 현 장치에서는 CCD 카메라를 이용한 직접 직경을 측정하는 방식과 전자저울을 사용하여 용융액의 무게 변화를 측정하고 측정된 무게변화를 분석하여 직경을 추정하는 방식이 적용되어 단결정이 성장되는 동안 최적의 직경이 유지되도록 하였다.

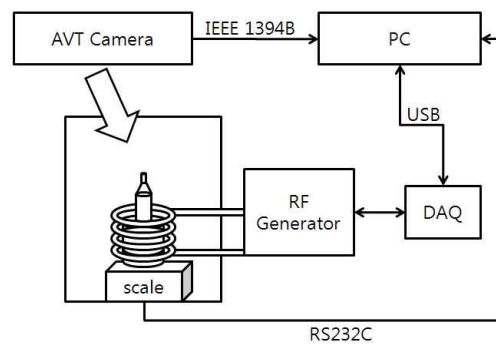


그림 3. ADC 개략도

결 론

저온과 고온 영역의 다양한 단결정 시료를 제조할 수 있는 Czochralski 결정 성장 시스템을 구축하였다. 또한 CCD 카메라를 기본으로 이용한 자동직경제어장치를 개발하여 부착하였다. 이로서 조성이 조절된 방사선 계측용 광자극발광 물질 및 섬광체 등 다양한 종류의 단결정을 제조할 수 있는 기반을 마련하였으며, 관련 신물질 개발 및 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. J. Czochralski, Z. Phys. Chem. 92 (1918), pp. 219 - 221.