규 격 / 사 양 서

<table>
<tr><td>1. 개요</td><td>
<table>
<tr><td>품명</td><td colspan="3">진공열증착시스템</td></tr>
<tr><td>수량</td><td>1</td><td>제조사</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>2. 용도 및 특징</td><td>
1. 용도
페로브스카이트(Perovskite) 기반 반도체 소자 제작을 위한 전주기 진공 증착 공정 수행 장비임. 구체적으로 다음 목적에 활용됨:

① 페로브스카이트 흡수층 증착: 할로겐화 납·세슘계 전구체 소재(PbI_2, CsI, CsBr, MAI, FAI)를 공증착(Co-deposition)하여 조성·두께 정밀 제어된 페로브스카이트 반도체 박막 형성

② 전하수송층(CTL) 증착: 전자수송층(C60, BCP, SnO_2)·정공수송층 (Spiro-OMeTAD, NiOx, SAM) 등 유·무기 반도체 소재 정밀 증착

③ 금속 전극 증착: Ag, Au, Al, MoOx 등 고진공 금속 증착을 통한 반도체 소자 전극 형성

④ 소자 전주기 제작: 대기 노출 없이 PVK층→CTL층→전극층을 클러스터 시스템 내 연속 공정으로 처리하여, 계면 오염 방지 및 소자 재현성 확보

2. 특징
- 클러스터 증착기 구조
- 글러브박스 통합: 용액 공정 후 민감한 페로브스카이트 박막을 대기(산소/수분)에 노출 없이 곧바로 5Slot 로드락 챔버를 통해 고진공 트랜스퍼 챔버로 이송 소자 열화의 주범인 대기 노출을 원천적으로 차단하여 소자 안정성 및 재현성을 극대화 하였으며 dust free 공정이 가능한 구조

- 이송 챔버: 중앙의 트랜스퍼 챔버는 진공 환경을 유지하며, 장착된 진공 로봇이 샘플를 증착 공정 챔버 간에 오염 없이 이동 가능

- 멀티-프로세스 기능 통합: Evaporator 2개와 Sputter(옵션) 1개, ALD(옵션) 1개, 글로브박스의 구성은 복잡한 페로브스카이트 소자 구조를 하나의 시스템 내에서 연속적으로 제작 가능

- Vaccum Flash: 페로브스카이트 및 박막 공정 중 박막 내 용매를 급속으로 제거(Rapid Solvent Removal)하기 위한 진공 플래시 처리 장치(Vacuum Flash System)이다. 유기 용매(DMF, DMSO, NMP 등)에 대한 내화학성을 갖추고, 5~7초 이내에 급속 감압을 실현하여 균일한 박막 결정 장치
</td></tr>
<tr><td>3. 기기구성
(세부내용, 수량 등)</td><td>
본 기본 규격서는 최소한의 규격을 규정하며 반드시 본 규격서에 명시된 동등 및 동급 이상의 제품을 납품하여야 한다.

시스템 구성(Cluster Type, 5개 모듈 통합)

- PVK #1 (페로브스카이트 열 증착기#1): 기판M6(166×166mm), 중온 Effusion Source 6ea, 진공도8.0×10^{-7} Torr 이하, Front Door Mini Glovebox 장착, 실시간 밴드갭 측정 Tool 장착 (Insitu-Monitoring 장치, 실시간 PL 측정, 레이저 기판의 장치), Front Door Mini Glovebox 장착

①. 페로스카이트 흡수층 증착 모듈 (PVK Evaporator)
1. 페로브 진공증착기 (Thermal Evaporator System) 1 SET
</td></tr>
</table>

	1.1 진공 증착 챔버 (6개 물질용 소스 장착 가능) - 샘플사이즈 166mm x 166mm 장착 가능 - 챔버 재질: SUS 304L + Al 6061 - 챔버 진공도: 1.0 * 10^{-8} Torr 이하 진공 도달 1.0 * 10^{-6} Torr 이하 진공 도달 (10분 이내 도달) - 증착 챔버 타입: 사각형 채범 - 정면 도어: 슬라이딩 & 스윙도어 - 미니 글로브박스: 정면 도어 장착 - 옆면 고진공 펌프 및 밸브 장착 - 챔버 하부 증착 소스 장착용 파워 피드스로우 포트 - 챔버 상부 서브스트레이트 장착 포트 - 진공게이지 장착 포트 및 스페어 포트 - 챔버 내부 파티클 방지용 쉴드 설치 및 냉각 - 챔버 외벽 냉각 라인 구성 1.2 진공 펌프 : 1세트 - 고진공 Cryo 펌프 (외산브랜드): 2300 L/sec 용량 - 저진공 펌핑용 로타리 펌프: 1000 L/min 용량 - 고진공용 밸브: ISO250 게이트 밸브 - 저진공 밸브: NW 40 앵글 밸브 - 로타리 펌브 자연 배기 밸브 (오일 역류 방지용) - 모든 밸브 및 펌프는 소프트웨어 안전장치 연동하여 구동 1.3 진공 게이지 - Full Range 진공 게이지 : ATM ~ 10^{-10} Torr - 저진공게이지: ATM ~ 10^{-4} torr 펌핑 배관 장착 - 대기압 센서: 증착 챔버, 로드락 챔버 장착 1.4 증착 샘플 회전 모듈 - 166mm x 166mm 크기 샘플 장착 가능 - 1″ x 1″ 조각 샘플 장착 가능 (별도 홀더 이용) - 서보 모터 이용 샘플 회전, Home Position 및 샘플 Clamping/Unclamping 포지션 조정 - 최대 회전 속도 20RPM, Resolution : ± 3% @ 20 rpm - 마스크 교체기능 : In–Vacuum Type : Servo Motor & Position Sensing - 자성유체 씰 구조로 진공도 10^{-8} torr 보장 - 샘플 오염 방지용 셔터 장치, CF 1.33 자성츄체 씰 활용 1.5 증착 소스 : 6세트 (4개 물질 동시 증착 가능) - 저온 유기물 증착 소스: 4set : Temp Range: ~ 700℃ : Temp Resolution: ± 1% @ 300℃, Temperature Stability : ±0.5℃ : 20cc Effusion Cell Source : 20cc PBN Crucible : Temp 컨트롤러 및 소스 셔터 : 소스 파워: (20V, 20A DC Power) : 4 Sets - 고온 유기물 증착 소스: 2set : Temp Range: ~ 1500℃ : Temp Resolution: ± 1% @ 1000℃, Temperature Stability : ±0.5℃ : 20cc Effusion Cell Source : 20cc PBN Crucible : Temp 컨트롤러 및 소스 셔터 : 소스 파워: (40V, 30A DC Power) : 2 Sets 1.6 증착 두께 제어 모듈: (4개 물질 동시 제어 가능)

	- 증착 두께 제어 모듈 (소스제어용)- Cygnus2 : LCD 디스플레이 : 표준 RS-232 및 USB(RS-232 및 이더넷 옵션) : 분해능: ± 0.012 Hz : 증착률 표시: 0.01 Å/sec : 물질 및 프로세스 저장: 100 processes, 1000 layers Storage - 기판 두께 모니터링용 모듈 (기판 모니터링용)-160M : LCD 디스플레이 : 표준 RS-232 및 USB(RS-232 및 이더넷 옵션) : 분해능: ± 0.012 Hz : 증착률 표시: 0.01 Å/sec - 크리스탈센서 : 7ea : 증착소스 7ea 장착, : 6MHz 크리스탈 센서 : CF 2.75 피드스로우 (냉각수 및 마이크로 닷). 오실레이터 유닛 및 In-Vacuum 케이블 - 증착 물질 예열 기능: 사용자 설정 온도에 맞추어 소스 내부의 물질 예열 가능 1.7 실시간 In-situ 모니터링 장치 - 박막 두께 측정 (Film Thickness) 액상(Wet film) 및 고상(Solid film) 상태의 두께 측정 증착 속도(Growth Rate) 실시간 계산 - 광학 및 물리 특성 분석 (Optical & Physical Properties): 광 흡수단(Absorption Edge) 및 밴드갭(Bandgap, E_g) 형성 및 변이 관찰 표면 조도(Roughness) 및 굴절률/소멸계수 도출 상전이(Phase transition) 및 반응 기학(Reaction kinetics)에 따른 박막 열화 현상 추적 - 발광 특성 분석 (Photoluminescence, PL): 박막의 조성 변화(Compositional shift) 분석 전하 캐리어 수명(Carrier Lifetime) 측정 - CTL #2 (전하수송층·금속전극 열 증착기): 중온 Cell 2ea. 고온 Cell 2ea, PBN Metal Boat 2ea, 진공도1.0×10^{-7} Torr 이하, Front Door Mini Glovebox 장착 ②. CTL(전하 수송 및 전달) 증착 모듈 (CTL Evaporator) 2. CTL 진공증착기 (Thermal Evaporator System) 1 SET 2.1 진공 증착 챔버 (6개 물질용 소스 장착 가능) - 166mm x 166mm 크기 샘플 장착 가능 - 챔버 재질: SUS 304L + Al 6061 - 챔버 진공도: $1.0 * 10^{-8}$ Torr 이하 진공 도달 $1.0 * 10^{-6}$ Torr 이하 진공 도달 (10분 이내 도달) - 증착 챔버 타입: 사각형 채범 - 정면 도어: 슬라이딩 & 스윙도어 - 미니 글로브박스: 정면 도어 장착 - 옆면 고진공 펌프 및 밸브 장착 - 챔버 하부 증착 소스 장착용 파워 피드스로우 포트 - 챔버 상부 서브스트레이트 장착 포트 - 진공게이지 장착 포트 및 스페어 포트 - 챔버 내부 파티클 방지용 쉴드 설치 및 냉각 - 챔버 외벽 냉각 라인 구성 2.2 진공 펌프 : 1세트 - 고진공 Cryo 펌프 (외산브랜드): 2300 L/sec 용량 - 저진공 펌핑용 로타리 펌프: 1000 L/min 용량

	- 고진공용 밸브: ISO250 게이트 밸브 - 저진공 밸브: NW 40 앵글 밸브 - 로타리 펌브 자연 배기 밸브 (오일 역류 방지용) - 모든 밸브 및 펌프는 소프트웨어 안전장치 연동하여 구동 2.3 진공 게이지 - Full Range 진공 게이지 : ATM ~ 10^{-10} Torr - 저진공게이지: ATM ~ 10^{-4} torr 펌핑 배관 장착 - 대기압 센서: 증착 챔버, 로드락 챔버 장착 2.4 증착 샘플 회전 및 히팅 모듈 - 166mm x 166mm 크기 샘플 장착 가능 - 1″ x 1″ 조각 샘플 장착 가능 (별도 홀더 이용) - 서보 모터 이용 샘플 회전, Home Position 및 샘플 Clamping/Unclamping 포지션 조정 - 최대 회전 속도 20RPM, Resolution : ± 3% @ 20 rpm - 마스크 교체기능 : In–Vacuum Type : Servo Motor & Position Sensing - 자성유체 씰 구조로 진공도 10^{-8} torr 보장 - 샘플 오염 방지용 셔터 장치, CF 1.33 자성츄체 씰 활용 - 샘플 히팅 기능 Sic Coated Heater Max 500℃ : SiC 코팅 히터, Heating Range: Room temp. ~ 500℃ : 히팅 균일도: ±2% : 온도 분해능 : ± 2% @ 300°C : 온도 정확도 : ± 2% @ 300°C 2.5 증착 소스 : 6세트 (4개 물질 동시 증착 가능) - 저온 유기물 증착 소스: 2set : Temp Range: ~ 700°C : Temp Resolution: ± 1% @ 300°C, Temperature Stability : ±0.5°C : 20cc Effusion Cell Source : 20cc PBN Crucible : Temp 컨트롤러 및 소스 셔터 : 소스 파워: (20V, 20A DC Power) : 2Sets - 고온 유기물 증착 소스: 2set : Temp Range: ~ 1500°C : Temp Resolution: ± 1% @ 1000°C, Temperature Stability : ±0.5°C : 20cc Effusion Cell Source : 20cc PBN Crucible : Temp 컨트롤러 및 소스 셔터 : 소스 파워: (40V, 30A DC Power) : 2 Sets - 메탈 무기물 증착 소스: 2set : 고전압용 피드스로우 : PBN Boat Type (110mm x 12mm x 4t 규격) : 전압, 암페어 미터 및 소스 셔터 : 소스 파워: (10V, 300A) : 2 Sets 2.6 증착 두께 제어 모듈: (4개 물질 동시 제어 가능) - 증착 두께 제어 모듈 (소스제어용)- Cygnus2 : LCD 디스플레이 : 표준 RS-232 및 USB(RS-232 및 이더넷 옵션) : 분해능: ± 0.012 Hz : 증착률 표시: 0.01 Å/sec : 물질 및 프로세스 저장: 100 processes, 1000 layers Storage - 기판 두께 모니터링용 모듈 (기판 모니터링용)-160M

	: LCD 디스플레이 : 표준 RS-232 및 USB(RS-232 및 이더넷 옵션) : 분해능: ± 0.012 Hz : 증착률 표시: 0.01 Å/sec - 크리스탈센서 : 6ea : 증착소스 6ea 장착, : 6MHz 크리스탈 센서 : CF 2.75 피드스로우 (냉각수 및 마이크로 닷). 오실레이터 유닛 및 In-Vacuum 케이블 - 증착 물질 예열 기능: 사용자 설정 온도에 맞추어 소스 내부의 물질 예열 가능 - Transfer Module #3: 진공 로봇(R,θ,Z 3축), 5-slot Loadlock, 반복정밀도±0.1mm, 진공도5×10-6 Torr 이하 ③. 샘플 이송 모듈 (Transfer Chamber & Loadlock Chamber) 3. 진공 샘플 이송 모듈 (Vacuum Transfer Moduel) 1 SET 3.1 트랜스퍼 챔버 : 1 set - 진공 챔버 : Al 8각 챔버, 상부 도어 타입, View Port (Size Ø70) : 5 ea - Sputter, ALD, Sample Flipper 장착 가능하도록 디자인 - 진공 펌프 : 터보 펌프 + 로타리 펌프 - 샘플 감지 센서: 반사형 센서 3.1.1 진공 펌프 : 1세트 - 고진공 Turbo펌프 (외산브랜드): 1100 L/sec 용량 - 저진공 펌핑용 로타리 펌프: 1000 L/min 용량 - 고진공용 밸브: ISO 200 게이트 밸브 (공압 구동) - 저진공 밸브: NW 40 앵글 밸브 - 로타리 펌프 자연 배기 밸브 (오일 역류 방지용) - 모든 밸브 및 펌프는 소프트웨어 안전장치 연동하여 구동 3.1.2 진공 게이지 - Full Range 진공 게이지 : ATM ~ 10^{-10} Torr - 공정 압력 제어 밸브: 0.1 torr Range Baratron Gauge (Heating Type) - 저진공게이지: ATM ~ 10^{-4} torr 펌핑 배관 장착 - 대기압 센서: 증착 챔버, 로드락 챔버 장착 3.1.3 진공 로봇 - 운송 샘플 사이즈 : 166 x 166mm (실리콘, 유리, 유연 기판 등 다양한 상황에 대응 가능하여야 함.) - 하중 용량 : 1.0 kg (standard, excluding the robot arm) - 가동 축 방향 : R, θ, Z Motion - 진공도 : 제품 진공도 5×10^{-6} torr - 가동 온도 : 대기상태 (ATM) : ~ 80℃ / 진공상태 ~ 150℃ - 정밀도: R-axis: < 82 μm /θ-axis 0.009 deg. / Z-axis 1.25 μm - 반복성: ±0.1 mm 3.2 로드락 챔버 : 1 set - 진공 챔버 : Al사각 챔버, 상부도어 타입, View Port (Size Ø70) : 1 ea - 진공 펌프 : 터보 펌프 + 로타리 펌프 - 샘플 감지 센서: 반사형 센서 - 이송 챔버 와 글로브박스 연결 - 글로박스 연동하여 구동 (압력 및 밸브 관련)

- 샘플 Mapping 센서, Lift Up/Down 모듈
- 5 slot Cassette Module 장착

3.2.1 진공 펌프 : 1세트
- 고진공 Turbo펌프 (외산브랜드): 450 L/sec 용량
- 저진공 펌핑용 로타리 펌프: 600 L/min 용량
- 고진공용 밸브: ISO160 플랜지 밸브 (공압 구동)
- 저진공 밸브: NW 25 앵글 밸브
- 로타리 펌프 자연 배기 밸브 (오일 역류 방지용)
- 모든 밸브 및 펌프는 소프트웨어 안전장치 연동하여 구동

3.2.2 진공 게이지
- Full Range 진공 게이지 : ATM ~ 10^{-10} Torr
- 공정 압력 제어 밸브: 0.1 torr Range Baratron Gauge (Heating Type)
- 저진공게이지: ATM ~ 10^{-4} torr 펌핑 배관 장착
- 대기압 센서: 증착 챔버, 로드락 챔버 장착

3.3 로봇/로드락/진공 관련 제어부 (박막 증착 장비 및 글러브 박스와 연동되어 안전 인터락 장치 필요)

3.3.1 로드락 장치 인터락 기능
- 도어 개폐 감지 알람: 도어 개방 시 진공 펌프 및 웨이퍼 매핑 작동 중지.
- 샘플 감지 알람: 샘플 미 감지시 웨이퍼 매핑 작동 중지.
- 웨이퍼 매핑 알람: 웨이퍼 겹침/빠짐/위치 이상 감지시 게이트 밸브 개방 금지 및 로봇 동작 중지.
- 러핑/게이트 밸브 작동 시간 초과 알람: 소프트웨어 설정 시간 초과 시 알람 발생 (Time Out)
- 진공/벤트 시간 초과 알람: 소프트웨어 설정 시간 초과 시 알람 발생 (Time Out).주요 진공 밸브 작동 시간 초과 알람: 소프트웨어 설정 시간 초과 시 알람 발생 (Time Out).
- 저진공/고진공 도달 시간 초과 알람: 소프트웨어 설정된 진공 영역 내 미도달 시 알람 발생 (Time Out).
- 진공 라인 압력 알람: 챔버 TMP 펌프의 역류 방지를 위한 연동 (Interlock) 기능.
- 챔버 벤트 알람 및 압력 제어: 벤트 시간 초과 알람.
- 음압 발생 관련 소프트웨어 설정 시간 초과 알람.
- 하드웨어 인터록 (안전): 챔버 양압 발생 시 릴리프 밸브를 통한 압력 배출.
- 챔버 음압 대응을 위한 이퀄라이저 밸브 설치.
- 대기압(760 Torr) 도달 감지 센서 설정.

3.3.2 트랜스퍼 장치 인터락 기능

항목	기능 설명 / 알람 대응 및 설정 방안	비고 (Software/Hardware)
러핑 밸브(Roughing Valve), 게이트 밸브(Gate Valve) 열림/닫힘 알람	밸브의 열림(Open) 또는 닫힘(Close) 상태가 명령 후 설정된 시간(Time) 내에 완료되지 않을 경우 발생하는 알람	Software Configuration: 시간 설정 가능 (Time Out Alarm)
진공(Vacuum) / 벤트(Vent) 알람	지정된 진공 도달 또는 벤트 완료가 설정된 시간 내에 이루어지지 않을 경우 발생하는 알람	Software Configuration: 시간 설정 가능 (Time Out Alarm)
러핑 밸브 / 포라인 밸브(Fore line Valve) / 하이	각 밸브의 열림(Open) 또는 닫힘(Close) 상태가 명령 후 설정된 시간 내에 확인되지 않을 경우	Software Configuration: 시간 설정 가능 (Time Out Alarm)

진공(Hi Vacuum) 밸브 열림/닫힘 알람	발생하는 알람	
저진공(Low Vacuum) / 고진공(Hi Vacuum) 알람	챔버 내의 진공 압력이 설정된 범위(영역)를 벗어나거나, 목표 진공 도달이 실패했을 경우 발생하는 알람	Software Configuration: 시간 설정 가능 (Time Out Alarm)
진공 라인 진공 알람 (Vacuum Line Vacuum Alarm)	진공 라인의 압력이 일정 수준 이하로 유지되지 않을 경우 발생하는 알람이며, 주로 챔버 크라이오 펌프(Chamber Cryo Pump) 역류 방지를 위한 인터록으로 활용	Interlock: 크라이오 펌프 역류 방지 인터록
챔버 벤트 알람 (Chamber Vent Alarm)	벤트 과정 중 설정된 시간(Over vent time)을 초과하거나, 벤트 완료 후 음압 또는 양압 관련 문제가 감지될 경우 발생하는 알람	Software Configuration: 시간 설정 가능 (Time Out Alarm), 음압 관련 시간 설정 가능Hardware Interlock: Relief Valve 설치 (양압 대응), Equalizer Valve 설치 (음압 대응), ATM Sensor (760 Torr 설정)
웨이퍼 감지 센서(Wafer Detect) / 슬라이딩 센서(Sliding Sensor)	웨이퍼가 정확한 위치에 안착되지 않거나 슬라이딩(Sliding)되는 움직임이 감지될 경우 발생하는 알람	Alarm: Wafer Sliding Alarm
로봇 인터페이스 및 통신 알람 (Robot Interface & Communication Alarm)	트랜스퍼 모듈의 로봇(Robot)과 메인 컨트롤러 간의 통신 오류 또는 인터페이스 문제가 발생했을 경우의 알람	Alarm: 통신 이상 알람

- Glovebox Module #4: 2인용(4포트) 내부 오염도 0.1ppm 이하, 자동 압력 제어, 가스 정제 시스템 포함

4.1 페로브스카이트(Perovskite) 박막 도포, 안티솔벤트 Dropping, 급속 용매 제거(Vacuum Flash) 및 용매 열처리(Solvent Annealing) 공정을 수행하기 위한 고순도 불활성 가스(N_2/Ar) 환경 제어 장치로 수분, 산소 및 유기 용매 증기에 극도로 민감한 페로브스카이트 결정 구조의 열화를 방지하고, 공정 재현성 및 데이터 신뢰성을 확보하기 위해 외부 대기와 완전히 격리된 극저수분·극저산소 드라이 환경 제공

ㅇ 구성

①. 밀폐 모듈(2개 작업대): 1 set

	- 단면형, 4개 포트 Single Length: 2,200(L) X 900(H) X 780(D)mm, - 엘라스토머 가스켓 전면 패널 - 재질: 304 스테인리스 스틸, 본체: 두께 3mm. - 측면 엔드 패널: 두께 3mm, 0.3 미크론 필터: 2개. - LED 천장 조명, 9인치 글러브 포트 (M/C): 4개, 부틸 고무 글러브 (직경 8인치): 2쌍. - 창문: 긁힘 및 충격 저항성, 시각적으로 투명한 폴리카보네이트. - 전기 콘센트: 이중 콘센트 2개 (220V), 글러브 교체 중 대기 보호를 위한 글러브 포트 커버. - 서비스 포트 피드스루: NW40(2개), 3/8"(1개), 1/4"(1개). - 선반: 2단. - 누설 인증: 헬륨 질량 분석기로 보정된 ±8" W.C 상태에서 감지가능한 누설 없음. ②. 전실 : 1세트 - 글로브박스 우측에 설치 - 크기: 직경 390(mm) 길이 600mm, 고진공 설계, O-링 밀폐 - 진공 게이지: 부르동 튜브 다이얼 타입 - 연결: 3/8" backfill solenoid valve. - 진공 펌프: 로타리 펌프, 도달진공도: 1 x 10^{-3} torr, Doors. - 누설 인증: 헬륨 질량 분석기로 보정된 ±8" W.C 상태에서 감지 가능한 누설 없음. ③. 소형 전실 : 1개 - 글로브박스 우측에 설치 - 크기: 직경 150mm x 길이 290mm (Length), 문 : 싱글 중앙 클램프, O-ring. - 진공 게이지 : 부르동 튜브 다이얼타입, 진공 용량 : 1 x 10^{-3} torr. - 연결: 1/4" Manual refill ball valve ④. 자동 압력 제어기(Color Touch Panel) : 1세트 - <u>-12.5mbar 에서 12.5 mbar,</u> 제한 조정이 용이할 것 - 압력 측정 및 한계 설정. 자동 제어가 켜져 있거나 꺼져 있어도 수동 풋 스위치 작동. - 두 개의 솔레노이드 밸브 작동. 가스 압력 : 10 psi에서 30 psi(권장 압력 약 25psi) ⑤. Dri Trap (정화 시스템) : 1세트 - 1 ppm 대기에서 자동 대기 감소 제어 - 산소/수분 1 ppm 이하 제거, 제어: PLC 타입 (열, 진공, 퍼지, 재충전: 13시간) - 재생을 위한 공압 밸브, 순환 블로워: 63 CFM, 1/4 hp. (가변 속도 제어) - 정화제 충전 용량 (산소 게터 및 분자체) - 2단, 전원 220V, 단상 ⑥. 지지대 : 1세트 - 크기: 2,200(L) x 936(H) x 780(D)mm. - 재료: SS400(강철), 도색 : C9010 MR WHITE, Caster. ⑦. 제어장치 : 1세트 - PLC + 터치 판넬 제어 (10″ 터치 스크린) - 데이터 모니터링 및 이력 확인 기능을 제공하여야 한다. ⑧. 수분 분석기 : 1세트 - 정확도 : ± 2℃ - 반복성 : ± 0.5℃ - 해상도 : 0.1℃ 또는 0.1 ppm - 출력 : 4-20mA DC. 최대 부하 250Ω - 측정 범위 : 0 ~ 1,000 ppm - 작동 온도 : -40 ~ +60℃ - 작동 압력 : 최대 45 MPa (450 barg / 6500 psig) ⑨. 산분 분석기 : 1세트

	- 지르코니아 셀 타입 (CE 인증) - 반복성 : ± 0.5% - 작동압력: 대기압 ~ 10-3Pa - 측정 범위 : 0.001 ~ 1,000 ppm - 가스 측정 온도 : 100℃ ⑩. 용매 트랩 (화학형) : 1세트 - 글러브 박스 지지대 내 설치 - 특수 설계된 배관 및 화학 필터. - 공압식 차단 밸브 및 바이패스 밸브, NW40 클램프. - 자동 PLC 타입 재생 과정. ⑪. 글브박스 내부 온도 조절 장치 (Heat-Exchanger) 모듈 2세트 - 글러브박스 내부 좌측 상단 장착 - 냉각용 블록 과 송풍용 블로우 구성 - 온도 감지 센서 - 박스 내부 온도 20℃ 이하 유지 - Vaccum Flash #5: 페로브스카이트 공정 중 잔류 유기 용매를 급속으로 제거 (Rapid Solvent Removal)하기 위한 진공 플래시 처리시스템. 글로브박스(Glovebox) 내부 제어 패널을 통한 자동 제어, 사각형 챔버 구조, 공압 실린더 기반의 자동 도어 개폐 시스템 및 APC(Auto Pressure Control) 밸브를 통한 정밀 압력 제어 기능 도달 진공도 (Chamber Ultimate Pressure): 1.0 x 10-3 Torr 이하 공정 진공도 (Chamber Working Pressure): 5~7초 이내 7.5 x 10-2 Torr 이하 도달 처리 샘플 크기 (Sample Size): 6인치 웨이퍼 1ea (Max 6" Wafer) 제어 방식 (Control System): 글로브박스 전용 제어 패널을 통한 시스템 자동 제어 (Auto Control) 도어 개폐 방식: 공압 실린더(Pneumatic Cylinder) 기반 자동 개폐 방식 사용 용매 (Solvents Compatible): DMF, DMSO, NMP 등 유기 용매 챔버 및 도어 구조: 사각 박스형 (Square Box Type), 상부 도어 개폐 구조 챔버 내부 규격: 320mm(W) 420mm(D) 235mm(H) 재질 (Material):챔버 바디: SUS 316L (전해연마 Electro-Polished 처리) 내식성 로터리 펌프 (Corrosion Resistant Rotary Pump): 1500 L/min , 내식성 구동 (내식성 오일 적용 (PFPE Oil Compatibility)) 압력 제어 밸브 (APC Control Valve): NW40 버터플라이 타입 스로틀 밸브 (Butterfly Type Throttle Valve) / 반응 속도: 1.0초 미만 (Less than 1.0 sec) 진공 게이지 및 센서 유닛 (Vacuum Gauge Control Unit): 저진공, ATM, Baratron Gauge (1torr) Gas Supply Unit: Ar MFC 유닛 & Valve - System Control #6: - 시스템 통합 제어 및 UI (System Integration & Dual Monitor UI)통합 PC 제어 시스템 (PC-Based Master Control): PVK, CTLm TM, LL 모듈 및 글로브박스 환경 제어, Vacuum Flash System의 모든 공정을 단일 PC에서 실시간 통합 제어 및 모니터링. - 듀얼 모니터 관제 환경 (Dual Monitor Interface): Primary Monitor: 전체 시스템의 진공도, 압력, 펌프 및 밸브 실시간 상태 모션 그래픽 표시 Secondary Monitor: 실시간 데이터 트렌드 그래프, 다단계 레시피 편집기, Alarm & Event Log 모니터링 화면 전용 배치 - 사용자 권한 관리 및 보안 (User Management):Operator, Engineer, Administrator 등 등급별 로그인 권한 제어 기능 제공 - 풀 오토 공정 제어 및 레시피 (Full Auto Process Control): 작업자의 개입 없이 전 과정을 풀 오토(Full Auto) 실행 가능해야 한다 - 다단계 정밀 레시피 제어 (Multi-step Recipe Management): 각 챔버별 증착, 히팅, 진공도 제어 연속 공정 가능

- 데이터 로깅 및 이력 관리 (Data Logging & History Management):
  이벤트 로그 실시간 저장 (Real-Time Event Log)
  알람 이력 및 인터락 관리 (Alarm History & Interlock System)
  공정 데이터 자동 추출 (Data Export)

구성 챔버	특징	연구 기여도
페로브 증착용 Evaporator	고순도 유/무기 전구체 열 증착을 통한 페로브스카이트 층 제어	고품질의 결정성 박막 형성 및 조성 제어 (유무기 구분으로 교차 오염 최송화 및 공정 안전성 확보)
CTL 증착용 Evaporator	전자/정공 수송층 (CTL) 소재의 유기물 증착	계면 결함 최소화 및 층별 에너지 준위 정밀 제어
샘플 이송 모듈	진공중 샘플을 이송할 수 있는 로봇 및 카세트 타입 로드락 모듈 장착	10-6 Torr 진공도에서 증착 샘플에 대한 이송 기능으로 고품질 소자 제작
글로브박스	Solution Base 흡수층 제조 공정	0.1 ppm 이하의 산소, 수분 농도 조절 장치, 내부 온도 20℃ 이하 유지 장치 포함
Vaccum Flash	유기 용매를 급속으로 제거후 박막 결정	5~7초 이내 7.5 x 10-2 Torr 이하 도달
System Control	PC 제어	자동화 제어

4. 성능 사양

1. 페로브스카이트 성능 검증 사양

Material	PbI_2, PbBr, CsI, CsBr, KI	FAI
Thickness (Sample:166x166 mm)	500 nm	500 nm
wafer-to-wafer & in wafer uniformity (min. 9 points)	<2%	<3%
wafer-to-wafer uniformity (min. 3 wafers)	<2%	<3%
Depo. rate Accuracy	≤2%	≤3%
Analysis Tool	Ellipsometer, SEM, TEM, AFM	
Measuring point	9 point (5 mm Edge exclusion)	
Vacuum Level	Base Pressure: 2.0 x 10^{-7} torr with in 60min	

2. CTL 성능 검증 사양

증착공정	성막조건	BCP: 50 nm 및 100 nm / uniformity <3% 이내	9 point, Ellipsometer 측정
		C60: 50 nm 및 100 nm /	

		uniformity <3% 이내	
		LiF: 50 nm / uniformity <3% 이내	
		MgF2: 50 nm 및 100 nm / uniformity <3% 이내	
		MoOx: 50 nm / uniformity <3% 이내	
	Effusion cell 증발속도 제어조건	BCP: 0.5 Å/s / accuracy <3% 이내	Control Panel, QCM Controller
		C60: 0.1 Å/s / accuracy <3% 이내	
		LiF: 0.1 Å/s / accuracy <3% 이내	
		MgF2: 0.1 Å/s / accuracy <3% 이내	
		MoOx: 0.5 Å/s / accuracy <3% 이내	

3. Transfer Module 성능 검증 사양

진공 이송 챔버와 연동 및 자동화 공정	Free Control (Robot Resolution Test)	R-axis: <82 μm	Dial Gauge, Control Panel	기판 정렬조건 : 1000회 기판 이송 시 불량 2회 미만
		θ-axis 0.009 deg		
		Z-axis 1.25 μm		
	Loading / Unloading Test	로드락챔버 <--> 이송챔버	Pick & Place Test	
		로드락챔버 <--> 이송챔버 <--> 공정챔버		
	Wafer Detecting Test	로드락챔버 Position	Control Panel, Alarm	
		공정챔버 Position		

4. Glove Box 성능 검증
- 수분 및 산소 농도 유지 검증 (H_2O & O_2 Level Test):검증 방법: 불활성 가스(N_2 또는 Ar) Purge 및 Purifier 가동 후 실시간 센서 측정
- 수분(H2O) < 0.1ppm, 산소(O2) < 0.1ppm 도달 및 10일 이상 연속 유지가 가능해야 함.
- 기밀성 및 누설 테스트 (Leak Rate Test):검증 방법: 순화 장치 가동을 정지하고 박스를 양압 +5 ~ +10 mbar 상태로 밀봉 후 시간당 압력 강화 측정
  합격 기준: ISO 10648-2 Class 1 기준 만족
  (Leak rate: < 0.05 vol%/h)이상
- 이상 가압 및 자동 밸브 차단 검증 (Safety & Overpressure Test): 검증 방법: Box Purge 진행 중 강제로 박스 내 압력을 설정치 이상으로 상승 감지 유도

합격 기준: 설정 압력 초과 즉시 Gas Inlet Valve가 자동 차단되며, 진공 펌프 및 솔레노이드 밸브가 작동하여 압력을 정상 제어

5. Vacuum Flash System 성능 검증 사양
- 급속 감압 속도 및 공정 진공도 검증:
  검증 방법: 사각 챔버 도어 밀봉 후 Pumping 시작 시점부터 목표 진공 도달 시간 측정
  합격 기준: Pumping 개시 후 10초 이내에 공정 진공도 7.5 x 10-2 Torr 이하 도달
- 자동 압력 제어(APC) 및 응답 속도 검증:
  검증 방법: APC 버터플라이 밸브 동작 시 압력 추종 성능 및 반응 속도 측정
  NW40 APC 밸브 반응 속도 1.0초 미만, 제어 분해능 1/16,000 수준의 정밀 제어가 가능해야 함.
- 펌프 및 오일 내식성 검증 (PFPE Oil & Corrosion Test):
  검증 방법: 유기 용매(DMF, DMSO, NMP) 유입 조건 환경 시험 및 펌프 구동 상태 점검
  합격 기준: 유기 용매 투입후 Pumping 개시 후 10초 이내에 진공도 도달
  7.5 x 10-2 Torr 이하 도달

6. 자동화(PC Control) 성능 검증 사양
납품 관련 제작품은 아래의 공정 특성을 보증하여야 하고, 자동화 공정을 1000회 실시할 경우 에러 발생이 2회 이하여야 함.
또한 증착 장비와 연동한 연속 공정도 충족 되어야 함.

분류	항목	상세 내용	검증 방법
진공 로봇	자유 제어 (로봇 정밀도 측장)	R-axis: <82μm	Dial Gauge, Control Panel
		θ-axis 0.009deg	
		Z-axis 1.25μm	
	로딩 / 언로딩 테스트	LL <--> TM	Pick & Place Test
		LL <--> TM <--> PVK, CTL, TCO 챔버	
	웨이퍼 감지 테스트	LL Position	Control Pane, Alarm
		PVK, CTL, TCO Position	
Cassette Elevator	자유 제어 (로드락 Z-모션 테스트)	상한 위치 제어	Control Pane, Detecting Sensor
		원점 위치 제어 (Origin)	
		하한 위치 제어	
	Loadlock Position Test	Slot 1	Control Pane Detecting Sensor
		Slot 2	
		Slot 3	
		Slot 4	
		Slot 5	
	Sample Pick & Place Test	Slot 1	육안 검사
		Slot 2	
		Slot 3	

			Slot 4	
			Slot 5	

5. 설치, 교육 및 사후관리	숙련된 엔지니어의 장비 설치 및 시험가동 진행 사용자 교육 7일 / 관리자 교육 14일 무상 제공 보증기간 동안 2회 동일 교육 추가 무상 제공
6. 품질보증 기간 (Warranty)	1년
7. 납기일자	2027년 2월 12일 이내
8. 계약업체 제출서류	
9. 참가자격	
10. 참가자격 제출서류	
11. 기타사항	화학나노과학과 / 김경곤 교수 / kimkk@ewha.ac.kr