

대분류/19
전기·전자

중분류/03
전자기기개발

소분류/06
반도체개발

세분류/03
반도체장비

능력단위/27

NCS학습모듈

반도체 진공 플라스마 장비 유지보수

LM1903060327_19v1



교육부

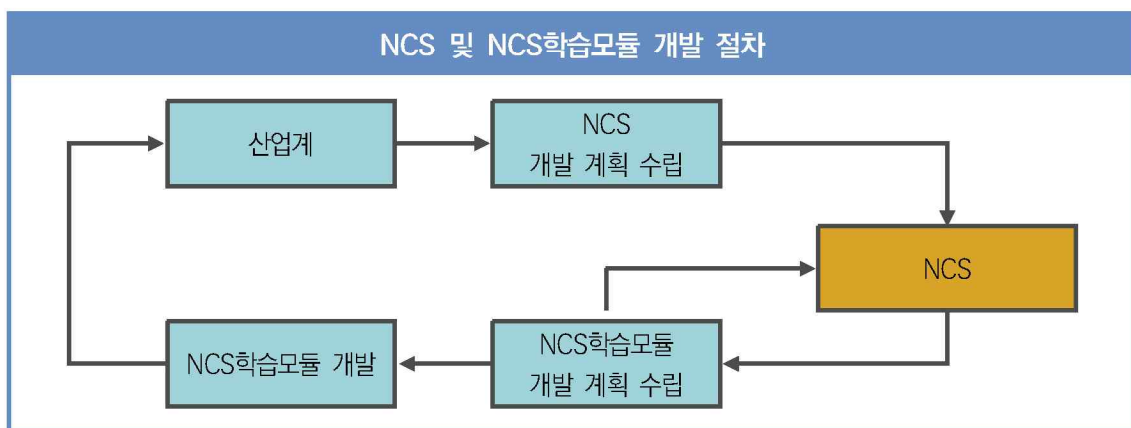
NCS 학습모듈은 교육훈련기관에서 출처를 명시하고 교육적 목적으로 활용할 수 있습니다. 다만 NCS 학습모듈에는 국가(교육부)가 저작권 일체를 보유하지 않은 저작물들(출처가 표기되어 있는 도표, 사진, 삽화, 도면 등)이 포함되어 있으므로 이러한 저작물들의 변형, 복제, 공연, 배포, 공중 송신 등과 이러한 저작물들을 활용한 2차 저작물의 생성을 위해서는 반드시 원작자의 동의를 받아야 합니다.

NCS학습모듈의 이해

※ 본 NCS학습모듈은 「NCS 국가직무능력표준」사이트(<http://www.ncs.go.kr>) 에서 확인 및 다운로드할 수 있습니다.

I NCS학습모듈이란?

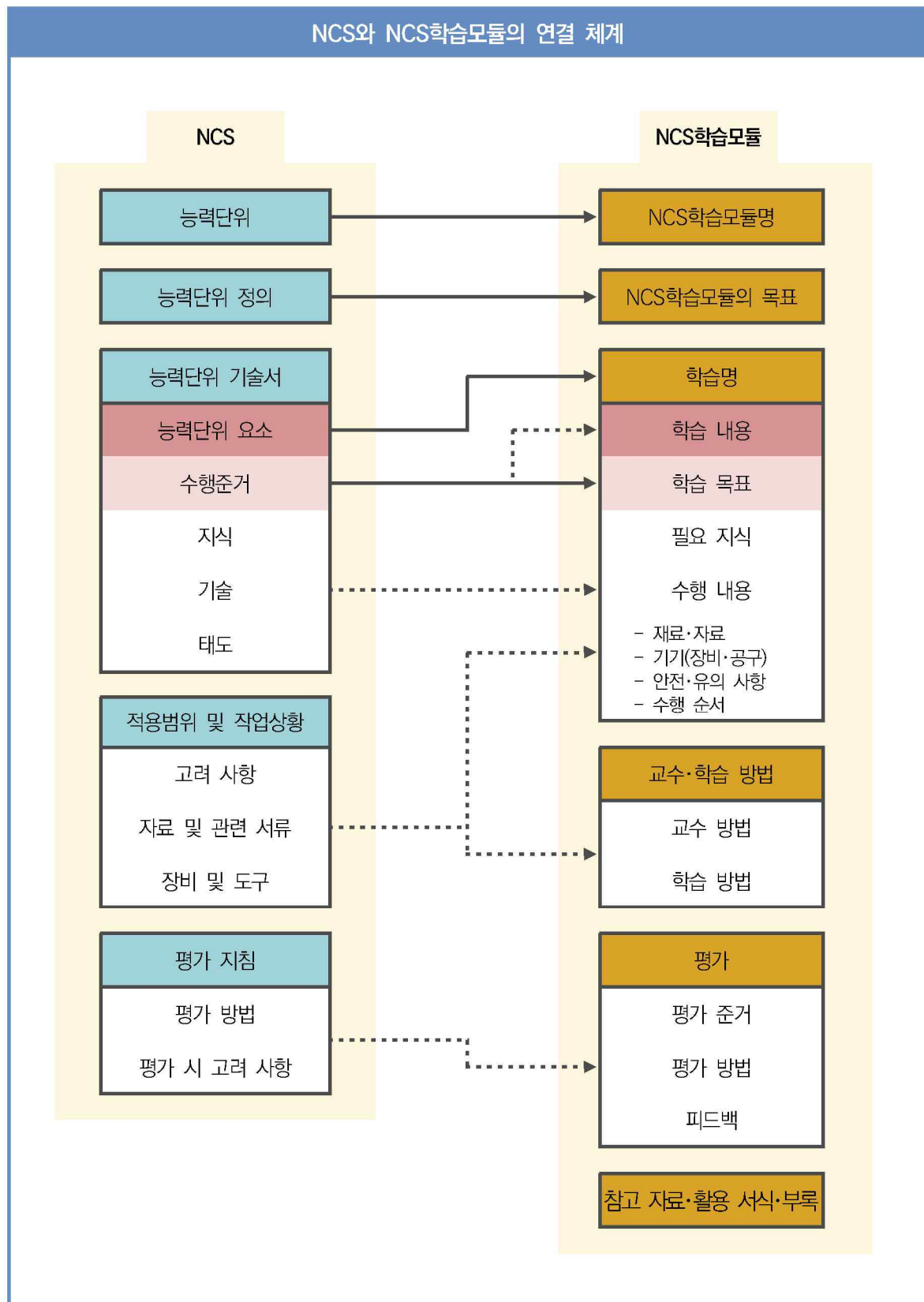
- 국가직무능력표준(NCS: National Competency Standards)이란 산업현장에서 직무를 수행하기 위해 요구되는 지식·기술·소양 등의 내용을 국가가 산업부문별·수준별로 체계화한 것으로 산업현장의 직무를 성공적으로 수행하기 위해 필요한 능력(지식, 기술, 태도)을 국가적 차원에서 표준화한 것을 의미합니다.
- 국가직무능력표준(이하 NCS)이 현장의 ‘직무 요구서’라고 한다면, **NCS학습모듈은 NCS의 능력단위를 교육훈련에서 학습할 수 있도록 구성한 ‘교수·학습 자료’입니다.** NCS학습모듈은 구체적 직무를 학습할 수 있도록 이론 및 실습과 관련된 내용을 상세하게 제시하고 있습니다.



○ NCS학습모듈은 다음과 같은 특징을 가지고 있습니다.

- 첫째, NCS학습모듈은 산업계에서 요구하는 직무능력을 교육훈련 현장에 활용할 수 있도록 성취목표와 학습의 방향을 명확히 제시하는 가이드라인의 역할을 합니다.
- 둘째, NCS학습모듈은 특성화고, 마이스터고, 전문대학, 4년제 대학교의 교육기관 및 훈련기관, 직장교육기관 등에서 표준교재로 활용할 수 있으며 교육과정 개편 시에도 유용하게 참고할 수 있습니다.

○ NCS와 NCS학습모듈 간의 연결 체계를 살펴보면 아래 그림과 같습니다.



II NCS학습모듈의 체계

○ NCS학습모듈은 1. NCS학습모듈의 위치, 2. NCS학습모듈의 개요, 3. NCS학습모듈의 내용 체계, 4. 참고 자료, 5. 활용서식/부록으로 구성되어 있습니다.

1. NCS학습모듈의 위치

○ NCS학습모듈의 위치는 NCS 분류 체계에서 해당 학습모듈이 어디에 위치하는지를 한 눈에 볼 수 있도록 그림으로 제시한 것입니다.

[NCS-학습모듈의 위치]		
대분류	문화·예술·디자인·방송	
중분류	문화콘텐츠	
소분류	문화콘텐츠제작	
세분류		
방송콘텐츠제작	능력단위	학습모듈명
영화콘텐츠제작	프로그램 기획	프로그램 기획
음악콘텐츠제작	아이템 선정	아이템 선정
광고콘텐츠제작	자료 조사	자료 조사
게임콘텐츠제작	프로그램 구성	프로그램 구성
애니메이션 콘텐츠제작	캐스팅	캐스팅
만화콘텐츠제작	제작계획	제작계획
캐릭터제작	방송 미술 준비	방송 미술 준비
스마트문화앱 콘텐츠제작	방송 리허설	방송 리허설
영사	야외촬영	야외촬영
	스튜디오 제작	스튜디오 제작

학습모듈은

NCS 능력단위 1개당 1개의 학습모듈 개발을 원칙으로 합니다. 그러나 필요에 따라 고용단위 및 교과단위를 고려하여 능력단위 몇 개를 묶어 1개 학습모듈로 개발할 수 있으며, NCS 능력단위 1개를 여러 개의 학습모듈로 나누어 개발할 수도 있습니다.

2. NCS학습모듈의 개요

○ NCS학습모듈의 개요는 학습모듈이 포함하고 있는 내용을 개략적으로 설명한 것으로

학습모듈의 목표, 선수학습, 학습모듈의 내용 체계, 핵심 용어 로 구성되어 있습니다.

학습모듈의 목표	해당 NCS 능력단위의 정의를 토대로 학습 목표를 작성한 것입니다.
선수학습	해당 학습모듈에 대한 효과적인 교수·학습을 위하여 사전에 이수해야 하는 학습모듈, 학습 내용, 관련 교과목 등을 기술한 것입니다.
학습모듈의 내용 체계	해당 NCS 능력단위요소가 학습모듈에서 구조화된 체계를 제시한 것입니다.
핵심 용어	해당 학습모듈의 학습 내용, 수행 내용, 설비·기자재 등 가운데 핵심적인 용어를 제시한 것입니다.

제작계획 학습모듈의 개요

학습모듈의 목표

본격적인 촬영을 준비하는 단계로서, 촬영 대본을 확정하고 제작 스태프를 조직하며 촬영 장비와 촬영 소품을 준비할 수 있다.

선수학습

제작 준비(LM0803020105_13v1), 섭외 및 제작스태프 구성(LM0803020104_13v1), 촬영 제작(LM0803020106_13v1), 촬영 장비 준비(LM0803040204_13v1.4), 미술 디자인 협의하기(LM0803040203_13v1.4)

학습모듈의 내용체계

학습	학습 내용	NCS 능력단위 요소	
		코드번호	요소 명칭
1. 촬영 대본 확정하기	1-1. 촬영 구성안 검토와 수정	0803020114_16.3.1	촬영 대본 확정하기
2. 제작 스태프 조직하기	2-1. 기술 스태프 조직 2-2. 미술 스태프 조직 2-3. 전문 스태프 조직	0803020114_16.3.2	제작 스태프 조직하기
3. 촬영 장비 계획하기	3-1. 촬영 장비 점검 과 준비	0803020114_16.3.3	촬영 장비 계획하기
4. 촬영 소품 계획하기	4-1. 촬영 소품 목록 작성 4-2. 촬영 소품 제작 의뢰	0803020114_16.3.4	촬영 소품 계획하기

핵심 용어

촬영 구성안, 제작 스태프, 촬영 장비, 촬영 소품

학습모듈의 목표는

학습자가 해당 학습모듈을 통해 성취해야 할 목표를 제시한 것으로, 교수자는 학습자가 학습모듈의 전체적인 내용흐름을 파악하도록 지도할 수 있습니다.

선수학습은

교수자 또는 학습자가 해당 학습모듈을 교수·학습하기 이전에 이수해야 하는 교과목 또는 학습모듈(NCS 능력단위) 등을 표기한 것입니다. 따라서 교수자는 학습자가 개별 학습, 자기 주도 학습, 방과 후 활동 등 다양한 방법을 통해 이수할 수 있도록 지도하는 것을 권장합니다.

핵심 용어는

해당 학습모듈을 대표하는 주요 용어입니다. 학습자가 해당 학습모듈을 통해 학습하고 평가받게 될 주요 내용을 알 수 있습니다. 「NCS 국가직무능력표준」 사이트(www.ncs.go.kr)의 색인(찾아보기) 중 하나로 이용할 수 있습니다.

3. NCS학습모듈의 내용 체계

○ NCS학습모듈의 내용은 크게 **학습**, **학습 내용**, **교수·학습 방법**, **평가**로 구성되어 있습니다.

학습	해당 NCS 능력단위요소 명칭을 사용하여 제시한 것입니다. 학습은 크게 학습 내용, 교수·학습 방법, 평가로 구성되며 해당 NCS 능력단위의 능력단위 요소별 지식, 기술, 태도 등을 토대로 내용을 제시한 것입니다.
학습 내용	학습 내용은 학습 목표, 필요 지식, 수행 내용으로 구성되며, 수행 내용은 재료·자료, 기기(장비·공구), 안전·유의 사항, 수행 순서, 수행 tip으로 구성한 것입니다. 학습모듈의 학습 내용은 실제 산업현장에서 이루어지는 업무활동을 표준화된 프로세스에 기반하여 다양한 방식으로 반영한 것입니다.
교수·학습 방법	학습 목표를 성취하기 위한 교수자와 학습자 간, 학습자와 학습자 간 상호 작용이 활발하게 일어날 수 있도록 교수자의 활동 및 교수 전략, 학습자의 활동을 제시한 것입니다.
평가	평가는 해당 학습모듈의 학습 정도를 확인할 수 있는 평가 준거 및 평가 방법, 평가 결과의 피드백 방법을 제시한 것입니다.

학습 1	촬영 대본 확정하기
학습 2	제작 스태프 조직하기
학습 3	촬영 장비 계획하기
학습 4	촬영 소품 계획하기

2-1. 기술 스태프 조직

학습 목표

- 프로그램 제작에 적합한 기술 스태프를 조직할 수 있다.

필요 지식 /

1. 기술 스태프의 구성
 프로그램의 장르에 따라 구성하는 기술 스태프는 많은 차이가 있다. 같은 장르의 프로그램이라도 그 형식이나 내용, 규모에 따라서 구성되는 기술 스태프의 종류와 인원 수는 천차만별이다.

1. 스튜디오 프로그램
 토크쇼, 종합 구성, 예능과 같은 스튜디오 프로그램은 부조정실과 스튜디오를 사용하여 제작하기 때문에 많은 기술 스태프가 필요하다.

학습은
 해당 NCS 능력단위요소 명칭을 사용하여 제시하였습니다. 하나의 학습은 일반교과의 ' 대단원'에 해당되며, 학습모듈을 구성하는 가장 큰 단위가 됩니다. 또한 하나의 직무를 수행하기 위한 가장 기본적인 단위로 사용할 수 있습니다.

학습 내용은
 NCS 능력단위요소별 수행준거를 기준으로 제시하였습니다. 일반교과의 '중단원'에 해당합니다.

학습 목표는
 학습 내용을 이수할 때 학습자가 갖춰야 할 행동 수준을 의미합니다. 따라서 수업시간의 과목 목표로 활용할 수 있습니다.

필요 지식은
 해당 NCS의 지식을 토대로 학습에 대한 이해와 성과를 제고하기 위해 반드시 알아야 할 주요 지식을 제시하였습니다. 필요 지식은 수행에 꼭 필요한 핵심 내용을 위주로 제시하여 교수자의 역할이 매우 중요하며, 이후 수행 순서와 연계하여 교수·학습으로 진행할 수 있습니다.

수행 내용 / 기술 스태프 구성표 작성하기

재료·자료

- 방송프로그램 제작 기획서 및 방송 대본, 콘티(continuity), 제작 일정, 운용표
- 장비 및 시설, 제작 시설 배정 의뢰서 및 배정표, 방송 기술 스태프 데이터베이스(DB) 자료

기기(장비·공구)

- 컴퓨터 등

안전·유의 사항

- 프로그램의 내용과 제작 방법을 분석하고, 각 스태프들의 역할을 신중하게 검토한다.

수행 순서

1. 방송 대본이나 콘티(continuity), 큐 시트를 분석하고, 프로그램의 내용적 특성, 제작 과정에 대한 자료를 수집한다.
2. 프로그램 제작 방법을 결정한다.
 1. 스튜디오 녹화를 할 것인가, 야외 촬영을 할 것인가 검토한다.

수행 tip

- 스태프의 결정은 스태프 간의 호흡을 중 요시하여 선정해야 프로그램의 질을 향 상시킬 수 있다.

수행 내용은

해당 학습모듈에서 제시한 내용 중 기술(skill)을 습득하기 위한 실습과제로 활용 할 수 있습니다.

재료·자료는

수행 내용을 수행하는데 필요한 재료 및 준 비물로 실습 시 활용할 수 있습니다.

기기(장비·공구)는

수행 내용에 필요한 기본적인 장비 및 도구 를 제시하였습니다. 제시된 기기 외에도 수 행에 필요한 다양한 도구나 장비를 활용할 수 있습니다.

안전·유의사항은

수행 내용을 수행하는 데 있어 안전상 주 의해야할 점 및 유의사항을 제시하였습니 다. 실습 시 유념해야 하며, NCS의 고려 사항도 추가적으로 활용할 수 있습니다.

수행 순서는

실습 과제의 진행 순서로 활용할 수 있습 니다.

수행 tip은

수행 내용에서 실습을 용이하게 할 수 있는 아이디어를 제시하였습니다. 수행 tip은 지 도상의 안전 및 유의사항 외에 전반적으로 적용되는 주안점 및 수행 과제 목적에 대한 보충설명, 추가사항 등으로 활용할 수 있습 니다.

학습2 교수·학습 방법

교수 방법

- 방송 프로그램의 기술적 요소, 미술 구성 요소, 특수 촬영에 대해 설명한다.
- 방송 프로그램 제작에서 각 기술 스태프의 역할에 대해 설명한다.
- 방송 프로그램을 분석하고 필요한 기술 스태프를 구성할 수 있도록 지시한다.

학습 방법

- 방송 프로그램의 기술적 요소, 미술 구성 요소, 특수 촬영에 대해서 알아본다.
- 프로그램 제작에 필요한 기술 스태프의 역할을 이해하고, 기술 스태프 구성표를 작성한다.

교수·학습 방법은

학습 목표를 성취하는 데 필요한 교수 방 법과 학습 방법을 제시하였습니다.

교수 방법은

해당 학습 활동에 필요한 학습 내용, 학습 내용과 관련된 자료명, 자료 형태, 수행 내 용의 진행 방식 등에 대하여 제시하였습니 다. 또한 학습자의 수업참여도 제고 방법 및 수업 진행상 유의사항 등도 제시하였습 니다. 선수학습이 필요한 학습을 학습자가 숙지하였는지 교수자가 확인하는 과정으로 활용할 수도 있습니다.

학습 방법은

해당 학습 활동에 필요한 학습자의 자기 주도 학습 방법을 제시하였습니다. 또한 학습자가 숙달해야 할 실기 능력과 학습 과정에서 주의해야 할 사항 등도 제시하 였습니다. 학습자가 학습을 이수하기 전 반드시 숙지해야 할 기본 지식을 학습하 였는지 스스로 확인하는 과정에 활용할 수 있습니다.

학습2

평가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준	상	중	하
기술 스태프 조직	- 프로그램 제작에 적합한 기술 스태프를 조직할 수 있다.				
미술 스태프 조직	- 프로그램 제작에 적합한 미술 스태프를 조직할 수 있다.				
전문 스태프 조직	- 프로그램 특수 촬영을 위한 전문 스태프를 조직할 수 있다.				

평가 방법

- 사례 연구

학습 내용	평가 항목	성취수준	상	중	하
기술 스태프 조직	- 프로그램에서 기술적 요소의 파악 여부 - 기술 스태프의 역할 파악 여부 - 프로그램에 필요한 기술 스태프 구성표 작성 능력				

피드백

- 사례 연구
 - 프로그램을 선택하여 기술 스태프, 미술 스태프, 전문 스태프 구성표를 예시와 같이 작성하였는지 개인별 능력을 평가한 후, 그 결과를 모든 학습자에게 공유하도록 한다.

평가는

NCS 능력단위의 평가 방법과 평가 시 고려사항을 준용하여 작성합니다. 교수자와 학습자가 평가 항목별 성취수준 확인 시 활용할 수 있습니다.

평가 준거는

학습자가 학습을 어느 정도 성취하였는지 평가하기 위한 기준을 제시하고 있습니다. 학습 목표와 연계하여 단위수업 시간에 평가 항목 별 성취수준을 평가하는 데 활용할 수 있습니다.

평가 방법은

NCS 능력단위의 평가 방법을 참고하였으며, 평가 준거에 따른 평가 방법을 2개 이상 제시합니다. 평가 방법의 종류는 포트폴리오, 문제해결 시나리오, 서술형 시험, 논술형 시험, 사례 연구, 평가자 체크리스트, 작업장 평가 등이 있으며, NCS 능력단위 요소 별 수행 수준을 평가하는 데 가장 적절한 방법을 선정하여 활용할 수 있습니다.

피드백은

평가 후에 학습자들에게 평가 결과를 피드백하여 학습 목표를 달성하는 데 활용할 수 있습니다.

4. 참고 자료

참고 자료

- 교육부(2013). 섭외 및 제작스태프 구성(LM0803020104_13v1). 한국직업능력개발원.

참고 자료는

해당 학습מוד에 제시된 인용 자료의 출처를 제시하였습니다. 교수·학습의 과정에서 참고로 활용할 수 있습니다.

5. 활용 서식/부록

활용 서식

스튜디오 기술 스태프 구성표

직종	이름	연락처	소속	특이사항	비고
기술감독					
조명감독					

활용 서식은

평가 서식, 실습 시트 등 교수·학습 시 활용할 수 있는 다양한 서식들로 구성하였습니다. 수행에서 평가에 이르기까지 필요한 서식을 해당 모듈의 특성에 맞춰 개발하거나 기존의 양식을 활용하여 제시하였습니다.

부록

[디지털 텔레비전 방송프로그램 음량 등에 관한 기준]

제정 2014. 11. 29. 미래창조과학부 고시 제2014-87호

제1장 총칙

제1조(목적) 이 고시는 방송법 제70조의2제1항에 따라 방송사업자가 디지털 텔레비전 방송프로그램 및 방송광고의 음량을 일정하게 유지하기 위해 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

부록은

활용 서식 이외에 교수·학습 과정에서 참고할 수 있는 자료가 있는 경우 제시하였습니다.

[NCS-학습מוד의 위치]

대분류	전자전자	
중분류	전자기기개발	
소분류	반도체개발	

세분류

반도체개발	능력단위	학습מוד명
반도체제조	반도체 장비 컨셉 설계	반도체 장비 컨셉 설계
반도체장비	반도체 장비 주요부 기구 설계	반도체 장비 주요부 기구 설계
반도체재료	반도체 장비 유틸리티 기구 설계	반도체 장비 유틸리티 기구 설계
	반도체 장비 시스템 소프트웨어 개발	반도체 장비 시스템 소프트웨어 개발
	반도체 장비 전장 설계	반도체 장비 전장 설계
	반도체 장비 생산관리	반도체 장비 생산관리
	반도체 장비 고객지원	반도체 장비 고객지원
	반도체 장비 보드 설계	반도체 장비 보드 설계
	반도체 장비 보드 로직 설계	반도체 장비 보드 로직 설계
	반도체 장비 유틸리티 소프트웨어 개발	반도체 장비 유틸리티 소프트웨어 개발
	반도체 장비 통신 소프트웨어 개발	반도체 장비 통신 소프트웨어 개발
	반도체 장비 성능 평가	반도체 장비 성능 평가
	반도체 장비 공정 성능 평가	반도체 장비 공정 성능 평가
	반도체 장비 품질관리	반도체 장비 품질관리

반도체 장비 품질보증	반도체 장비 품질보증
반도체 장비 기구 조립	반도체 장비 기구 조립
반도체 장비 기구 조립 검증	반도체 장비 기구 조립 검증
반도체 장비 전장 조립	반도체 장비 전장 조립
반도체 장비 전장 조립 검증	반도체 장비 전장 조립 검증
반도체 광학 장비 유지보수	반도체 광학 장비 유지보수
반도체 진공 플라스마 장비 유지보수	반도체 진공 플라스마 장비 유지보수
반도체 케미칼 가스 장비 유지보수	반도체 케미컬 가스 장비 유지보수
반도체 장비 안전관리	반도체 장비 안전관리

차 례

학습모듈의 개요	1
----------	---

학습 1. 진공 장비 원리 파악하기

1-1. 진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	3
• 교수·학습 방법	15
• 평가	16

학습 2. 플라스마 장비 원리 파악하기

2-1. 플라스마 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	18
• 교수·학습 방법	35
• 평가	36

학습 3. 진공·플라스마 대상 측정하기

3-1. 진공 및 플라스마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치	38
• 교수·학습 방법	51
• 평가	52

학습 4. 진공·플라스마 장비 셋업하기

4-1. 진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교	54
• 교수·학습 방법	60
• 평가	61

학습 5. 진공·플라스마 장비 유지 보수하기

5-1. PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행	63
--	----

• 교수·학습 방법	69
------------------	----

• 평가	70
------------	----

참고 자료	72
-------------	----

반도체 진공 플라즈마 장비 유지보수 학습모듈의 개요

학습모듈의 목표

진공 및 플라즈마를 사용하는 반도체 장비에서 이와 관련된 장비의 원리 이해 및 부품을 운용, 유지 보수 할 수 있다.

선수학습

Etch 장비 운영(LM1903060202_14v3), 확산 장비운영(LM1903060203_14v3), 반도체 테스트 장비 운영(LM1903060206_14v3)

학습모듈의 내용체계

학습	학습 내용	NCS 능력단위 요소	
		코드번호	요소 명칭
1. 진공 장비 원리 파악하기	1-1. 진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	1903060327_19v1.1	진공 장비 원리 파악하기
2. 플라즈마 장비 원리 파악하기	2-1. 플라즈마 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	1903060327_19v1.2	플라즈마 장비 원리 파악하기
3. 진공플라즈마 대상 측정하기	3-1. 진공 및 플라즈마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치	1903060327_19v1.3	진공플라즈마 대상 측정하기
4. 진공플라즈마 장비 셋업하기	4-1. 진공 및 플라즈마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교	1903060327_19v1.4	진공플라즈마 장비 셋업하기
5. 진공플라즈마 장비 유지 보수하기	5-1. PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행	1903060327_19v1.5	진공플라즈마 장비 유지 보수하기

핵심 용어

진공설비, 플라즈마, 라디칼, RF power, Electrode

학습 1

진공 장비 원리 파악하기

학습 2	플라스마 장비 원리 파악하기
학습 3	진공·플라스마 대상 측정하기
학습 4	진공·플라스마 장비 셋업하기
학습 5	진공·플라스마 장비 유지 보수하기

1-1. 진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비

학습 목표

- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)을 검증할 수 있다.
- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리에 따라 설치 준비를 할 수 있다.

필요 지식 /

① 진공 장비

1. 진공의 정의

(1) 이론물리학의 진공

이론물리학에서 진공은 에너지가 0인 상태를 뜻한다. 에너지가 0이 아니지만, 진공과 비슷한 성질을 가진 상태를 ‘가짜 진공(False Vacuum)’이라고 부른다. 물리학의 양자장론(QFT: Quantum Field Theory)에서의 진공은 매질이다. 고전적인 전자기파의 관점에서 진공은 전자기파의 효과가 일어나는 표준이 되는 매질이라고 여겨진다. 일부 과학자들은 이 표준을 ‘고전 진공’이라고도 한다.

(2) 실험과학의 진공

실험적으로 아무런 입자도 존재하지 않는 공간을 만들 수는 없기 때문에 대기압보다 낮은 압력을 가지는 계(System)는 전부 진공이라고 부른다. 진공의 표준 정의는 “어떤 용기 속의 자체 압력과 그 입자의 농도가 주변을 둘러싼 대기의 농도보다 낮은 기체의 상태이다.

2. 진공의 질

진공의 질은 그 계 안에 남아 있는 물질들의 양에 의해 결정된다. 그래서 높은 질의 진공계

안에는 아주 적은 양의 물질들만이 남아 있다. 진공은 주로 그 진공의 절대압력으로 측정되지만, 진공을 확실하게 특정 짓기 위해서는 온도나 화학적 구성 같은 다른 요소도 측정되어야 한다. 진공의 질은 진공을 만드는 기술이나 진공을 측정하는 기술에 의해 더 세분화된 다. 이 범위는 전 세계적으로 정해진 것은 아니지만, 보통의 분포는 다음을 따른다.

〈표 1-1〉 진공 단위

구분	torr	Pa
대기압	760	101.3kPa
Low Vacuum	760 to 25	100 ~ 3kPa
High Vacuum	25 to 1×10^{-3}	3kPa ~ 100MPa
$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-9}$	100MPa ~ 100nPa	
Ultra High Vacuum	$1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-12}$	100nPa ~ 100pPa
우주공간	$1 \times 10^{-6} \sim \langle 3 \times 10^{-17}$	100 μ Pa ~ $\langle 3$ fPa
완전한 진공	0	0 Pa

(1) 진공의 측정

진공은 압력의 단위로 측정되며, 보통 지구의 대기압에 대해 상대적으로 측정된다. 그러나 상대적으로 측정될 수 있는 진공의 양은 각 지역의 조건에 따라 다르다. 지구의 대기압보다 압력이 훨씬 높은 목성의 표면에서는 더 높은 진공 상태를 측정할 것이다. 대기가 거의 없는 달의 표면에서는 그 지역의 환경에 대해 상대적으로 측정할 수 있는 진공을 만드는 것이 아주 힘들 것이다. 비슷하게, 지구의 깊은 바다에서는 보통보다 훨씬 높은 진공을 측정할 수 있다.

(가) 정역학 진공계

정역학 진공계는 다른 압력에 노출된 액체의 기둥으로 구성되어 있다. 그 기둥은 각각의 끝부분의 압력차에 의해 그 무게가 평형을 이룰 때까지 높이가 유동적으로 움직인다. 가장 간단한 예는 한쪽이 닫혀 있는 자 모양 튜브인데, 그 한쪽 부분은 우리가 관심 있는 대상과 이어져 있다. 어떤 유체든지 사용될 수 있으나, 높은 밀도와 낮은 증기압을 가진 수은이 선호된다. 간단한 정역학 진공계는 1torr부터 대기압 이상까지의 압력을 측정할 수 있다. 정역학 진공계의 변형 중 중요한 맥레오드 진공계(Mcleod Gauge)는 부피를 이미 알고 있는 진공을 격리하고 액체 기둥의 높이를 변화할 수 있게 압축한다. 맥레오드 진공계는 10^{-6} torr(0.1MPa)만큼 높은 진공을 측정할 수 있으며, 이것은 현재 기술로 직접적으로 측정할 수 있는 가장 낮은 압력이다. 다른 진공계들은 더 낮은 압력도 측정할 수 있지만, 다른 압력에 의해 조절되는 성질

에 의해 간접적으로 측정할 수 있을 뿐이다. 이런 간접적인 측정은 직접적인 측정을 통해 영점 조절이 되어야 하며, 보통 맥레오드 진공계가 여기에 사용된다.

(나) 기계 진공계

기계 진공계(Mechanical Gauge) 또는 탄성 압력계는 부르동관, 격판, 또는 측정하려는 곳의 압력에 의해 모습이 바뀌는 금속으로 만든 캡슐 등에 의존한다. 이 아이디어의 변형으로 만든 격판이 각각의 축전기를 구성하는 정전 압력계(Capacitance Manometer)이다. 압력의 변화는 격판에 굴곡을 형성하고 이것은 축전기를 변화시킨다. 이 진공계들은 10^{+3} torr부터 10^{-4} torr까지와 그보다 더 높은 값들을 측정할 수 있다.

(다) 열전도 진공계

열전도 진공계는 압력의 감소에 따라 기체가 열을 더 잘 전달한다는 사실에 기반한다. 이런 종류의 측정기에서는 와이어 필라멘트가 그에 흐르는 전류에 의해 가열된다. 열전대 또는 저항 측온기는 그 필라멘트의 온도를 측정하는 데 사용될 수 있다. 이 온도는 필라멘트가 근처의 기체들에 열을 빼앗기는 속도와 관계되어 있어서, 결국 열전도도와 관련이 있다. 이 측정기들은 10torr에서 10^{-3} torr까지의 압력 범위에 정확하나, 이 측정기들은 측정되는 기체의 구성 성분에 의해 영향을 받는다.

(라) 이온 게이지

이온 게이지는 초고진공에 사용된다. 이 측정기들은 열음극과 냉음극 등 두 가지 종류로 나뉜다. 열음극 형태의 경우에는 전기에 의해 가열된 필라멘트가 전자빔을 생성한다. 그 전자들은 측정기를 통과해 지나가며 근처의 기체 분자를 이온화한다. 그 결과로 나온 이온들은 음극에 모인다. 그에 의한 전류는 이온의 개수에 비례하며, 결국 측정기 안의 압력에 비례하게 된다. 열음극 측정기는 초고진공에 사용된다. 10^{-3} torr부터 10^{-10} torr의 범위까지 정확하다. 냉음극 측정기의 원리도 전자들이 고압의 방전에 의해 생성된다는 것 외에 똑같다. 냉음극 측정기는 10^{-2} torr부터 10^{-9} torr의 범위에서 정확하다. 이온화 진공 게이지의 영점 조절은 만들어진 구조, 측정되는 기체의 구성 성분, 부식과 표층 퇴적물 등에 아주 민감하다. 이온화 진공 게이지의 영점조절은 대기압 또는 저진공의 환경에 의해 무효화될 수 있다. 고진공에서의 기체의 구성 성분은 보통 예측 불가능해서 질량 분석계와 이온화 진공 게이지를 같이 써야 정확히 측정할 수 있다.

3. 진공의 사용 범위

진공은 아주 다양한 곳에 사용된다. 먼저 화학적 분해로부터 필라멘트를 보호하는 역할을 한다. 초고진공만이 원자 수준에서의 요철이 적은 표면을 만드는 데 적합하기 때문에 이러한 원자 수준의 기질 연구에 주로 쓰이게 된다. 이런 진공 기술은 표면 과학, 반도체의 핵심적인 세 가지 기술 즉, 가스를 반응관에 흐르게 하여 박막을 형성시키는 화학증착, 기화

된 금속 증기 진공에 있는 표면에 응축시켜 박막을 형성시키는 물리증착, 반도체 표면을 진공에 있는 가스계로 부식시켜서 가공하는 드라이 에칭에 필수 요소이다. 진공은 끓는 점을 낮추어 물질들의 기화를 촉진하기 때문에 다량의 수분을 함유한 재료를 쉽게 건조할 때 사용하는 동결건조, 순수한 물질을 얻기 위한 증류, 금속공학, 그리고 배기 기술에 사용되고 있다. 마지막으로 공기저항을 없애는 효과는 빠른 속도를 요구하는 초원심분리기 등에 사용되고 있다.

4. 진공의 생성과 진공 기기

(1) 진공의 생성

진공을 생성하는 방법에는 먼저 용기의 부피를 늘리는 방법이 있다. 그 예로, 인체가 인위적으로 횡격막을 늘리게 되면 폐의 부피가 그에 따라 늘어나게 되어 공기가 인체 내로 유입하게 된다. 이러한 인체의 호흡 과정도 진공펌프라고 볼 수 있다. 하지만 계속해서 용기의 부피를 늘리는 일은 쉽지 않다. 대신에 폐쇄된 용기의 공기를 계속해서 빼내게 되면 용기 안은 점점 진공 상태가 된다.

그 외에도 다양한 용적 펌프를 포함한 다른 펌프들이 개발되어 왔다. 실제로 운동량 전달 펌프는 용적 펌프보다 효율이 훨씬 좋다. 어떠한 펌프로 만들 수 있는 최소의 압력은 그 펌프 자체의 성능뿐만 아니라 사용되는 펌프의 개수에도 의존한다. 많은 펌프가 직렬로 연결되어 더 좋은 진공을 만들어낼 수 있다. 용기의 기하적 구조, 유입 구멍의 크기와 모양, 재질 등 모든 것이 펌프의 성능을 좌우한다. 이러한 것들을 통틀어 '진공 기술'이라고 부른다.

(2) 진공 도달 속도와 누설 방지 기술

낮은 압력을 만들어내는 것만이 진공펌프의 성능은 아니다. 낮은 압력을 만들어내는 데 걸리는 시간 그리고 공기가 새는 것을 방지하는 능력 등 여러 요인이 좋은 펌프를 결정한다.

(3) 초고진공계의 요소

초고진공계에서는 공기가 새는 세밀한 경로나, 아웃개싱(Outgassing)이 일어나는 원인 물질 등 많은 것을 고려해야 한다. 백금족 원소 팔라듐과 알루미늄의 흡습성, 스테인리스, 철과 티타늄의 흡착성은 분명히 초고진공계를 구성할 때 고려되어야 한다. 여기에 기계를 구성하는 데 필수적인 윤활유도 아웃개싱개싱을 일으킬 수 있으므로 반드시 고려되어야 한다. 주된 영향을 미치지 않지만, 진공계 용기 벽의 투과성과 이음 부분의 플랜지 이음 방향 역시 고려해야 한다. 최근에 제작된 가장 좋은 진공계가 10^{-13} torr를 형성한다고 한다. 하지만 극저온 환경에서는 5×10^{-17} torr까지도 압력이 내려간다고 한다.

(4) 평균자유경로(MFP: mean free path)

진공의 중요한 요소 중 하나는 남아 있는 기체 분자들이 서로 부딪히기 전에 평균적으로 이동한 거리, 즉 평균자유경로(MFP)이다. 기체의 밀도가 낮아질수록 평균자유경로의

값은 증가하며, 평균자유경로의 값이 방, 펌프, 우주선 또는 진공이 있는 그 공간보다 길면 유체역학의 연속체 가정(Continuum Assumptions of Fluid Mechanics)이 성립하지 않는다. 이러한 진공 상태를 고진공이라고 부르며, 이 공간을 흐르는 유체에 대한 연구를 기체입자역학(Particle Gas Dynamics)이라 한다. 대기압에서 공기의 평균자유경로는 70nm로 매우 짧으나 상온, 100MPa에서의 공기의 평균자유경로는 100mm 정도로 길다. 크룩스 방사계는 그것들의 날개들의 길이가 평균자유경로보다 작을 때 작동한다.

수행 내용 / 진공 장비 원리 파악하기

재료·자료

- 진공 게이지
- 테플론 테이프
- 진공 চে임버
- 진공밸브

기기(장비 · 공구)

- 로터리펌프
- 터보펌프

안전 · 유의 사항

- 로터리펌프 가동 전원 스위치의 접촉 불량에 의한 퓨즈 단선에 유의하여야 한다.
- 터보펌프 가동 시 চে임버 내 진공이 10^{-3} torr 이하인지 반드시 확인한 후 가동한다.
- 고진공 게이지 사용 전에 진공도가 10^{-3} torr 이하인지 반드시 확인한다.

수행 순서

- ① 고진공 চে임버(High Vacuum Chamber)의 가동 원리를 파악한다.

고진공 চে임버를 가동하기 위하여 진공장치와 진공 게이지를 사용하여 진공 চে임버 내의 진공을 조성하고, 진공도를 단계마다 측정한다. 단계마다 진공도를 측정함과 동시에 저진공 조성 단계에서 포어 라인(Fore Line)과 러핑 라인(Roughing Line)의 공간을 로터리펌프(Rotary Pump) 1. 2로 펌핑하여 10^{-3} torr 이하의 진공도를 유지하게 한다.

1. 진공 장비와 부품

진공에 사용되는 장비는 주로 진공펌프와 진공 챔버이며, 부품은 진공 게이지와 진공밸브로 나뉜다.

(1) 진공 챔버

진공 챔버는 공정을 진행하는 진공이 잡힌 반응 공간을 말한다.

(가) 진공 챔버의 종류

진공 챔버의 종류는 진공도의 등급에 따라 세 가지로 분류할 수 있다.

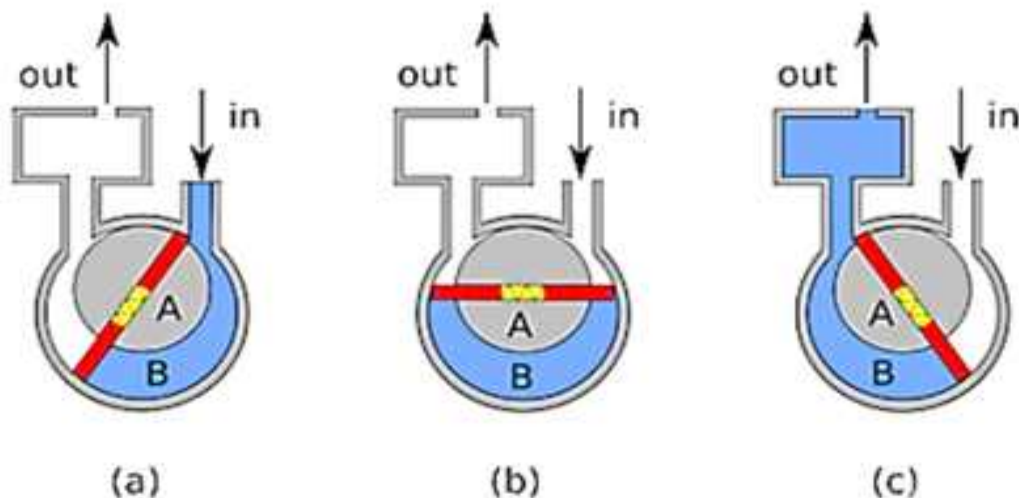
1) 저진공(Low Vacuum Chamber): 진공도($< 10^{-3}\text{torr}$)

2) 고진공(High Vacuum): 진공도($< 10^{-7}\text{torr}$)

3) 초고진공(Ultra High Vacuum): 진공도($< 10^{-8}\text{torr}$)

(2) 진공펌프

진공펌프는 진공을 이용하여 유체 등을 끌어올리는 펌프를 의미한다. 진공도와 펌프의 성능에 따라 여러 가지로 분류된다.



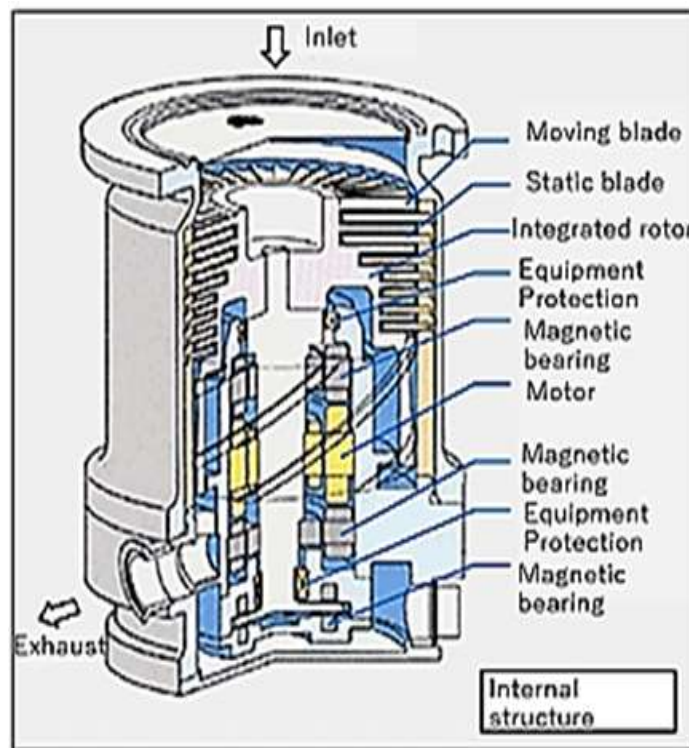
출처: 네이버 물리학백과(<https://terms.naver.com>)에서 2022. 6. 22. 검색.

[그림 1-1] 회전 진공펌프(Rotary Vacuum Pump)

회전자(Rotor)의 기계적인 회전으로 유체를 바깥으로 제거하는 진공펌프를 말한다. 여러 가지 종류가 있으나, 보통 회전 베인펌프(Rotary Vane Pump)를 말한다, 회전 진공펌프는 정지자(Stator) 내부에 회전자(Rotor)가 회전하면서 회전자에 달린 베인(Vane)이 정지자의 벽과 밀착하여 회전하면서 유체를 한쪽 방향으로 밀어내는 구조이다. 이때 회전자의 회전축은 정지자의 중심에서 벗어나 있다. 1874년 미국의 발명가인 반즈(Charles Barnes)가 고안하였다. [그림 1-1]은 이 펌프의 작동 원리를 보여주는데, A가 회전자, B가 유체이며, (a) → (b) → (c) 순서로 회전자가 회전하면서 유체를 제거한다.

(가) 터보펌프

터보 분자펌프는 블레이드의 회전에 의해 작동 기체 분자에 모멘텀 트랜스퍼(Momentum Transfer)가 일어나 기체 분자를 원하는 방향으로 나가게 함으로써 배기에 의한 진공을 만드는 장치이다. 많은 디스크와 블레이드가 고속으로 회전해야 하기 때문에 회전축을 부상하기 위해 베어링을 사용하며, 회전 성능에 따라 볼베어링 및 자기베어링을 사용한다. 볼베어링은 윤활유의 증발에 의한 유적이 청정성을 나쁘게 할 수 있고, 모터와 펌프의 냉각 외에 축과 접촉된 베어링의 과열을 막기 위한 냉각시스템 추가와 베어링 수명 제한으로 인한 부품 교체 등의 단점이 있다. 이를 극복한 제품이 자기베어링을 이용한 터보 분자펌프로, 전자기력을 이용하여 회전축을 부상 지지하는 베어링으로 베어링의 공극을 유지하는 기술이다.



출처: ULVAC(<https://showcase.ulvac.co.jp>)에서 2022. 6. 23. 스크린샷.
[그림 1-2] 터보펌프의 구조

터보 분자 펌프는 블레이드의 회전에 의해 작동 기체 분자에 모멘텀 트랜스퍼(Momentum Transfer)가 일어나 기체 분자를 원하는 방향으로 나가도록 함으로써 배기에 의한 진공을 만드는 장치이다. 많은 디스크와 블레이드가 고속으로 회전해야 하기 때문에 회전축을 부상시키기 위해 베어링을 사용하는데, 회전 성능에 따라 볼베어링 및 자기베어링을 사용하고 있고, 볼베어링은 윤활유의 증발에 의한 유적이 청정성을 나쁘게 할 수 있고, 모터와 펌프의 냉각 외에 축과 접촉된 베어링의 과열을 막기 위한 냉각 시스템 추가와 베어링 수명제한으로 인한 부품 교체 등의 단점이 있다. 이를 극복한 제품이 자기베어링을 이용

한 터보 분자 펌프로, 전자기력을 이용하여 회전축을 부상 지지하는 베어링으로 베어링의 공극을 유지시키는 기술이다.

(나) 크라이오펌프(Cryopump)

체임버 내부에 존재하는 기체 중에서 크라이오펌프 내부에 부착된 극저온(10~15K)의 크라이오패널(Cryopanel, 극저온 패널)에 부딪히는 대부분의 기체 분자(N_2 , Ar 등)가 응축되어 진공을 만들며, 수소, 헬륨 등의 평형 증기압이 높은 기체 분자는 활성탄을 통해 흡착하여 배기한다. 배플(Baffle)과 실드(Shield)에는 체임버 내 분포가 가장 많은 수분을 중심으로 응축되어 크라이오패널의 배기 능력을 높인다. 고진공용 크라이오펌프는 $10^{-7}Pa(10^{-9}torr)$ 이하의 깨끗한 진공을 만들 수 있으며, 또 크라이오펌프는 $10^{-1}Pa \sim 10^{-7}Pa$ 의 넓은 압력 범위에 대해 높은 배기 속도를 가지고 있다.

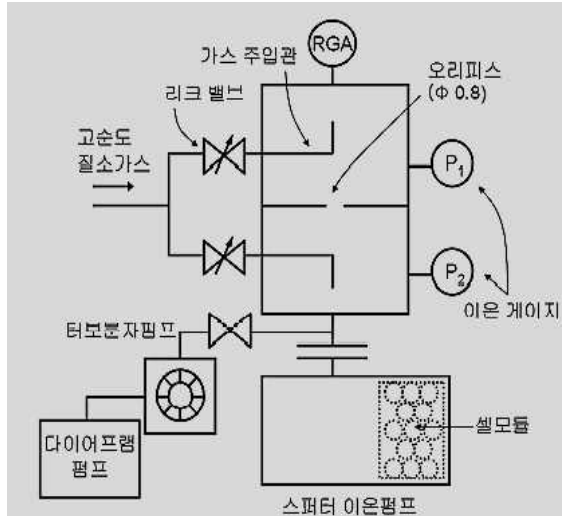


출처: OO사. Feature(<https://www.ulvac-cryo.co.kr/products/cryo-pump/feature.php>)에서 2022. 7. 19. 스크린샷.

[그림 1-3] 크라이오펌프

(다) 스퍼터 이온펌프(Sputter Ion Pump)

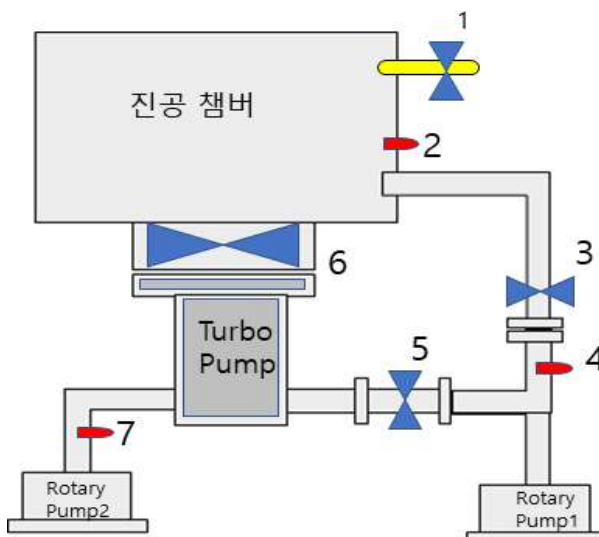
스퍼터 이온펌프는 1958년 홀(L. D. Hall)이 개발한 진공펌프로, 상업적으로도 성공하였다. 그 후에 다양한 측면에서 성능이 발전하여 최근에는 터보 분자펌프 및 크라이오펌프와 더불어 초고진공 영역에서의 대표적인 진공펌프로 널리 사용되고 있다. 스퍼터 이온펌프는 터보 분자펌프와는 달리 외부와 완전히 차단되는 진공 시스템을 구축할 수 있어서 안전하고, 기계적인 진동이 전혀 없으므로 원자현미경 STM이나 분자선 에피택시(MBE) 등 정밀성을 요구하는 실험에도 적합하다. 또한, 비교적 간단한 전자기적 원리로 작동하므로, 구동부나 복잡한 기계적 장치가 필요 없고 전력 소모량도 적다.



출처: 한국진공학회지, 별집형 셀 구조를 가지는 스퍼터 이온펌프의 성능 분석
 (https://koreascience.kr/article/JAKO200601919972947.pdf)에서 2022. 6. 23. 스크린샷.
 [그림 1-4] 스퍼터 이온펌프

2. 고진공 চে임버(High Vacuum Chamber) 조성

고진공 চে임버를 조성하기 위하여 로터리펌프(Rotary Pump)와 진공 게이지를 가동한 후 다음 순서대로 밸브와 진공 게이지를 조절한다. 고진공 চে임버 조성에서 로터리펌프만으로는 10^{-6} torr 이하의 진공도를 조성하기는 어렵다. 따라서 저진공용 펌프인 로터리펌프를 포어 라인과 러핑 라인에 연결하여 10^{-3} torr 이하로 미리 펌핑해 놓고 다음 단계로 터보펌프를 가동하여 10^{-6} torr 이하로 고진공을 조성하는 단계를 밟아야 한다. 포어 라인과 러핑 라인을 10^{-3} torr 이하로 펌핑할 때 진공도를 10^{-3} torr 이하로 펌핑이 되는지와 이후 10^{-3} torr 이하로 유지되는지를 확인하기 위하여 사용되는 것이 진공 게이지이다. [그림 1-5] 진공 시스템 개략도에서 2번, 4번, 7번이 이때 사용하는 진공 게이지이다.



출처: 집필진 제작(2022)
 [그림 1-5] 진공 시스템 개략도

(1) 고진공 체임버 진공 시스템의 부품 명칭과 기능

[그림 1-5]의 부품 명칭과 기능은 다음과 같다.

(가) 벤트 밸브(Vent Valve)

번호 1의 벤트 밸브는 진공 체임버의 진공을 해제할 때 사용하는 밸브이다. 주로 장비의 점검 및 보수를 실행할 때 열어주는 밸브이다.

(나) 체임버 진공 게이지(Chamber Vacuum Gauge)

번호 2의 체임버 진공 게이지는 진공 체임버의 진공을 해제할 때와 펌핑할 때 사용하는 게이지로, 장비의 진공도를 확인하는 용도이다.

(다) 러핑 밸브(Roughing Valve)

번호 3의 러핑 밸브는 터보펌프 가동 전에 진공 체임버의 진공도를 10^{-3} torr 이하가 되도록 예비로 진공을 뽑을 때 열어주는 밸브이다.

(라) 러핑 게이지(Roughing Gauge)

번호 4의 러핑 게이지는 터보펌프 가동 전에 진공 체임버의 진공도를 10^{-3} torr 이하로 예비로 뽑아 주는 단계에서 러핑 라인의 진공도를 확인하는 게이지이다.

(마) 포어 라인 밸브(Fore Line Valve)

번호 5의 포어 라인 밸브는 포어 라인과 러핑 라인을 분리해 주는 밸브이며, 러핑 펌핑 때와 포어 라인 펌핑 때 반드시 닫혀 있어야 한다.

(바) 메인 밸브

번호 6의 메인 밸브는 터보펌프로, 진공 체임버의 내부를 고진공으로 형성할 때 열어주는 밸브이다.

(사) 포어 라인 게이지(Fore Line Gauge)

번호 7의 포어 라인 게이지는 터보펌프를 가동하기 전 포어 라인 진공도를 로터리펌프로 10^{-3} torr 이하로 뽑아 줄 때 진공도를 확인하기 위하여 사용한다. 진공도를 확인하는 이유는 포어 라인이 10^{-3} torr 이하로 떨어지지 않은 상태에서 터보펌프를 가동할 때 회전속도(RPM: revolutions per minute)가 30,000~50,000 이상인 터보펌프의 날개가 손상을 입으므로, 터보펌프를 가동하기 전에 반드시 진공도를 확인하기 위하여 사용하는 게이지이다.

(아) 로터리펌프 1

번호 3의 러핑 밸브는 터보펌프 가동 전에 진공 체임버의 진공도를 10^{-3} torr 이하가 되도록 예비로 진공을 뽑아 줄 때 열어주는 밸브이다.

(자) 러핑 게이지 1

번호 4의 러핑 게이지1은 터보펌프 가동 전에 진공 체임버의 진공도를 10^{-3} torr 이하로 예비로 뽑아 주는 단계에서 러핑 라인의 진공도를 확인하는 게이지이다.

(차) 터보펌프

번호 5의 포어 라인 밸브는 포어 라인과 러핑 라인을 분리해 주는 밸브이며, 러핑 펌핑 때와 포어 라인 펌핑 때 반드시 닫혀 있어야 한다.

(카) 진공 চে임버

번호 6의 메인 밸브는 터보펌프로, 진공 চে임버의 내부를 고진공으로 형성할 때 열어주는 밸브이다.

(2) 러핑 펌핑

고진공 চে임버를 조성하려면 터보펌프를 가동해야 하는데, 터보펌프는 회전속도가 3만~5만rpm으로 매우 빠르므로 진공도가 낮은 경우 블레이드가 손상될 수 있다. 그러므로 চে임버를 터보펌프로 펌핑하기 전에 반드시 로터리펌프로 러핑 펌핑을 할 필요가 있다.

(가) 러핑 펌핑의 순서

고진공 চে임버를 조성하기 위한 단계로, 제일 먼저 러핑 펌핑을 하여야 한다.

1) 러핑 밸브를 열어준다.

로터리펌프 1로 러핑 펌핑을 하기 위하여 주변의 밸브를 모두 잠그고 러핑 밸브만 열어준다. 주변의 모든 밸브를 잠그는 이유는 로터리펌프 2 내부에 있는 오일과 이물질이 끌려 올라와서 배관과 진공 চে임버를 오염시킬 수 있기 때문이다. 이때 주의해야 할 점은 진공 চে임버가 진공이 잡혔는지 확인해야 한다. 그 이유는 진공 চে임버 내 진공도가 높으면 로터리펌프 1 가동 시 기류가 로터리펌프 1의 펌핑 방향과 반대로 진공이 높은 চে임버 쪽으로 쏠리면서 역류하므로, 로터리펌프 1의 가동 부품에 무리를 주게 되며, 로터리펌프 1 내부의 오일과 이물질이 চে임버 쪽으로 역류하여 চে임버를 오염시킨다. 그러므로 최초 러핑 펌핑할 때는 러핑 게이지와 메인 চে임버 게이지를 관찰하여 두 곳 모두 대기압 상태이거나 진공도가 차이가 나지 않는 유사한 상태인지 확인한 후 러핑 펌핑을 해야 한다.

2) 로터리펌프 1의 스위치를 누른다.

러핑 펌핑을 하기 위하여 로터리펌프 1의 스위치를 누른다. 또는 컨트롤 컴퓨터 상의 “On”을 클릭한다. 그리고 [그림 1-5]에서 번호 4의 러핑 게이지를 관찰하면서 진공도가 10^{-3} torr 이하로 떨어질 때까지 기다린다.

(3) 포어 라인 펌핑

고진공 চে임버를 조성하려면 터보펌프를 가동하여야 하는데, 터보펌프는 회전속도가 3만~5만rpm으로 매우 빠르므로, 진공도가 낮은 경우 블레이드가 손상될 수 있다. 그러므로 চে임버의 진공도와 더불어 포어 라인의 진공도도 10^{-3} torr 이하로 떨어뜨려야 터보펌프를 무리 없이 가동할 수 있다.

(가) 포어 라인 펌핑 순서

포어 라인 펌핑은 다음 순서대로 진행한다.

1) 로터리펌프 2를 가동한다.

[그림 1-5]의 7번 부품 포어 라인 게이지를 관찰하면서 펌핑을 진행한다.

2) 터보펌프를 가동한다.

[그림 1-5]의 7번 부품 포어 라인 게이지의 진공도가 10^{-3} torr 이하로 떨어지면 터보펌프의 버튼 “On”을 클릭한다.

(4) 진공 체임버를 펌핑한다.

고진공 체임버를 조성하기 위하여 앞서 (2)의 러핑 펌핑과 (3)의 포어 라인 펌핑이 선행되어야 하며, 이후로 러핑 라인과 포어 라인의 진공도가 문제가 없을 때 터보펌프를 가동하여 진공 체임버를 펌핑하게 된다. 이때 진공 체임버의 펌핑은 실험을 위하여 최종적으로 필요한 진공을 조성하기 위해 실행하는 고진공 펌핑이므로, 터보펌프를 사용하여 10^{-6} torr 이상의 고진공을 조성할 수 있게 된다.

(가) 진공 체임버 펌핑 순서

진공 체임버의 펌핑은 다음 순서대로 진행한다.

1) 메인 체임버의 진공도 확인

[그림 1-5]에서 번호 6의 메인 밸브를 열어서 진공 체임버를 펌핑하기 전에 주의할 점은 3번 러핑 밸브를 잠근 후 체임버의 진공도가 10^{-3} torr 이하로 유지되는 상태를 확인한 후 메인 밸브를 열어야 한다는 점이다. 그 이유는 메인 체임버의 진공도가 10^{-3} torr 이상일 경우 포어 라인과 압력차에 의해서 터보펌프의 로터(Rotor) 부위에 저항이 생기고 터보펌프에 무리가 가게 된다.

2) 터보펌프의 회전속도 확인

체임버의 진공도가 10^{-6} torr 이하로 떨어지게 만들려면 고진공펌프인 터보펌프를 가동하여야 하는데, 그러기 위해서 고진공펌프인 터보펌프의 정상적인 가동 상태를 확인하여야 하고, 가동 상태는 터보펌프의 분당 회전수(RPM: revolutions per minute)를 계기판에서 읽어서 확인할 수 있다. 보통의 터보펌프의 회전수는 50,000rpm 이상이어야 정상 상태로 간주할 수 있으며, 최초 가동 시에는 단계적으로 5,000~30,000rpm 단계를 거치면서 지속적으로 가속하여 50,000rpm까지 속도를 올린 후 유지되어야 한다.

3) 메인 밸브를 연다.

체임버의 진공도가 10^{-3} torr 이하로 유지되는 상태와 터보펌프의 회전속도를 확인한 후 메인 밸브를 연다. 메인 밸브를 열면 터보펌프의 회전에 의해서 메인 체임버의 진공도가 10^{-6} torr 이하로 떨어지게 된다.

학습 1 교수·학습 방법

교수 방법

- 고진공 체임버의 가동 원리를 설명한다.
- 진공 체임버의 종류를 설명하고 특징을 지도한다.
- 진공 체임버의 부품에 관하여 설명한다.
- 진공펌프의 종류와 특성에 관해 지도한다.
- 고진공펌프인 터보펌프와 크라이오펌프에 관해 설명하고 특징을 이해하게 한다.

학습 방법

- 고진공 체임버의 가동 원리를 이해하고 숙지한다.
- 진공 체임버의 종류에 관하여 학습하고 이해한다.
- 진공 체임버의 부품에 관하여 종류별 특징을 숙지한다.
- 고진공펌프와 저진공펌프의 분류 방법을 이해하고 학습한다.
- 진공 체임버의 조성 방법을 학습하고 숙지한다.

학습 1 평 가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준		
		상	중	하
진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)을 검증할 수 있다.			
	- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리에 따라 설치 준비할 수 있다.			

평가 방법

- 서술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 이해 여부			
	- 진공 장비의 작동 원리 숙지 여부			
	- 진공 장비의 작동 메커니즘의 파악된 원리에 따라 설치 준비할 수 있는 지식 수준			

- 논술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 구성하는 능력			
	- 진공 장비의 작동 원리를 설명할 수 있는 능력			
	- 진공 장비의 작동 메커니즘의 파악된 원리에 따라 설치 준비 및 실행할 수 있는 능력			

피드백

1. 서술형 시험

- 서술형 시험 평가 결과, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 하고 그 결과를 확인한다.
- 진공 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 이용하여 설치 준비할 수 있는 능력과 그에 따른 대책과 방법을 이해하는지 평가한 후, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 하고 그 결과를 확인한다.

2. 논술형 시험

- 논술형 시험의 기술 내용을 확인하고 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하는지 평가한 후, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 하고 그 결과를 확인한다.
- 진공 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 구성하는 능력을 평가한 결과, 성취 수준이 낮은 학습자에게는 재료별 제조 방법을 이해하기 위한 관련 항목을 설명해 준다.

학습 1	진공 장비 원리 파악하기
학습 2	플라스마 장비 원리 파악하기
학습 3	진공·플라스마 대상 측정하기
학습 4	진공·플라스마 장비 셋업하기
학습 5	진공·플라스마 장비 유지 보수하기

2-1. 플라스마 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비

학습 목표

- 플라스마의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)을 검증할 수 있다.
- 플라스마의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리에 따라 설치 준비할 수 있다.

필요 지식 /

① 플라스마 개요

플라스마란 물질의 고체, 액체, 기체 등의 상태를 제외한 제4 상태를 의미한다. 전기적으로는 중성을 띠며, 내부에 핵, 이온, 전자들이 따로 떨어져 있는 상태이다. 자유 전하로 인해 플라스마는 높은 전기전도도를 가지며, 전자기장에 대한 매우 큰 반응성을 갖는다. 우주에 존재하는 물질의 99%는 플라스마로 이루어져 있다. 물리적으로 플라스마는 전기전도도를 가지는 전하를 띤 입자들의 집합체로, 외부 전자기장에 집합적으로 반응한다. 플라스마는 일반적으로 중성 기체와 같은 집합체 또는 이온 빔의 형태를 취하지만, 티끌을 포함하기도 하며, 이러한 플라스마를 티끌 플라스마(dusty plasma)라고 한다.

1. 플라스마의 역사와 개요

플라스마는 영국의 물리학자인 윌리엄 크룩스(William Crookes)가 1879년에 방전관에서 처음으로 확인하였다. 당시 그는 이것을 발광물질이라고 칭했다. 영국의 실험물리학자인 조지프 존 톰슨(Joseph John Thomson)은 1897년에 크룩스관(Crookes tube)으로 음극선을 연구하였다. 1928년 미국의 물리화학자 어빙 랭뮤어(Irving Langmuir)는 ‘플라스마’라는 용어를 최초로 다음과 같이 정의하였는데, 극소수의 전자가 존재하는 차폐(sheath) 영역의 전극 근처를 제외하고, 전리된 기체는 대략 같은 수의 전자와 이온을 포함하기 때문에 그 공간 합성 전하(resultant space charge)는 매우 작고 플라스마라는 이름은 이온과 전

자의 전하량이 균형을 이룬 이러한 영역을 묘사하기 위해 사용될 수 있다는 이론이다.

(1) 플라스마의 특성

플라스마는 기체 상태의 물질이 이온화된 상태이지만, 모든 이온화된 기체를 플라스마라고 하지는 않는다. 플라스마는 이온화된 기체 중 집단적인 움직임을 보이는 극성과 비극성 입자들로 이루어진 준중성의 기체를 특별히 부르는 말이다. 준중성(Quasi-neutral)이란 용어는 디바이 차폐(Debye Shielding)와 연관되어 있다. 여기서 집단적인 움직임이란 외부의 전자기장에 따른 플라스마 내부 입자들이 움직이면서 만드는 국소적인 전자기장에 따른 움직임도 포함한다. 이렇게 국소적으로 만들어진 전자기장은 다른 부분의 입자에 영향을 미친다. 일반적으로 전기장은 역제곱 법칙을 따라 감소한다. 하지만 플라스마의 경우 감소 효과가 작아 비교적 먼 거리까지 전기장이 영향을 미친다. 이런 경우 국소적인 범위 내에서 상호작용뿐만 아니라 먼 거리에서의 상호작용도 일어난다. 앞서 말한 “집단적인 움직임”이란, 플라스마의 운동이 국소적인 상태뿐만 아니라, 먼 거리의 상태까지 영향을 받는 운동이다.

(가) 디바이(Debye) 차폐

디바이 차폐 영역에서 양이온은 음극(Negative Electrode) 주변으로 끌려가는 반면, 전자는 음극으로부터 방출된다. 따라서 음극 주위에는 양이온과 중성 원자로 이루어진 층으로 차폐되며, 이는 특정한 두께를 지닌다. 전자는 양이온 입자들이 전극에 이끌려 차폐 공간에 도달할 동안 차폐 공간의 외부로 밀려난다. 따라서 전극에 도달하는 양이온 전류에는 변화가 없다. 전극은 양이온 차폐에 의한 방전으로 인해 완전하게 차단되며, 퍼텐셜(Potential)은 아크 속에서 발생하는 현상이나 전극에 흐르는 전류에 영향을 주지 않게 된다는 이론이다.

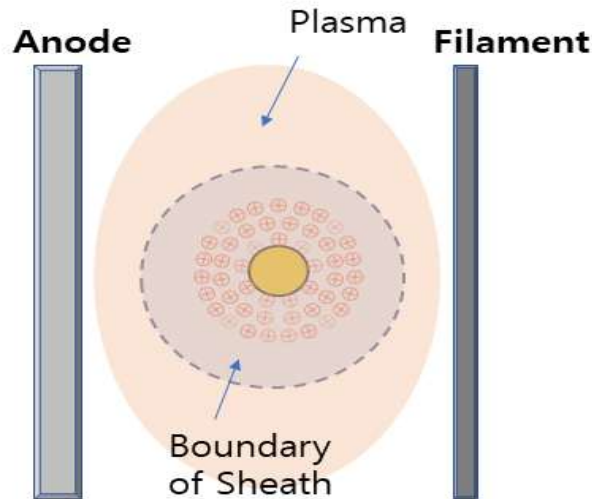
1) 진공관 내에서의 차폐(Sheath)

양극과 음극의 필라멘트(Filament) 사이의 공간은 거의 같은 수의 전자와 양이온 입자의 혼합물로 채워져 있으며, 이 상태를 플라스마 상태에 있다고 한다. 상대적으로 퍼텐셜이 0인 플라스마 내의 와이어는 여기에 부딪히는 모든 이온과 전자를 흡수할 것이다. 전자들은 이온에 비해 600배나 빠른 속도로 움직이므로, 이온에 비해 와이어를 600배나 많이 부딪히게 된다. 만약 와이어가 절연되어 있다면, 같은 수의 전자와 이온을 받아들일 수 있는 음의 퍼텐셜 값을 가진다고 가정해 볼 수 있으며, 이때는 와이어를 향하는 전자가 600개라 하면 그중 1개의 전자만 외부로 방출한다. 그리드의 일부인 이 와이어가 관을 따라 흐르는 전류보다 훨씬 더 음의 퍼텐셜 값으로 대전되어 있다고 가정하면 와이어는 이제 모든 전자를 외부로 방출하고 와이어로 접근하는 모든 양이온을 흡수할 것이다.

2) 차폐의 경계

와이어 주변에는 [그림 2-1]과 같이 전자 대신 양이온만 있는 구역이 존재할 것

이다. 이온은 음의 퍼텐셜 값을 지닌 와이어에 가까이 갈수록 더욱 가속되며, 이 차폐 내에는 와이어와의 거리에 따른 퍼텐셜 그래디언트(Potential Gradient, 벡터의 기울기)가 존재하게 된다. 따라서 퍼텐셜의 플라스마들이 갈아지는 거리가 존재하게 되는데, 이 거리를 차폐의 경계(Boundary of Sheath)라고 정의한다. 이 거리를 넘어가면 와이어의 퍼텐셜에 의한 효과는 사라지게 된다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 2-1] 플라스마 내 차폐의 경계

(나) 플라스마의 전도도

자유 전하로 인해 플라스마는 높은 전기전도도를 가지며, 전자기장에 대한 매우 큰 반응성을 갖는다. 우주에 존재하는 물질의 99%가 플라스마로 이루어져 있다. 물리적으로, 플라스마는 전기전도도를 가지는 전하를 띤 입자들의 집합체로, 외부 전자기장에 집합적으로 반응한다. 플라스마는 일반적으로 중성 기체와 같은 집합체 또는 이온 빔의 형태를 취하지만, 티끌을 포함하기도 하며, 이러한 플라스마를 티끌 플라스마(dusty plasma)라고 한다. 통계역학적인 관점에서 볼 때 어떤 기체든 어느 정도 이온화되어 있다는 것은 확실하나, 단순히 이온화된 기체를 플라스마라고 부르면 오류를 일으키기 쉽다. 플라스마는 걸러낼 수도 있지만, 전자, 중성 입자, 이온 등의 입자가 보통 섞인 상태이기 때문이다. 별로 물리학적으로 유용한 정의가 아니기 때문에 물리학자들은 다음과 같이 플라스마의 특성을 정의하게 된다.

1) 준중성 상태(Quasi-neutrality)

플라스마는 +전하와 -전하를 가지고 있으므로, 전자기력에 의해 서로 끌리는 특성이 있다. 그 때문에 플라스마 덩어리에서 일정 거리 이상 떨어져 있는 지점에서는 전기력을 0으로 취급할 수 있다.

2) 집합 행동(Collective Behavior)

전기력에 의해 준중성 상태를 이루고 있는 플라스마는 한 덩어리인 것처럼 행동하게 된다. 이러한 플라스마의 특성에 의해 플라스마 내부에서는 고속으로 운동하는 대전입자의 관성과 전기적 인력 사이에서 줄다리기가 일어나는데, 이는 용수철 진자와 비슷한 모습이다. 이런 현상을 플라스마 진동(Plasma oscillation)이라고 하며, 전하의 종류 및 그 전하의 밀도에 따라 주파수는 달라진다.

(2) 유체로서의 플라스마

플라스마에서 전기장과 자기장은 내부 전하들의 움직임에 의해 결정된다. 따라서 내부 전하들의 움직임에 따라 만들어지는 전기장과 자기장을 계산하고, 다시 그로 인해 움직이는 경로를 구해야 플라스마의 움직임을 알 수 있다. 이 과정은 시간이 변하면서 이루어지므로, 시간도 고려해야 한다. 이는 일반적인 전하의 움직임을 계산하는 것보다 훨씬 복잡하다. 플라스마를 구성하는 입자들이 복잡한 경로를 따라 움직인다면 플라스마의 움직임을 예측하는 것은 거의 불가능할 것이다. 하지만 대략 80%의 플라스마 현상은 비교적 쉬운 방법으로 해석할 수 있다. 이 방법은 유체역학처럼 각각의 입자는 무시하고 전체의 움직임만 고려하는 것이다. 물론 플라스마에서 유체는 대전되어 있고, 입자들의 충돌이 다른 유체와 다르게 주기성이 없다는 차이가 있다. 플라스마를 유체로서 해석하자면, 플라스마를 두 개 이상의 유체로 이루어진 유체로 간주한다.

(가) 플라스마를 유체로 근사할 수 있는 이유

플라스마를 유체로 근사할 수 있는 다른 이유는 자기장 때문이다. 자기장이 존재할 경우 자기장이 입자 사이 충돌과 비슷한 효과를 만들어낸다. 전기장이 존재한다면 입자들은 가속하게 된다. 만약 입자가 충돌하게 되면 전기장 크기에 비례하는 종단 속력을 갖게 될 것이다. 자기장이 존재하는 경우에도 플라스마가 회전하게 만들어 일정한 흐름을 만들어 낸다. 이런 원인으로 실제로 충돌이 없는 플라스마도 충돌하는 유체와 비슷한 운동을 한다. 물론 자기장과 나란한 방향으로 입자들이 자유롭게 움직인다. 이런 경우에는 유체로 근사가 힘들다. 따라서 자기장과 수직인 경우에는 유체 이론이 좋은 근사가 된다.

(나) 플라스마 내 유체의 상호작용

간단한 예로, 한 종류의 이온만 있는 경우 이온화된 기체와 전자라는 두 가지 유체로 이루어진 유체로 볼 수 있다. 이때 각각은 독립적으로 서로 관통하는 유체로 고려해서 방정식을 세워 움직임을 예측한다. 부분적으로 이온화된 경우 이온화되지 않은 중성 기체 분자도 한 종류의 유체로 간주한다. 이온과 전자로 이루어진 유체는 서로 충돌과 전자기력에 의해 상호작용을 하며, 중성 원자는 충돌로 다른 유체들과 상호작용을 한다.

(3) 플라스마의 분류

플라스마는 만드는 방식과 특성에 따라 다양하게 분류된다.

(가) 온도 비율에 따른 분류

플라스마의 분류 방법은 먼저 전자의 온도와 기체의 온도 비율에 따라서 열 플라스마(또는 평형 플라스마, 고온 플라스마, 전자와 이온의 온도가 비슷한 경우)와 저온 플라스마(또는 비평형 플라스마, 전자가 이온보다 매우 뜨거운 경우)로 나뉜다. 저온 플라스마는 주로 플라스마 전류가 수 암페어 미만일 경우이며, 비평형이 뜻하는 것은 플라스마를 이루는 전자와 기체의 온도가 크게 다르다는 것이다. 전류가 증가하게 되면 전자와 기체 간의 충돌이 심해지면서 기체 온도와 전자 온도가 평형을 이루게 되고, 이것을 열 플라스마라고 한다. 열 플라스마라고 하는 이유는 방전 전류가 수만~수십만 암페어에 이르기 때문에 평형을 이루는 온도가 대략 10,000℃ 정도 되기 때문이다.

(나) 압력에 따른 분류

플라스마가 만들어지는 압력에 따라서 저압 플라스마와 상압 플라스마로 나뉘기도 한다. 즉, 저압 환경에서도 열/비열 플라스마가 있으며, 상압 환경에서도 열/비열 플라스마가 만들어질 수 있다. 이 가운데 반도체 공정 등에 쓰이는 플라스마는 저압 비열 플라스마이며, 상압 열 플라스마는 폐기물 분해나 나노 분말 합성 및 표면 코팅 등에 쓰인다.

(다) 온도와 밀도에 따른 분류

극한 환경을 고려하여 플라스마의 온도와 밀도에 따라 상대론적 플라스마와 양자 플라스마로 구분하기도 한다. 상대론적 플라스마는 플라스마의 온도가 너무 높아서 하전입자의 운동에너지가 매우 크기 때문에(=속도가 매우 크기 때문에) 상대론적 효과를 고려해 주어야 하는 플라스마를 의미하고, 양자 플라스마는 밀도가 매우 높아 양자적 효과를 고려해 주어야 하는 플라스마를 의미한다. 상대론적 플라스마는 거대 질량 블랙홀의 제트와 같은 고에너지 천문학에서 주로 다루어지고, 양자 플라스마는 보통 퀘이사(Quasar)와 같은 천체를 연구할 때 다루어진다.

(라) 플라스마의 제어

초고온이 발생하는 핵융합 과정에는 반드시 발생하기 때문에 이러한 초고온 플라스마의 제어장치가 꼭 필요하다. 국내에서 만들어낸 KSTAR에서도 초고온 플라스마를 만들어낸다. 플라스마 자체는 저온에서도 만들어질 수 있으므로, 모든 종류의 플라스마가 초고온인 것은 아니다. 다만, 핵융합에서 만들어지는 게 초고온 플라스마인 것이다. 일반적으로 고온 플라스마와 저온 플라스마를 구분하는 온도는 전자 온도이며, 핵융합을 위한 고온 플라스마 대비 저온 플라스마의 전자 온도가 낮아서 저온이라 부르지만, 그 온도는 수만℃에 이른다. 다만, 열용량이 낮을 뿐이다. 반면에 열 플라스마는 전자 온도와 기체 온도가 거의 같은 온도를 보이며 열용량까지 높아 매우 뜨거운 플라스마이다.

(4) 플라스마의 생성과 특징

플라스마는 초고온에서 음전하를 가진 전자와 양전하를 띤 이온으로 분리된 상태를 말한다. 고온의 플라스마로 물질을 가공하면 그 물질이 지닌 기본 성질의 몇십 배 뛰어난 특성을 나타낸다. 플라스마는 제4의 물질 상태라고 알려진 물질의 형태이다. 강력한 전기장 또는 열원으로 가열되어 기체 상태를 뛰어넘어 전자, 중성 입자, 이온 등의 입자들로 나뉜다. 플라스마 속에는 전기적으로 중성인 원자로만 이루어진 고온 기체와는 달리, 서로 반대의 전하를 띤 입자들, 즉 전자와 원자핵이 뒤섞여 존재한다. 따라서 전체적으로는 중성이지만, 국부적으로 이온과 전자 사이의 전하 분리에 의해 전기장이, 전하의 흐름에 의해 전류와 자기장이 발생하게 된다. 전기장과 자기장은 좀 더 넓은 영역에 효력을 미치게 되어 매우 복잡하지만 활용성 또한 높은 물질적 현상이 나타난다.

(가) 반발(atom elastic collision)

전자는 약한 운동에너지를 갖고 있으며, 이 에너지로는 원자 또는 분자에 충돌해도 아무런 변화가 없게 된다.

(나) 이온화(Ionization)

가속된 자유전자는 원자와 충돌하여 최외곽의 전자를 튕겨 보냄으로써 이온을 만들고 또 하나의 자유전자를 만든다.

(다) 여기(excitation)와 발광(relaxation)

자유전자나 또는 이온이 다른 원자의 이온화에는 충분하지 않지만 충돌된 원자에 에너지를 공급하여 최외곽 전자를 여기하게 된다. 이 여기된 전자는 다시 안정한 궤도로 돌아오면서 고유의 에너지 간격에 해당하는 빛 에너지를 발산한다.

(5) 플라스마의 활성화 능력

이온화에 의해 발생된 고에너지의 하전입자를 포함하고 있기 때문에 전기장이나 자기장으로 쉽게 제어할 수 있는 선택적 조절 능력이 있다. 또한, 고에너지 입자들로 이루어져 있어서 다른 물질과 활발히 반응하여 대상 물질의 상태를 물리적, 화학적으로 변화시키는 높은 반응성 및 활성도가 낮은 중성 종을 자극하여 활성도를 향상하는 고활성화 능력이 있다. 이러한 특성으로 인해 핵융합, 반도체 제작, 표면 처리, 폐기물 처리, 디스플레이 장치 등의 다양한 분야에서 응용되고 있다.

(6) 플라스마의 방전 현상

(가) 직류 방전

직류 방전은 양극과 음극 두 판을 만들고 이 사이에 전압을 가하여 방전을 일으켜 플라스마를 발생하는 방식이다. 전류전압 관계에 따라 암방전(어두운 방전), 글로(glow) 방전(밝은 방전), 아크(Arc) 방전 등으로 나뉜다. 암방전은 전류의 양이 낮은 대신 전극의 전압은 아주 높다는 것이 특징이며, 대부분의 경우 발광 현상이 미약하다. 암방전 중에서 상대적으로 전류가 높은 영역을 코로나 방전이라 부르는데, 이 영

역의 플라스마가 우리 주변 생활에 많이 이용된다. 이러한 예로는, 공기정화기 내부의 집진장치를 들 수 있는데, 공기가 코로나 방전 영역을 통과하면서 공기에 포함된 미세 입자들이 전하를 띠게 되고, 이렇게 하전된 입자가 방전판에 부착되어 공기를 정화하게 된다. 또한, 살균 장치의 오존 발생 장치의 경우 많은 경우가 코로나 방전을 이용하여 산소를 분해하여 오존을 발생하게 하고 이러한 오존을 이용하여 살균한다. 이외에도 산업적 재료 표면의 친수성, 접착성, 염색성 등의 향상을 위해서도 코로나 방전이 널리 이용되며, 정전기 제거 장치 등에도 이용되고 있다.

(나) 글로(Glow) 방전

글로 방전은 빛을 내기 때문에 조명으로 많이 이용되고 있다. 형광등, 네온사인, 제논 램프(Xenon Lamp) 등이 이에 해당한다. 이러한 방전에서는 기체를 봉입한 유리관의 양 끝에 전극이 삽입되어 있고 이들 전압을 인가하면 방전이 일어난다. 아크 방전은 빛과 함께 많은 열을 내기 때문에 조명뿐 아니라 절단, 용접, 용융 등의 처리에도 이용될 수 있다.

(7) 플라스마 커팅

플라스마 아크 커팅은 특수 구조로 된 토치(기계 종류 및 사양에 따라서 토치가 모두 다름)에서 아크 빔을 만든다. 즉, 전극(-)과 팁(+) 사이의 간극에서 3,000V 상회하는 전위차로 인해 많은 전자가 발생하고, 유속에 의해 밀려나서 고밀도 가스체가 되는데, 이를 파일럿 아크 빔(플라스마)이라고 한다. 이때 발생된 고밀도 가스체 아크 빔은 저항을 통하여 낮은 전류만 통전시켰으므로 파워가 약하다. 다만, 그 아크 빔은 전기를 잘 통하는 이온화 상태를 매개로 하여 피절단재(+)와 아크를 이행시키면 대전류(주전원)가 쇼트되어 순간적(340m/sec 이상)으로 설정 용량의 전자이온(e-)이 팁의 노즐로 연속적으로 이행하게 된다. 여기에서도 전자(e-)가 '-' 쪽에서 '+' 쪽으로 이행하기 때문에 토치의 전극은 큰 손상이 없고, 피절단재는 예열 없이 전자의 아크 빔으로 절단된다. 순간적이고, 예열 없는 정도는 5mm 스테인리스를 300mm 절단 직후 절단부 10mm 떨어진 곳을 맨손으로 만져도 미처 열전도가 되지 않았기 때문에 뜨겁지 않다.

(8) 플라스마 커팅의 분류

플라스마 커팅은 물리적인 힘으로 끊어내는 절단, 기구의 날을 이용하여 분리하는 절단, 열원에 의한 용융 절단과의 차이로 '제4의 절단법'이라고 한다. 정리하면, 플라스마 절단법은 팁 노즐 통로를 통해 생긴 좁은 파일럿 아크 빔을 매개로 하여 피절단재의 대전류가 아크로 이행되면 전자의 순간적인 아크 연속성으로 절단하게 된다. 또한, 팁의 노즐로 전자가 흐를 때 자기장으로 인해 노즐 홀 벽면과 이격됨으로써 노즐은 쉽게 파손되지 않는다. 이때 팁 노즐의 크기는 용량에 따라 중요하게 작동하며, 절단 효율에 영향을 미치게 된다. 플라스마 절단법은 지구상에서 일반적으로 쓸 수 있는 열원 중 가장 높은 온도의 활용으로 알려져 있다. 에어 플라스마 절단기의 경우에 15,000℃ 정도이

고, 가스 플라스마 절단기의 경우 수소(H_2)를 후속 열원으로 보조하면 30,000°C가 된다고 한다.

수행 내용 / 플라스마 장비 원리 파악하기

재료·자료

- 실리콘 웨이퍼, 트위저
- 실리콘 웨이퍼 카세트
- 플라스마 발생을 위한 전구체 가스와 가스용기

기기(장비 · 공구)

- 고주파 전원 발생기(RF Generator)
- 고진공 챔버(High Vacuum Chamber)
- 저진공펌프, 고진공펌프 각 1세트

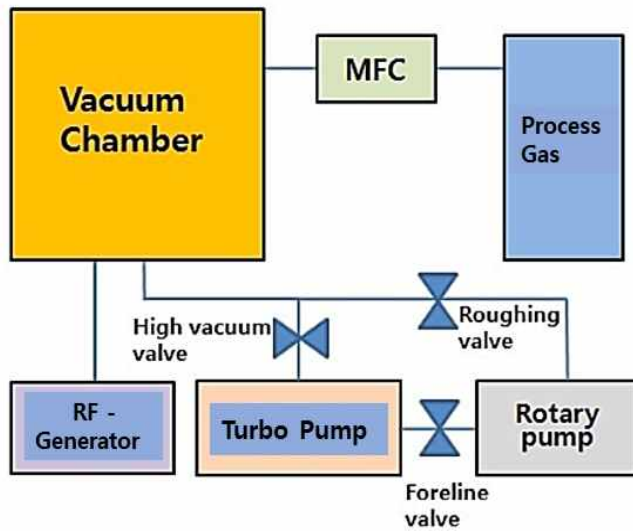
안전 · 유의 사항

- 고진공용 펌프를 가동할 시 진공 균형이 깨지지 않도록 예비 작업을 철저히 준비한다.
- 진공펌프 가동을 위한 전원 스위치를 사용할 때 감전이나 누전을 철저히 예방한다.
- 플라스마 발생 시 진공의 변화에 의한 아킹(arc)이 발생하지 않도록 유의한다.

수행 순서

① 플라스마 장비의 구조를 이해한다.

플라스마 장비의 구조는 여러 가지의 부품으로 구성되어 있는데, 기본적으로 진공이 바탕이 되어야 하므로 진공 챔버가 필요하며, 그에 따른 고진공펌프로 터보펌프나 크라이오펌프가 필요하고, 플라스마를 만들기 위한 매질임과 동시에 공정의 반응에 필요한 공정 가스(Process Gas)가 필요하다. 그리고 공정 가스의 흐름을 제어하기 위한 여러 가지 밸브와 유량조절기(MFC: Mass Flow Controller)도 필요하다. 마지막으로 고주파 전류를 발생하게 하는 고주파 발생기(RF Generator)가 필요하다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 2-2] 플라즈마 장비의 구조

1. 진공 챔버의 구조

진공 챔버는 상기 [그림 2-2]와 같이 여러 가지 부품이 필요하며, 공정 종류에 따라 진공도의 범위가 다르게 제어할 필요가 있다.

(1) 증착 설비의 진공 챔버

증착 설비의 진공챔버는 10^{-3} torr 정도의 진공도가 필요하므로, 고진공용 펌프는 필요하지 않은 경우가 많고 로터리펌프 정도로도 진공 제어가 가능하다.

(2) 식각 설비의 진공 챔버

식각 설비의 진공 챔버는 가스 유량의 정확한 제어를 위해 고진공펌프가 필요하며, 터보펌프가 주로 사용된다.

(3) 분석 설비용 진공 챔버

XPS(X-Ray Photon Spectroscopy)나 오제이 전자분광기(AES: Auger Electron Spectroscopy)를 사용하는 진공 챔버는 물질의 정확한 조성 분석을 위하여 초고진공 챔버를 만들 필요가 있다. 초고진공 챔버를 만들기 위해서는 터보펌프와 같은 고진공펌프와 더불어 이온펌프를 추가로 사용해야 하며, $10^{-8} \sim 10^{-9}$ torr의 고진공 챔버를 만들어야 한다.

(4) 진공 챔버용 진공 게이지

진공 게이지의 종류는 고진공용 게이지와 저진공용 게이지가 각각 시기에 맞게 사용된다.

(가) 고진공용 게이지

고진공용 게이지는 진공도가 $10^{-4} \sim 10^{-9}$ torr 정도의 진공도에서 사용하는 게이지로, 이온 게이지, 페닝(Penning) 게이지 등이 있다.

1) 이온 게이지

이온 게이지는 저압 가스에서 가스 분자의 이온화에 의해 생성된 양이온의 수는 가스의 압력에 비례한다. 이온 진공 게이지는 측정되는 가스의 압력이 특정 조건에서 가스의 이온화에 의해 생성된 이온화된 흐름에 비례한다는 원리에 기초한 진공 측정기구이다. 이온 발생의 다른 방법에 따르면, 뜨거운 음극에 의해 가스를 이온화하는 진공 게이지는 전자를 방출하고, 뜨거운 음극 이온화 진공 게이지라고 불리고, 뜨거운 음극 게이지 튜브는 측정 장비로 구성된다.

2) 이온 게이지의 구성

이온 게이지는 게이지 튜브 전원 공급장치와 전송 전류 조절기, 이온 전류 측정 증폭기 등으로 구성된다. 뜨거운 음극 이온화 게이지는 측정된 진공 시스템과 연결되며, 진공 시스템은 음극, 게이트 및 수집기가 있는 3극관이다. 이온화 게이지가 대전되고 가열될 때 캐소드는 전자를 방출하고 그리드에 도달하는 과정에서 가스 분자와 충돌하여 양이온과 전자를 발생시켜 이온화를 일으킨다. 컬렉터의 음전압에 의해 양이온이 수집된 후에 양이온은 측정 회로에 의해 증폭되고, 측정된 진공도는 전류량에 의해 진공도도 변환되어 측정된다.

3) 페닝 게이지

1937년에 페닝(Penning)은 전자기장을 이용한 게이지를 최초로 개발하였는데, 개발자의 이름을 따서 이런 형태의 게이지를 페닝 게이지라고 한다. 페닝은 스퍼터링 방법으로 코팅하는 기술에 대한 그의 특허에 기초하여 게이지를 개발하였으며, 방전 전류는 압력에 거의 선형적으로 변하는 특성을 보였다.

4) 고온 음극 이온 게이지

고온 음극 이온 게이지는 줄여서 HCG(High Temperature Cathode Ion Gauge)라고 하며, 이것은 필라멘트를 가열하여 열전자를 방출하게 하고, 음극과 양극 사이의 전기장에 의해 방출된 전자는 가속되어 체임버 내에 있는 분자들과 충돌하여 이온화시킨다. 이때 이온화된 분자 중 양이온만을 포획하여 이온 집전 기인 양극에서 전류를 측정하는 방법이다. 이때의 이온 전류는 체임버 내의 분자 수와 비례하므로 진공을 알 수 있다. 초창기 모델은 3극 열음극(Triode Hot Cathode)의 형태였으며, 후에 개선된 디자인 모델이 개발되었다.

5) 저온 음극 이온 게이지

저온 음극 이온 게이지는 줄여서 CCG(Cold Cathode Ion Gauge)라고 하며, 상온 상태에 있는 음극에 강한 전압을 인가하여 전자를 방출하게 하고, 전기장에 의해 가속된 전자가 체임버 내의 분자를 이온화시켜 이온의 전류를 측정하여 압력을 측정하는 방법이다. 전자의 운동에너지를 올리기 위해 전기장뿐만 아니라, 자기장을 인가하기도 한다. 두 방법의 차이점은 전자에 에너지를 인가하는 방식에 있다. 하나는 열을 가하여 전자를 방출하는 방식이고, 다른 하나는 전자기 방법으로 전자를 방출시키는 방식이다. 공통점은 가속된 전자의 운동에너지를 이용

하여 분자를 이온화시켜 이온의 전류를 측정하는 방법이다.

(나) 저진공용 게이지

저진공용 게이지는 진공도가 10^{-4} torr 이하의 진공도에서 사용하는 게이지로서, 맥레오드 진공 게이지, 서모커플 게이지 등이 있다.

1) 맥레오드 진공 게이지

맥레오드 진공 게이지는 1874년 맥레오드(Herbert McLeod)가 개발한 진공 게이지이다. 10^{-4} torr까지 진공을 측정할 수 있는 액주식 압력계의 일종으로, 개발자의 이름을 따서 맥레오드 진공계(McLeod gauge)라고 한다. 이 진공계는 절대 진공계이며, 기체의 보일 법칙($PV = \text{일정}$)을 이용하여 압력을 측정하는 원리이다. 측정하려는 기체를 체적 V_0 만 분리하여 압축시켜 V 로 하면, 압력은 P_0 에서 V_0/V 만큼 증폭되어 압력 P 가 되는데, 이 압력 P 를 측정하여 원래의 압력 P_0 를 구하는 방식이다. 액주식 수는 마노미터와 유사한 형태이다. 플런저를 통해서 외부에서 압축하기 전에는 진공 용기 속의 압력과 미지압력(진공 측)이 동일한 상태이다. 플런저를 통해 외부에서 압력을 가하면 수은이 밀려서 일정 높이만큼의 위치로 올라가게 된다.

2) 서모커플 진공 게이지

이름에서 알 수 있듯이 서모커플 게이지(Thermocouple Gauge)는 열이 있는 열선(Hot Wire)에 접촉하여 온도를 측정하여 이로부터 진공도를 유추하는 게이지이다. 진공 쪽에 게이지를 연결하고 게이지의 열선에 전류를 인가하여 필라멘트에서 열이 나게 하고, 서모커플을 통해 열선 온도를 측정하도록 설계되어 있다. 진공도가 좋아지면 열전달이 잘 이루어지지 않으므로 열선 온도가 올라가게 되어 간접적으로 진공도를 유추하는 방식이다. 낮은 압력(좋은 진공도)에서는 열손실이 주로 방사에 의한 것만 있어서 원자 종류와 관계없이 실제 압력과 거의 일직선적인 특성을 보인다. 그러나 0.1 torr보다 높은 압력에서는 대류에 의한 열손실이 많기 때문에 원자의 종류에 따라 측정값과 실제 압력 사이에는 차이가 발생한다. 그리고 열선은 산화를 방지하기 위해 백금과 같은 귀금속 합금을 사용하며, 측정할 수 있는 진공도 범위는 $10^{-3} \sim 1$ torr 범위이다.

3) 피라니 게이지

압력의 측정 원리로 보면 피라니 게이지(Pirani gauge)는 서모커플 게이지와 거의 동일하다. 다만, 측정하는 방법에서 휘스톤브리지(Wheatstone bridge)를 사용하여 저항을 측정한다는 측면에서 서모커플 게이지와 구분된다. 피라니 게이지와 서모커플 게이지는 공히 가스의 열전도도를 통해 압력을 측정하는 원리이다. 게이지의 가장 간단한 형태는 열을 가하는 판을 이용하는 것인데, 피라니 게이지의 내부 구조를 보면 금속관 내부에 설치된 텅스텐 또는 백금으로 만든 저항형

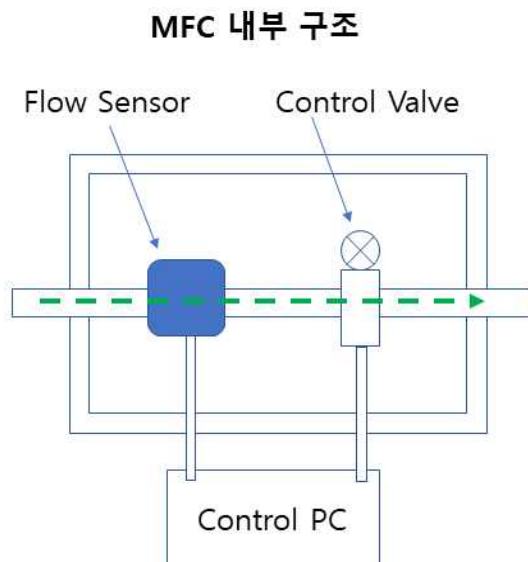
열선에는 저항 R 을 통해 I^2R 의 줄열이 발생한다. 진공도가 좋아지면 대류에 의한 열손실이 줄어들므로써 저항이 증가하여 열선의 줄(Joule) 열은 증가한다. 따라서 이러한 열손실을 측정하면 간접적으로 진공을 측정할 수 있다. 열손실은 열선의 저항으로부터 알 수 있으며, 열선의 저항은 온도에 따라 변한다. 이와 같은 피라니 게이지를 사용하면 0.5torr에서 10^{-4} torr 사이의 압력을 측정할 수 있다.

4) 대류 게이지

대류 게이지(convection gauge)는 피라니 게이지의 개선된 형태라고 볼 수 있으며, 금이 도금된 텅스텐 미세선재 주위의 가스에 의한 열교환을 통해 진공도를 측정하는 방식이다. 고진공에서는 가스의 열전도에 의해 열이 손실되고, 저진공에서는 가스 분자에 의한 대류에 의해 열이 손실된다. 약 120℃의 미세선재는 진공 쪽에 자리하고 있고 휘스톤브리지의 알센스(R_{sense})에 해당하며, 나머지 휘스톤 브리지의 저항부는 진공 바깥 부분인 게이지의 머리 부분에 있다. 진공도가 낮은 경우 열선 주위로 가스가 많아 열을 많이 잃어버리기 때문에 높은 파워가 필요하고, 진공도가 높으면 열선 주위로 가스가 적어 열을 덜 빼앗기므로 낮은 파워가 필요하다. SRS(Stanford Research Systems)사의 대류 게이지의 출력전압과 압력과의 관계를 참조하면 측정 상태를 이해할 수 있다. 대류 게이지는 측정이 간단하고, 넓은 측정 범위($10^{-4} \sim 10^{-3}$ torr) 특성으로 앞선 서모커플 게이지와 피라니 게이지에 비해 많이 사용되고 있다.

2. 유량조절기 MFC(Mass Flow Controller)

플라스마를 만들고 안정적으로 유지하기 위해서는 매질이 되는 가스의 유량조절기가 필요한데, MFC로 명명되는 유량조절기의 구조는 다음 그림과 같다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 2-3] MFC의 내부 구조

화살표 방향으로 가스가 흘러가는 동안 플로 센서(Flow Sensor)가 흐르는 가스의 양을 측정하여 컨트롤 컴퓨터로 측정값을 보내면 컨트롤 PC에서는 원래의 목적대로 설정한 가스의 유량과 대비해서 오차 값만큼의 가스 유량을 조절하기 위해 컨트롤 밸브로 신호를 보내서 밸브의 개구량을 조절하여 설정한 유량만큼만 가스가 흐르도록 조절한다. 유량조절기는 사용 기간이 오래 지나면 유량 센서와 컨트롤 밸브가 마모되거나 오차 값이 발생하므로, 주기적으로 검사 및 교정해 주어야 한다.

3. 고주파 발생기(RF Generator: Radio Frequency Generator)

반도체 진공 장비에서는 플라스마를 발생시키기 위하여 고주파 발생기를 사용한다. 고주파 발생기란 수신기, 증폭기, 기타 각종 통신 회로의 동작, 시험 등을 위해 그에 필요한 여러 가지 주파수 및 파형 신호를 발생하게 하는 장치이다. 고주파 발생기는 저주파 신호 발생기와는 달리 베이스밴드 RF(Radio Frequency) 및 마이크로웨이브(Microwave)에 대한 신호를 발생시키며, 주요 발생 신호는 의도적인 잡음/왜곡 신호, 변조 신호, 아날로그 파형 및 디지털 데이터 패턴 신호 등이 있고, 이는 산업체 전반에서 널리 사용되고 있다.

(1) 고주파 발생기의 측정 항목

고주파 발생기의 측정 항목은 기본적으로는 주파수, 레벨, 변조 등 세 가지 항목을 측정하게 된다.

(가) 주파수 측정

첫 번째로 주파수는 1Hz~46GHz까지의 범위를 측정하는데, 일반적으로 RF(Radio Frequency)라고 명명하는 주파수 범위 300MHz 이상의 대역뿐만 아니라 낮은 범위의 주파수까지 측정한다. 두 번째로는 레벨 측정이다. +20dBm부터 -120dBm까지의 범위를 주파수 150kHz부터 40GHz 내에서 측정한다.

(나) 전력 레벨 측정

두 번째로는 레벨 측정이며, +20~-20dBm까지의 범위를 주파수 150kHz~40GHz 내에서 측정한다. 0dBm의 전력 레벨은 1mW의 전력에 해당하며, 레벨이 10dB 증가하면 전력이 10배 증가하는 것과 같다. 따라서 레벨이 20dB 증가하면 전력이 100배 증가하는 것과 같다. 레벨이 3dB 증가하면 전력을 두 배로 늘리는 것과 거의 같으며, 이는 3dBm 레벨이 대략 2mW의 전력에 해당함을 의미한다. 마찬가지로, 레벨이 3dB 감소할 때마다 전력이 약 절반으로 감소하여 -3dBm이 약 0.5mW의 전력에 해당한다.

(다) 변조 측정

세 번째는 변조 측정인데, 변조는 일정한 형태의 반송파에 전달하려는 저주파 신호를 담기 위해 변형을 주는 것을 말한다. 세부적으로 주파수, 진폭, 위상 변조까지 세 가지 항목으로 분류하여 측정하는데, 각 변조는 18GHz까지의 주파수 범위 내에서 주파수 변조도 400kHz, 진폭 변조도 100%, 위상 변조도 400rad까지의 범위를 측정한다. 주파수, 진폭, 위상 변조 등을 측정하려면 임피던스 정합이라는 것을 해야 한다.

임피던스 정합이란 두 회로를 접속하여 전력을 보낼 때 반사 손실이 없도록 양자의 임피던스를 같게 만드는 것인데, 측정 시에도 손실 없이 값을 측정하기 위해 항상 이 작업 과정이 필요하다.

(2) 임피던스 매칭(Impedance Matching)

임피던스 매칭 또는 정합을 간략히 정의하면, 어떤 하나의 출력단과 입력단을 연결할 때 서로 다른 두 연결단의 임피던스 차에 의한 반사를 줄이려는 모든 방법을 임피던스 매칭이라고 부른다. 보통은 두 개의 연결단 사이에 별도의 매칭단(matching unit)을 삽입하여 두 연결단 사이의 임피던스 차이를 보정해 준다. RF 파워에서 임피던스 매칭은 매우 중요한 과정이며, 필수적으로 거쳐야 할 항목이다.

(가) 임피던스 매칭을 해야 하는 이유

임피던스의 중요한 역할은 바로 부하(load)이다. 각각의 회로소자와 선로 위치에 얼마만큼의 일(load)을 분담하느냐를 말한다. 연봉 협상을 예로 설명하면 연봉의 액수란 곧 그 직원의 능력과 일의 양, 즉 부하와 직접적인 관련이 있다. 일의 양이 많다면 기본적으로 월급을 더 줘야 하듯이, 임피던스 매칭이 안 되었다는 의미를 사람의 능력과 비유로 설명하면, 받는 월급에 비해 너무 많은 양의 일을 하거나, 적은 양의 일을 하는 식의 의미로 볼 수 있다. 만약 이렇게 된다면 본인 또는 주변의 다른 직원들의 불만이 생길 것이고 반대급부가 발생하듯이, 고주파 회로에서도 반사 전력(Reflected Power)이 발생하는 것이다. 다시 말해, 고주파 회로에서 적절한 부하가 걸리도록 입력단과 출력단의 임피던스를 정했을 때 그것이 다른 회로단과 연결될 때 연결 부위의 부하(임피던스)가 다르면 신호의 반사(Reflection)가 발생하게 된다.

(나) 임피던스의 도로 이론

임피던스를 설명할 때 많이 나오는 이론 중의 하나가 바로 도로 이론이며, 실제 전기에너지의 흐름과 아주 유사하다. 도로 이론에서 나오는 중요한 개념은 도로의 폭(= 임피던스의 크기)과 한꺼번에 일렬로 통과하는 자동차의 통행량(전류), 자동차의 통행 속도(전압)로 정리되는데, 원래 임피던스의 사전적인 정의는 '전류의 흐름을 방해하는 성분 값'을 의미하며, 임피던스가 높다는 것은 결국 전류나 에너지의 흐름을 적게 만든다는 말이 된다. 선로의 폭이 좁으면 임피던스는 커지며, 선로의 폭이 넓어지면 임피던스는 작아진다. 다시 도로 이론으로 돌아가서 결국 임피던스가 다르다는 것은 도로의 폭이 다르다는 것을 의미하며, 전형적인 흐름의 지체현상이 발생한다. 만약에 6차선 도로와 2차선 도로가 바로 만난다면, 아마 그 부분에서 여러모로 교통혼잡이 발생할 것이다. 6차선과 2차선 사이에 4차선 구간을 일정 길이로 추가한다면, 교통의 흐름은 더딜지언정 교통 흐름은 개선될 것이다. 이것은 임피던스 매칭이 하는 역할을 보여주는 단적인 예이며, 실제로 RF에서 사용하는 방법이다.

(다) 임피던스 변환기(Impedance Transformer)

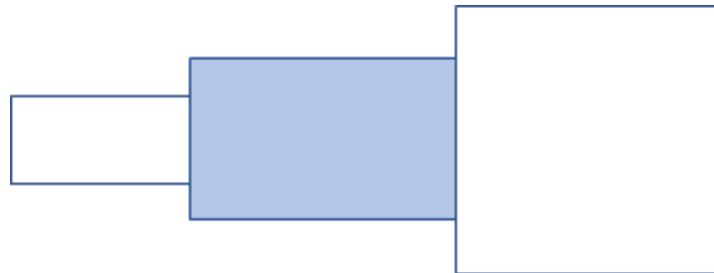
임피던스 매칭이 결국 하는 일은 두 개의 다른 임피던스단 사이에, 두 개의 임피던스를 완화하는 중간적인 그 무엇을 삽입하는 것이다. 그러므로 외부에서 볼 때는 그러한 매칭단이 양단의 다른 임피던스를 서로 변환해주는 것처럼 보일 수도 있고, 그래서 보통 ‘임피던스 변환기’ 또는 ‘변환기(transformer)’라고 부르기도 한다.

(라) 임피던스 매칭 방법

임피던스 매칭이란 결국 임피던스가 다름으로 인한 반사 손실을 최소화하기 위해 중간에 양쪽 임피던스를 중재할 수 있는 연결체를 효과적으로 넣는 것이다. 임피던스 매칭 방법은 매우 다양한데, 그중에서도 RF에서 가장 많이 쓰이는 것은 쿼터 웨이브 트랜스포머(Quarter-wave Transformer)와 스텐브(Stub) 매칭 방법이 있다.

1) 쿼터 웨이브(Quarter-wave) 매칭 방법

쿼터 웨이브는 두 개의 임피던스단 사이에 $1/4$ 파장 길이의 중간적 임피던스를 삽입하는 아주 원초적이고 단순한 방법이다. 대역폭이 매우 좁다는 문제가 있지만, 구현이 아주 간단해서 어레이 안테나나 몇 가지 RF 회로에서 종종 사용되며, 대역폭을 늘리기 위해 여러 단으로 만들 수도 있지만, 공간을 너무 많이 차지해서 그리 권장하지는 않는다.

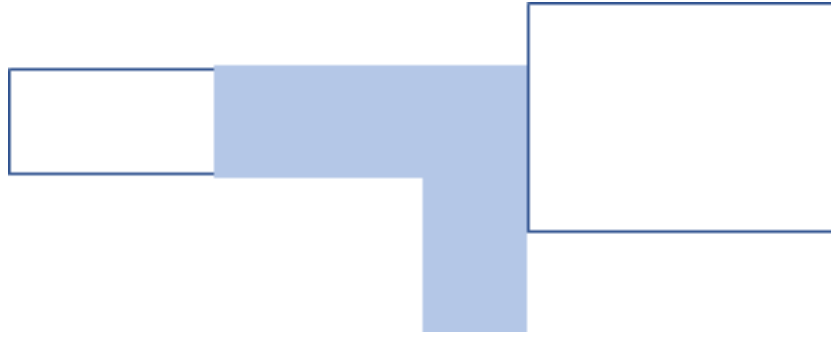


출처: 집필진 제작(2022)

[그림 2-4] 쿼터 웨이브(Quarter-wave) 매칭 방법

2) 싱글 스텐브(Single Stub) 매칭 방법

실제로 가장 많이 사용되는 임피던스 매칭법은 스텐브(Stub)를 이용한 것인데, 이것에는 스미스 차트라는 RF 필수 그래프 툴을 이용한다. 스텐브는 회로 옆에 수직으로 길게 나온 짧은 선로를 의미하며, 스미스 차트를 이용하여 그 길이와 위치를 결정할 수 있다. 굳이 이런 스텐브가 아닌 LC 럼프드(Lumped) 소자를 직접 채워서 만들 수도 있지만, 1GHz가 넘어가면 스텐브 방식을 쓰는 게 일반적이다. 럼프드 소자는 RLC라 불리는 땀질해서 붙이는 전자회로 소자 전체를 통칭하며, 스텐브로 구현한다는 의미는 럼프드 소자의 LC 값을 등가적으로 선로의 길이와 폭 등의 패턴 형상으로 구현한 디스트리뷰티드(Distributed) 형태로 만든다는 것을 의미한다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 2-5] 싱글 스텝(Single Stub) 매칭 방법

(3) 더미 로드(Dummy Load)

더미 로드는 고주파 출력장치에서 출력을 시험할 때 필요한 장치이다. 고주파 발생기를 거쳐 발생한 고주파 전기는 진공 플라스마 장비에 사용하는 과정에서 반사 전력이 발생하여 실제 출력이 감소될 수 있으므로, 더미 로드를 사용하여 미리 반사 전력을 측정하여 출력장치의 상태를 모니터링하고 교정하는 과정이 필요하다. 더미 로드는 ‘의사 부하’라고도 부르는데, 원래 부하와 동일한 임피던스 특성을 가진 것으로, 전력을 소비하지만 본질적으로는 전파를 방사하지 않는 대체 장치 즉, 전기적인 출력회로에 실제의 부하와 동일한 전력을 소비하는 저항 부하를 말한다. 이 경우 저항은 유도성 또는 용량성이 없는 무유도 저항을 사용한다. 또한, 전송 선로나 도파관의 끝에서 사용되는 소산성의 디바이스이다. 전송되어 오는 에너지를 열로 변환하고, 따라서 본질적으로 에너지를 외부로 방사한다든지 전원에 반사하여 되보내지는 않는 부하를 말한다.

(가) 더미 로드의 용도

더미 로드를 사용하면 진공 플라스마 장비를 사용하는 공정에서 고주파 전원의 반사 전력에 의한 출력 저하로 공정의 불량 발생을 사전에 인식하고 조치할 수 있다. 해당 공정으로는 드라이 에칭(Dry Etching) 공정과 PECVD, 스퍼터링(Sputtering) 공정 등이 있다.

(4) RF 케이블(RF Cable)

RF 케이블은 원래 오디오-비디오 신호를 전달하는 데 사용되는 기본 케이블이다. 간섭으로부터 신호를 보호하기 위해 일련의 케이싱을 포함하는 동축 케이블 유형이다. RF 케이블에 사용되는 동축 디자인은 잠재적인 간섭을 방지하도록 설계되었고, 간섭을 방지하기 위해 동축 케이블은 4개의 원형 레이어를 사용한다. 내부에서 외부로 신호를 운반하는 철선, 보통 단단한 플라스틱인 절연재, 금속 실드, 그리고 내부의 물질을 보호하는 플라스틱 케이스 등을 사용한다.

(가) RF 케이블의 단점

RF 케이블에는 몇 가지 중요한 단점이 있다. 이론적으로 케이블의 디자인이 간섭을

차단하는 반면, 실제로는 그렇지 않다. 케이블, 특히 값싸게 제작된 케이블은 자기 소스 또는 전원 케이블의 간섭을 받을 수 있다. 이로 인해 고스트 현상과 같은 가시적인 영상 간섭이 발생할 수 있다. 대부분의 RF 케이블은 단순히 소켓에 밀어 넣기만 하면 쉽게 꺼낼 수 있다. 일부 버전에는 나사 대신 뚜껑을 조이는 것이 포함된다. 이러한 연결은 좀 더 안전하며 신호 저하가 거의 없지만, 표준 RF 케이블 연결만큼 편리하지는 않다. 일반적으로 RF 케이블을 사용하는 것이 가장 저렴한 옵션이지만, 좀 더 우수한 품질의 케이블을 저렴한 가격에 구입할 수 있다.

교수 방법

- 플라스마 장비의 가동 원리를 설명한다.
- 플라스마 장비의 종류를 설명하고 특징을 지도한다.
- 플라스마 장비의 부품에 관하여 설명한다.
- 플라스마 장비의 종류와 특성에 관해 지도한다.

학습 방법

- 플라스마 장비의 가동 원리를 이해하고 숙지한다.
- 플라스마 장비의 종류를 학습하고 이해한다.
- 플라스마 장비의 부품 종류별 특징을 숙지한다.
- 플라스마 장비의 분류 방법을 이해하고 학습한다.

학습 2 평 가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준		
		상	중	하
플라즈마 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 플라즈마 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)을 검증할 수 있다.			
	- 플라즈마 종류 및 구성품, 제원(세부 사양), 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리에 따라 설치 준비할 수 있다.			

평가 방법

- 서술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
플라즈마 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 플라즈마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 이해 여부			
	- 플라즈마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 숙지하고 활용하는 능력			
	- 플라즈마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 이용하여 설치 준비할 수 있는 능력			

- 논술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 장비의 종류별 제원과 작동 메커니즘 검증 및 설치 준비	- 플라즈마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 구성하는 능력			
	- 플라즈마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 설명할 수 있는 능력			
	- 플라즈마 장비의 작동 원리를 이용하여 설치 준비 및 실행할 수 있는 능력			

피드백

1. 서술형 시험

- 서술형 시험 점수와 결과를 확인하고 부족한 부분은 보충 학습하게 한 후, 그 결과를 확인한다.
- 플라스마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 이용하여 설치 준비할 수 있는 이해도와 그에 따른 대책과 방법을 숙지하고 있는지 평가한 후, 부족한 부분은 보충 학습하게 하고 그 결과를 확인한다.

2. 논술형 시험

- 논술형 시험의 기술 내용을 확인하고 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 있는지 평가한 후, 부족한 부분은 보충 학습하게 한 후 그 결과를 확인한다.
- 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 구성할 수 있는지 확인하고 평가한 결과, 성취 수준이 낮은 학습자에게는 재료별 제조 방법을 이해하기 위한 관련 항목을 설명해준다.

학습 1	진공 장비 원리 파악하기
학습 2	플라스마 장비 원리 파악하기
학습 3	진공·플라스마 대상 측정하기
학습 4	진공·플라스마 장비 셋업하기
학습 5	진공·플라스마 장비 유지 보수하기

3-1. 진공 및 플라스마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치

학습 목표

- 진공 및 플라스마 장비의 설치 환경, 조건, 방법을 검증할 수 있다.
- 진공 및 플라스마 장비의 설치 환경, 조건, 방법에 따라 설치할 수 있다.

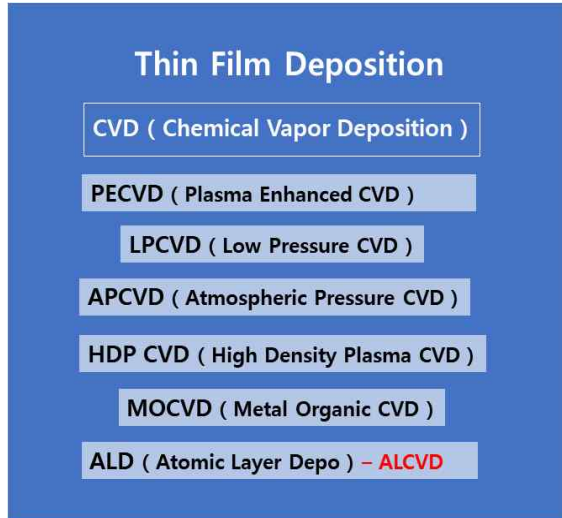
필요 지식 /

① 진공 및 플라스마 장비의 종류

진공 및 플라스마 장비의 종류는 유전막 물질의 증착에 사용되는 화학기상증착(CVD: Chemical Vapor Deposition) 장비와 금속막 증착에 사용되는 물리적기상증착(PVD: Physical Vapor Deposition), 그리고 분석 공정에 사용되는 집속 이온 빔(FIB: Focused Ion Beam) 장비 등이 있다.

1. 화학기상증착(CVD: Chemical Vapor Deposition)

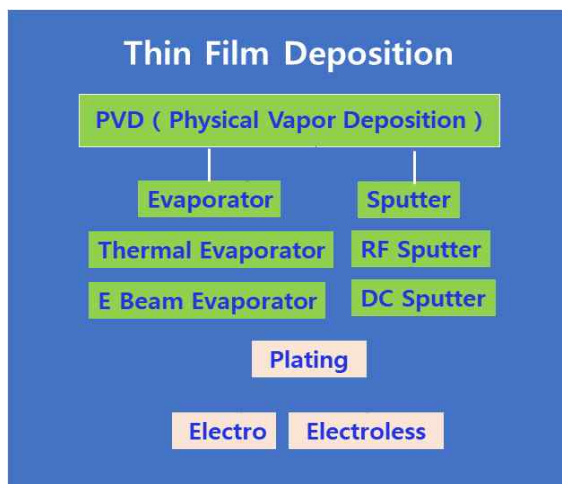
CVD는 우리말로 ‘화학기상증착’이라는 뜻이다. 큰 분류로는 반도체 공정 중 박막(Thin Film) 증착 공정에 해당하고, 그중에서 물리적인 기상증착인 PVD(Physical Vapor Deposition)와 달리 화학적 반응을 이용하는 화학적기상증착이라는 뜻이다. 주로 두 가지 이상의 반응 가스를 플라스마 챔버에 삽입하여 화학적으로 반응시켜서 그 반응물을 목표 물질인 실리콘 기판에 증착하는 공정이다. [그림 3-1] 박막 공정(Thin Film Deposition)을 보면 CVD는 여러 가지 종류가 있다. 그중 LPCVD는 플라스마가 아닌 가열 방법으로 화학 반응을 만드는 장비이고, PECVD를 비롯해서 HDP CVD와 APCVD 등은 플라스마를 사용하여 가스를 더 강하게 반응시켜서 반응물을 기판 위에 증착해 주는 장비로 분류된다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-1] 박막 공정(Thin Film Deposition)과 화학기상증착(CVD)

2. 물리적기상증착(PVD: Physical Vapor Deposition)

물리적기상증착은 이온 충격에 의해서 금속 입자가 떨어져 나오게 하는 것이다. 이때 사용하는 가스는 계획되지 않은 화학반응을 방지하기 위하여 주로 아르곤 가스(Ar Gas)를 사용한다. 그리고 아르곤 가스는 유량조절기(MFC: Mass Flow Controller)라고 하는 조절기로 흐르는 유량을 정확히 조절해야 하며, 고주파 발생기에서 만들어지는 고주파 전압은 여러 번의 실험에 의해 적정한 세기의 전압으로 발생하게 해야 하며, 진공도도 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ torr 이상으로 잘 유지되게 하여야 한다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-2] 박막 공정(Thin Film Deposition)과 물리적기상증착(PVD)

3. 집속 이온 빔(FIB: Focused Ion Beam)

FIB는 우리 말로 집속된 이온 빔이라는 뜻이다. 주로 물질의 표면 분석이나 성분 분석 등

에 사용되는 반도체 분석 장비이다. 집중 이온 빔은 반도체 산업, 재료 과학 및 재료의 현상 분석, 증착 및 절제를 위해 생물학적 분야에서 특히 사용되는 기술이며, FIB 설정은 주사전자현미경(SEM)과 유사한 분석 기기이다. 그러나 주사전자현미경은 체임버 내의 샘플을 이미지화하기 위해 전자의 집속 빔을 사용하는 반면, FIB 설정은 이온의 집중된 빔을 사용한다. FIB는 또한 전자 및 이온 빔 칼럼이 모두 있는 시스템에 통합될 수 있으므로, 빔 중 하나를 사용하여 동일한 특징을 조사할 수 있고, 직접 쓰는 리소그래피(예: 양성자 빔 쓰기)를 위해 집중된 이온의 빔을 사용하는 것과 혼동해서는 안 되며, 양성자 빔 쓰기는 일반적으로 재료가 다른 메커니즘에 의해 변형되는 완전히 다른 시스템이다.

수행 내용 / 진공 플라즈마 대상 측정하기

재료·자료

- 실리콘 웨이퍼
- 진공용 그리스(Grease), 진공용 실링 재료
- 진공밸브, 오링(O-Ring)

기기(장비 · 공구)

- 터보펌프, 로터리펌프
- 컨트롤 컴퓨터, 전원 공급장치
- 메인 체임버, 로드록 체임버

안전 · 유의 사항

- 터보펌프의 고속 회전 가동 시 블레이드가 손상되지 않도록 진공 균형을 잘 유지한다.
- 로터리펌프가 가동될 때 윤활유가 적정한지 확인한다.
- 전구체 가스가 공급될 때 누설에 의한 위험이 발생하지 않도록 예방 조치한다.

수행 순서

- ① 진공 플라즈마 장비의 종류에 따른 특성을 측정한다.

진공 및 플라즈마 장비의 종류와 특성 CVD, PVD, FIB 등 사용 분야에 따라 많은 차이점과

특성을 가지며, 각각의 특성에 따라 특성값을 측정한다.

1. CVD의 종류에 따른 구조와 특징

진공 및 플라스마 장비의 종류 중에서 CVD의 종류와 특징은 매우 다양하다. PECVD를 비롯해서 HDP CVD와 APCVD 등은 진공과 플라스마를 적정히 이용해서 증착하는 반도체 공정 장비이며, 종류와 특징은 다음과 같다.

(1) PECVD(Plasma Enhanced CVD)

PECVD는 다음과 같은 여러 가지 특징이 있다.

(가) 강한 고주파 전압으로 발생한 플라스마를 이용하여 화학기상 반응으로 증착하는 장치

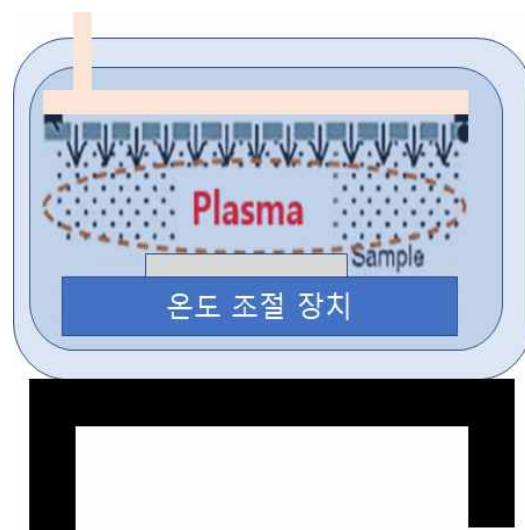
PECVD는 고주파 발생기를 이용하여 고주파 전압을 발생시켜서 챔버 내의 가스를 플라스마로 만들어 강한 화학반응을 유도하여 반응물을 증착한다는 특징이 있다.

(나) 진공 챔버 내 가스들의 화학반응 물질로 박막을 증착하는 장치

PECVD는 진공 챔버 내에 가스를 주입함과 동시에 반응에 적절한 진공 상태로 만들고 온도도 적절한 상태로 제어하는 상태에서 반응이 일어나게 만드는 반도체 진공 플라스마 장비이다.

(다) 저온으로 화학반응을 일으켜서 박막을 증착하는 장치

PECVD는 650℃ 이상의 고온에서 증착하는 LPCVD와 달리 150~350℃ 정도의 상대적으로 저온에서 플라스마의 특성을 이용해서 이온과 라디칼 등을 활용한 저온 증착이 가능한 반도체 공정 장비이다.



출처: 집필진 제작(2022)

[그림 3-3] PECVD 내부 구조

(라) PECVD 내부의 가스 샤워 헤드(Gas Shower Head)

[그림 3-3]에서 보여주는 것처럼 내부에 샤워 헤드(Shower Head)를 설치해서 주입

되는 가스가 균일한 분포를 이루면서 반응하도록 설계되어 있다. 그리고 샘플이 놓이는 아래쪽에는 온도가 조절되도록 히터와 냉각장치가 설치되어 있어서 최적의 반응 온도를 설정할 수 있다

(2) LPCVD(Low Pressure CVD)

LPCVD는 다음과 같은 여러 가지 특징이 있다.

(가) 저압 공정 장비

LPCVD(Low Pressure CVD)는 저압에서 반응을 일으켜서 증착하는 공정 장비이다.

(나) LPCVD의 공정 종류

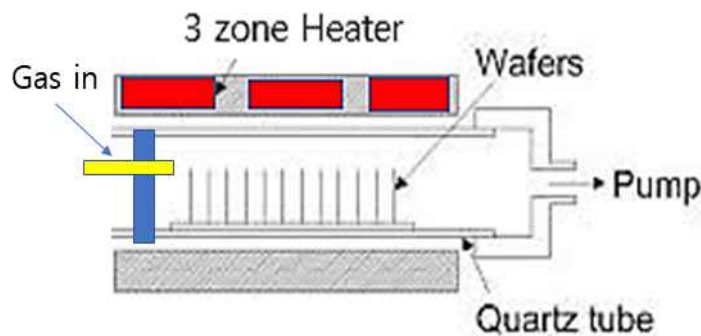
LPCVD 장비는 주로 그래펜(Graphene), 실리콘 질소화물(Silicon Nitrides), 폴리실리콘(Polysilicon) 등을 증착한다.

(다) LPCVD의 구성

LPCVD는 컨트롤 PC, 공정 챔버(Process Chamber), 로딩 시스템>Loading System) 등으로 구성되어 있다.

(라) LPCVD의 장점

LPCVD는 저압 고온에서 박막을 증착하는 공정이다. 우수한 막질과 균일도가 장점이다. 얇은 박막 증착에 주로 적용되며, 많은 양의 웨이퍼를 한 번에 많이 진행하는 배치(Batch) 타입과 한 장씩 여러 번 진행하는 싱글 타입으로 구분할 수 있다. 대체로 배치 타입을 많이 사용하는데, 한 번에 50~100매 정도의 많은 양을 처리할 수 있는 공정 장비이다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-4] LPCVD 내부 구조

(3) HDP(High Density Plasma CVD)

HDP CVD는 우리 말로 고밀도 플라스마 CVD라고 불리며, 다음과 같은 여러 가지 특징이 있다.

(가) 증착과 식각을 동시에 진행

HDP CVD는 증착과 식각을 동시에 진행하여 오버행(Overhang)을 없애고 스텝 커버리지(Step Coverage)를 높일 수 있다는 장점이 있다. 그것은 고주파 전원 장치와 고진공 시스템이 갖춰져 있으므로 가능한 일이며, 고진공을 만들기 위해서 터보펌프를 사용한다. 증착과 스퍼터 식각을 동시에 수행할 수 있다는 것이 HDP CVD 공정의 가장 큰 장점이지만, 수반되어야 할 가장 중요한 조건이 필요한데, 수mtorr의 낮은 압력의 유지이다. 낮은 압력이 필요한 이유는 아르곤 이온이 다른 이온들과 충돌 확률을 줄여 직진성을 확보하기 위해서이며, 터보펌프를 사용해야 한다. 낮은 압력에서 증착 막을 형성하게 하려면 기존의 샤워 헤드 방식으로는 불가능하고 유도결합 플라즈마 ICP(Inductively Coupled Plasma) 등을 이용하여 고밀도 플라즈마(High Density Plasma)를 생성하여 증착과 식각을 동시에 진행하는 방식이다.

(나) 설비관리와 Process 불량

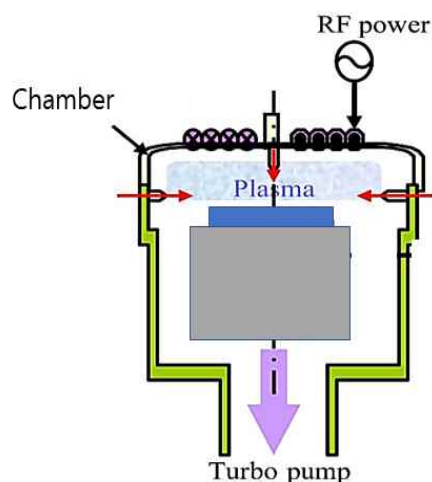
HDP CVD의 불량 원인과 설비 관리의 필요성을 반드시 이해하며, 주기적인 설비 관리와 관련 부품의 고장 수리, 검교정 등을 시행하여야 한다.

1) 체임버 조건의 변화

PM(Preventive Maintenance)나 고장 수리 후 공정 체임버(Process Chamber) 내부의 분위기 변화(Chamber Wall의 청결도, Seasoning 실시 여부)를 관리한다.

2) 내부 부품의 고장

유량조절기(MFC)의 고장이 발생할 수 있는데, 장기간 사용에 의한 내부 플로 센서(Flow Sensor)의 오작동 등이 원인이다. 그리고 진공장치(Vacuum System)에 고장이 발생할 수 있는데 펌프 수명과 오일의 수명, 진공밸브의 오링 오염 등이 원인이 될 수 있다. 그리고 공정 체임버(Process Chamber)의 오염은 장시간 사용에 의한 파티클 오염, 작업자에 의한 오염 등이 오염인자로 볼 수 있다.

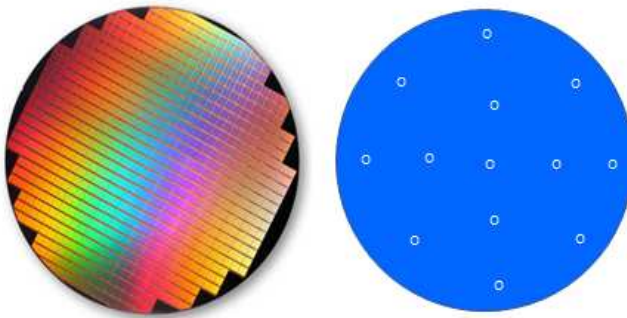


출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-5] HDP CVD의 내부 구조

(다) 공정 피옴(PM) 방법

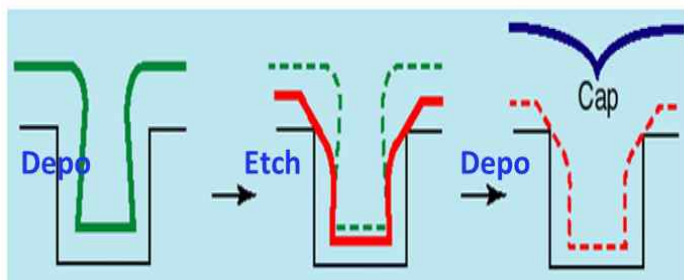
실리콘다이옥사이드(SiO_2)의 증착 두께의 균일성(Uniformity)을 확인하는 방법은 웨이퍼 내부에서 총 13포인트의 두께를 측정한 후 표준편차를 구하고 평균값으로 나누어 주면 된다. 이때 균일성(Uniformity)은 1.5~3% 이내로 관리되어야 한다. 증착 박막의 웨이퍼 간 증착 두께 균일성 확인은 5~10매의 웨이퍼 두께를 측정한 후 각 웨이퍼의 측정값의 표준편차를 평균값으로 나누어 산출한다.

Wafer 측정위치

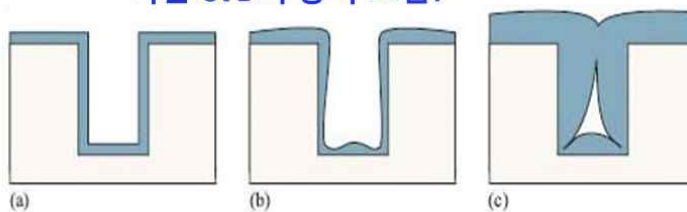


출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-6] 웨이퍼 측정 위치

HDP CVD의 증착 진행 모습.



기존 CVD의 증착 모습.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-7] HDP CVD의 공정 모식도
(3) APCVD(Atmospheric Pressure CVD)

APCVD는 상압 CVD라고 불리며, 다음과 같은 여러 가지 특징이 있다.

(가) 상압에서 증착

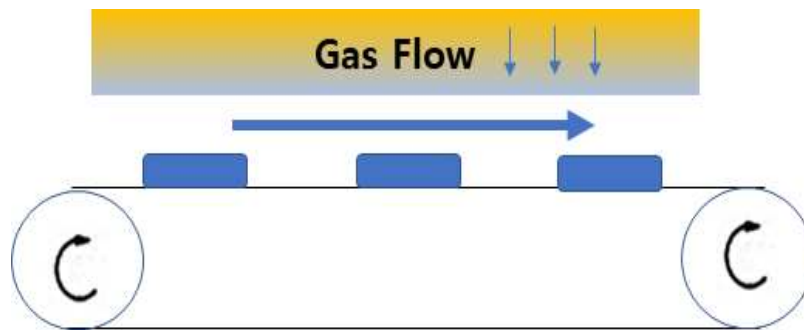
APCVD는 상압에서 진행되는 공정이며, 따라서 진공 챔버와 펌프 등 여러 가지의 진공 부품이 필요 없다.

(나) 장점

APCVD의 장점으로 높은 생산성과 우수한 균일성을 들 수 있다.

(다) 단점

APCVD의 단점으로는 공정 가스의 소모량이 많다는 것과 자주 챔버를 클리닝해야 한다는 것이다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-8] APCVD의 구조도

2. PVD의 종류에 따른 구조와 특징

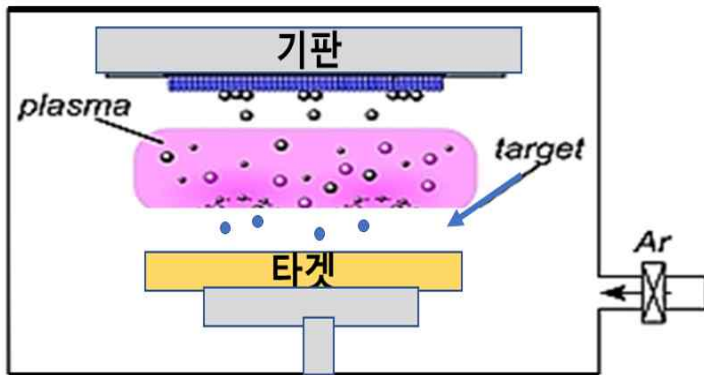
PVD는 물리적 증착 장비이며 물리적기상증착은 낮은 압력과 낮은 온도에서 진행되고 고품질 박막을 형성하고 불순물 오염 정도가 낮다는 것이 장점이다. 그러나 증착 속도가 느리고 고가의 장비를 이용해야 한다는 단점도 있다. 진공 및 플라즈마 장비의 종류 중에서 PVD의 종류와 특징은 여러 가지가 있다. 스퍼터를 비롯해서 증발기(Evaporator)와 도금 장치 등은 진공과 플라즈마를 적정히 이용해서 금속막을 증착하는 반도체 공정 장비이며, 종류와 특징은 다음과 같다.

(1) 스퍼터(Sputter)

스퍼터는 아르곤(Ar) 가스를 이용하여 물리적으로 증착하는 방식인데, 아르곤 가스에 높은 전압을 가하면 $\text{Ar} \rightarrow \text{Ar}^+$ 이온으로 변화하며, 증착되어야 할 기판에는 (+)전압을 가해 주고 증착에 사용되는 물질인 타깃층에는 (-)전압을 인가하여 아르곤 이온을 타깃층에 충돌시켜서 금속 원자를 분리시켜 기판에 증착되게 하는 반도체 공정 장비이다.

(가) 스퍼터의 장점

증착 금속막의 두께의 균일성이 우수하며, 큰 면적의 타깃 이용이 가능하며, 증착 박막의 밀착력이 우수하다는 장점이 있다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-9] 스퍼터의 구조도

(나) 스퍼터의 단점

성막 속도(금속막 증착 속도)가 느리다. 그리고 박막이 전자와 이온 등에 노출되어 가열되므로 온도에 의한 손상에 노출되며, 성막 조건이 민감하다.

(다) 스퍼터의 종류

스퍼터는 두 가지 방식이 대표적인데, DC 스퍼터와 RF 스퍼터가 있다.

1) DC 스퍼터(DC Sputter)

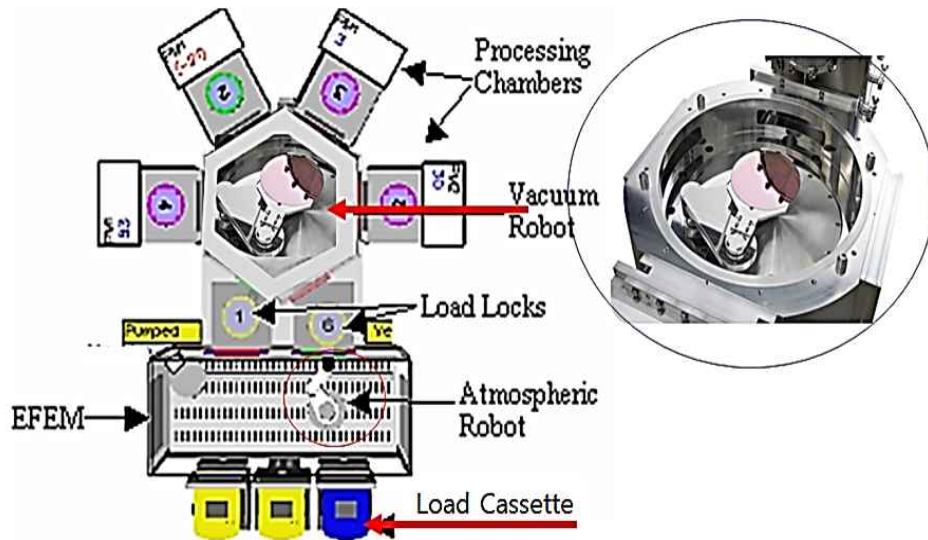
DC 스퍼터 타겟의 재질은 전도체이며, 타겟의 제조 방식은 진공 주조 방식이다. 글로 방전(Glow Discharge)을 이용하여 아르곤 이온을 발생시켜 증착하는데, 아르곤 플라스마의 진공도는 10~15mtorr 정도이고, 성막 속도가 크다는 장점이 있다.

2) RF 스퍼터(RF Sputter)

RF 스퍼터는 타겟이 전도체, 절연체, 비금속, 유전체 등 여러 가지를 사용할 수 있다. 진공도는 2~5mtorr 정도이며, 성막 속도가 상대적으로 낮다는 단점이 있다.

3) 스퍼터의 전체 구조

스퍼터의 전체 구조는 클러스터 시스템으로 되어 있다. 공정 চে임버가 여러 개 (3~7세트)가 달려 있고 웨이퍼를 분배해 주는 TM(Transfer Module)이 있는데, 각각의 공정을 수행하는 공정 চে임버가 공정 종류에 따라 배분되어 있으며, 로드 록 카세트가 두 세트 장착되어 있어서 공정에 투입되는 웨이퍼와 공정이 끝나고 나오는 웨이퍼를 각각의 위치에서 로봇이 주고받으며 로딩과 언로딩을 수행한다. 또한, 카세트를 사용하여 한 번에 25매의 웨이퍼를 로딩/언로딩할 수 있으며, 카세트는 로봇의 작동과 연동하여 상하 작동을 하여서 웨이퍼가 로봇의 팔에 의해 리프팅되어서 이송할 수 있게 하여 준다.



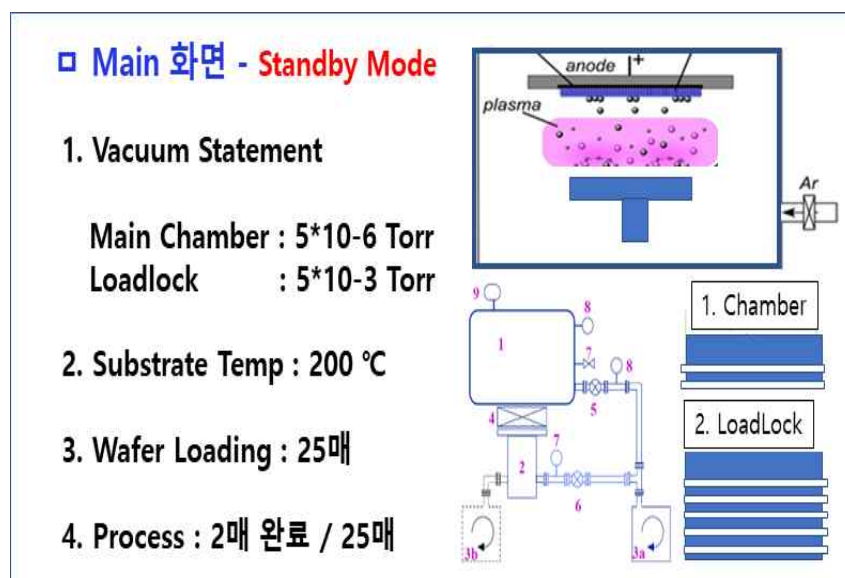
출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-10] 스퍼터의 전체 구조도

(라) 스퍼터의 공정 제어

스퍼터는 두 가지 모드를 실행하면서 공정을 진행할 수 있다.

1) 준비 모드(Standby Mode)

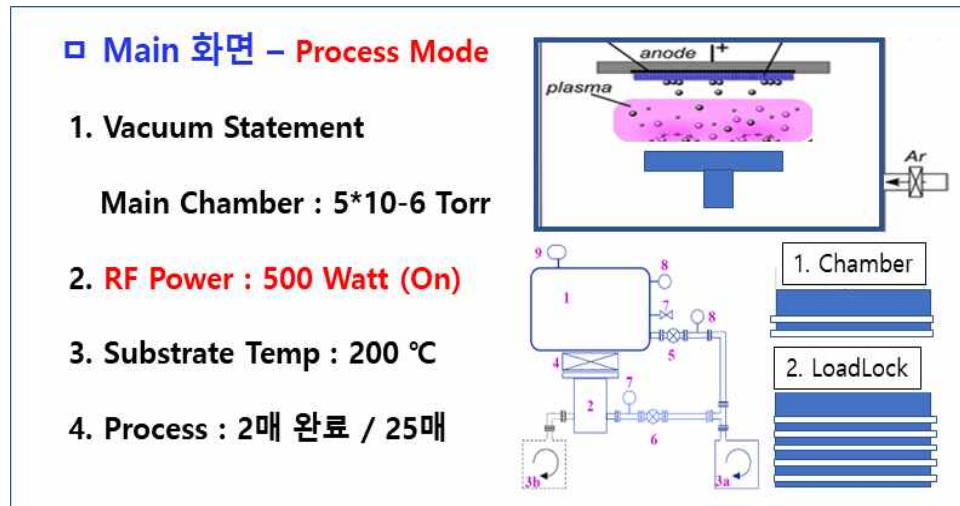
준비 모드는 공정이 진행되기 전 장비의 상태를 준비하는 단계이다. 이 단계에서 공정 수행상 문제가 없는지 점검 가능하며, [그림 3-10]과 같이 문제점에 대하여 세팅을 조정할 수 있는 여러 가지 기능이 있다.



출처: 집필진 제작(2022)
[그림 3-11] 스퍼터의 준비 모드(Standby Mode) 화면

2) 공정 모드(Process Mode)

공정 모드는 실제 계획된 대로 공정을 수행하는 것을 모니터링할 수 있는 화면이다. 공정 진행 중의 진공도와 RF 파워의 세팅 값과 실제 수행 값을 보여준다. 이 상황에서 세팅 값과 실제 수행되는 여러 값이 일치하지 않으면 공정은 자동으로 중단되고, 장비를 점검 모드로 변환시켜서 부품들의 이상 유무를 점검해야 한다.

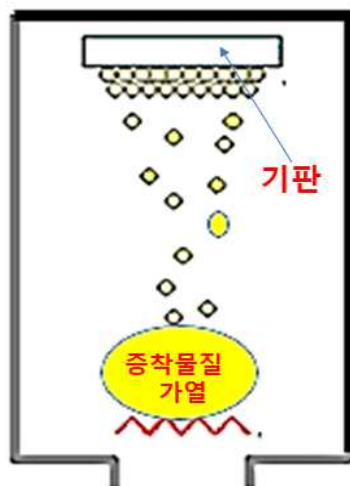


출처: 집필진 제작(2022)

[그림 3-12] 스퍼터의 공정 모드(Process Mode) 화면

(2) 이배퍼레이터(Evaporator)

이배퍼레이터란 증착하게 하려는 물질을 보트에 올려 두고 가열하여 증발시켜 기판 위에 원하는 금속 물질이 증착되게 하는 반도체 공정 장비이다.



출처: 집필진 제작(2022)

[그림 3-13] 이배퍼레이터(Evaporator)의 내부 구조

이배퍼레이터는 방식에 따라 두 가지로 분류할 수 있다.

(가) 열 방식 이배퍼레이터(Thermal Evaporator)

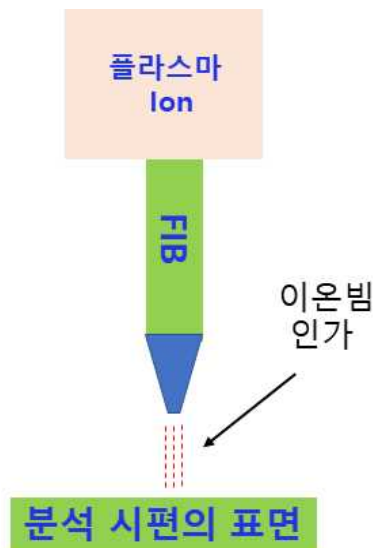
증착하려는 물질을 텅스텐 보트 위에 올려놓고 가열하여 금속막을 증착하는 방식의 이배퍼레이터이다.

(나) 이빔 방식 이배퍼레이터(E-Beam Evaporator)

증착하려는 물질을 크루시블에 넣어 두고 전자빔을 인가하여 열을 발생시켜 금속막을 증착하는 방식의 이배퍼레이터이다.

3. 이온 집속장치(FIB: Focused Ion Beam)

이온 집속장치는 반도체 산업, 재료 과학 및 재료의 현장별 분석, 증착 및 절제를 위해 생물학적 분야에서 특히 사용되는 기술이다. 이온 집속장치 설정은 주사전자현미경(SEM)과 유사한 과학 기기이지만, 주사전자현미경은 챔버 내의 샘플을 이미지화하기 위해 전자의 집속 빔을 사용하는 반면, 이온 집속장치 설정은 대신 이온의 집속된 빔을 사용한다. 이온 집속장치는 또한 전자 및 이온 빔 칼럼이 모두 있는 시스템에 통합될 수 있으므로 빔 중 하나를 사용하여 동일한 특징을 조사할 수 있다.



출처: 집필진 제작(2022)

[그림 3-14] 집속 이온 빔 장비의 구조

(1) 이온 집속장치의 원리

집중 이온 빔(FIB) 시스템은 주로 대형 반도체 제조업체를 위해 약 20년 동안 상업적으로 생산되었다. 이온 집속장치 시스템은 전자의 빔이 아닌 주사전자현미경과 유사한 방식으로 작동하며, 명칭에서 알 수 있듯이 이온 집속장치 시스템은 이미징을 위해 낮은 빔 전류 또는 사이트별 스퍼터링 또는 밀링을 위한 높은 빔 전류에서 작동할 수 있는 미세하게 집속된 이온 빔(일반적으로 갈륨)을 사용한다. 일차 이온 빔은 샘플 표면에 닿

아 소량의 물질을 스퍼터링하여 표면을 이차 이온(i^+ 또는 I^-) 또는 중성 원자로 남겨 둔다. 일차 빔은 또한 이차 전자(e^-)를 생성한다. 샘플 표면의 일차 빔 래스터로서, 스퍼터링된 이온 또는 이차 전자로부터의 신호가 수집되어 이미지를 형성한다. 낮은 일차 빔 전류에서는 매우 적은 재료가 스퍼터링되고, 현대 집속 이온 빔 시스템은 5nm 이미징 분해능을 쉽게 달성할 수 있다. 갈륨(Ga) 이온을 사용한 이미징 해상도는 스퍼터링 및 검출기 효율에 의해 5nm 이하로 제한된다. 더 높은 일차 전류에서 많은 양의 재료가 스퍼터링에 의해 제거될 수 있어, 시편을 서브마이크로미터 또는 심지어 나노 스케일까지 정밀하게 밀링할 수 있다.

학습 3 교수·학습 방법

교수 방법

- 진공 및 플라스마 장비의 가동 원리를 설명한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류를 설명하고 특징을 지도한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 부품에 관하여 설명한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류와 특성에 관해 지도한다.

학습 방법

- 진공 및 플라스마 장비의 가동 원리를 이해하고 숙지한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류를 학습하고 이해한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 부품에 관하여 종류별 특징을 숙지한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 분류 방법을 이해하고 학습한다.

학습 3 평 가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치	- 진공 및 플라스마 장비의 설치 환경, 조건, 방법을 검증할 수 있다.			
	- 진공 및 플라스마 장비의 설치 환경, 조건, 방법에 따라 설치할 수 있다.			

평가 방법

- 서술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치	- 진공 및 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등에 관한 지식 정도			
	- 진공 및 플라스마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 알고 활용하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 이용하여 설치 준비할 수 있는 능력			

- 논술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 설치 조건과 방법의 검증 및 설치	- 진공 및 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등에 관한 세부 내용을 이해하고 구성하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 설명할 수 있는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 작동 원리를 이용하여 설치 준비 및 실행할 수 있는 능력			

피드백

1. 서술형 시험

- 서술형 시험을 평가한 결과, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 작동 메커니즘(원리)의 파악된 원리를 이용하여 설치 준비할 수 있는 지식 정도와 그에 따른 대책과 방법을 이해하는지 평가한 후, 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.

2. 논술형 시험

- 진공 및 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하였는지 평가한 후, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류 및 구성품, 제원(세부 사양) 등의 세부 내용을 이해하고 구성하였는지 평가한 결과, 성취 수준이 낮은 학습자에게는 재료별 제조 방법을 이해하기 위한 관련 항목을 설명해준다.

학습 1	진공 장비 원리 파악하기
학습 2	플라스마 장비 원리 파악하기
학습 3	진공·플라스마 대상 측정하기
학습 4	진공 플라스마 장비 셋업하기
학습 5	진공·플라스마 장비 유지 보수하기

4-1. 진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교

학습 목표

- 진공 및 플라스마 장비의 운전방법 및 측정 대상, 측정 항목을 파악하고 측정할 수 있다.
- 진공 및 플라스마 장비의 측정 항목 결과를 기준값과 비교할 수 있다.

필요 지식 /

① 진공 플라스마 장비의 부품

진공 및 플라스마 장비의 부품은 크게 진공용 부품과 플라스마 가동 부품으로 나누어 파악할 수 있다.

1. 진공용 부품

진공 및 플라스마 장비에서 진공용 부품은 진공을 조성하는 데 사용되는 부품과 조성된 진공을 유지하는 데 필요한 부품이 있다.

(1) 진공펌프와 진공밸브

진공펌프는 진공 및 플라스마 장비의 공정 조건을 조성하기 위한 분위기 형성을 위해 가장 기본적으로 사용되는 도구이다.

(가) 진공펌프의 분류

진공펌프는 로터리펌프라고 불리는 저진공펌프가 있고, 터보펌프나 크라이오펌프와 같은 고진공용 펌프가 있다.

1) 저진공펌프

저진공펌프는 로터리펌프라고 알려진 펌프로, 주로 10^{-3} torr 이하의 진공을 위한 펌프이다.

2) 고진공펌프

고진공펌프는 터보펌프 또는 크라이오펌프가 고진공펌프로 분류되며, 주로 10^{-6} torr 이상의 고진공을 위한 펌프이다.

(나) 진공밸브

진공밸브는 진공 챔버에 사용되는 게이트 밸브와 펌핑 라인에서 사용되는 진동용 밸브가 있는데, 그중에서도 수동으로 동작하는 스위치형 밸브가 있고 컴퓨터나 컨트롤러로 작동되는 자동 밸브가 있다.

1) 수동 밸브

수동 밸브는 연구실 또는 실험실 수준에서 저가의 실험용 진공 플라즈마 장비에서 사용되는데 진공을 뽑는 초기에 챔버의 개방용으로 사용되며, 실험이 끝난 후 챔버의 진공을 해제하는데 질소가 투입되는 경로의 개방을 위해서도 사용될 수 있다. 작동방법은 간단한 전원 스위치를 장비 전면에 부착하여 사용한다.

2) 자동 밸브

자동 밸브는 컴퓨터나 컨트롤러로 설정된 진공값에 따라서 밸브의 개폐가 자동으로 동작하는 밸브이며, 스톱밸브가 주로 사용된다.

2. 냉각용 부품

진공 및 플라즈마 장비에서 냉각용 부품은 진공을 조성하는 데 사용되는 부품과 조성된 진공을 유지하는 데 필요한 부품이 가동하는 사이 열이 발생할 때 열을 낮춰서 부품에 이상이 발생하지 않게 하는 역할을 한다.

(1) 냉동기

냉동기는 각종 냉각장치와 냉각수에 공급되는 공기와 용수를 냉각하여 적절한 온도로 유지해 주는 역할을 한다. 반도체 라인에서는 주로 섭씨 18℃ 정도를 기준으로 사용한다.

(2) 냉각수 펌프

냉각수 펌프는 진공 및 플라즈마 장비 내에 공급되는 냉각수를 적절한 유량과 압력으로 전달해주는 펌프이다.

(3) 냉각수 배관

냉각수 배관은 진공 및 플라즈마 장비 내에 공급되는 냉각수를 냉각수 저장탱크에서 장비의 내부와 공조기로 전달하는 통로 역할을 한다.

(4) 냉각수 밸브

냉각수 밸브는 진공 및 플라즈마 장비 내에 공급되는 냉각수를 냉각수 저장탱크에서 장비의 내부와 공조기로 전달하는 통로의 위치마다 개폐 작동을 하여 적절한 시간에 적절한 양의 냉각수를 전달하는 역할을 한다.

3. 퍼지용 부품

퍼지용 부품은 진공 및 플라즈마 장비에서 진공 챔버를 대기압 상태로 개방하거나, 진공

펌프의 가동이 중단됐을 때 대기의 역류를 방지하기 위해서 펌프 내부 주입용으로 사용한다. 주로 질소를 공급하여 챔버를 개폐 작동할 때 외부의 수분이나 산소가 침입하지 않도록 해주는 역할을 한다.

(1) 액체질소 저장장치

액체질소 탱크는 질소가스를 진공 플라스마 장비가 있는 생산 시설 내에 공급하기 위한 대량 질소 저장장치이다. 대용량의 질소를 저장하기 위하여 액체 상태로 저장하고, 전달할 때는 기화시켜서 기체 상태로 전달한다.

(2) 질소 개폐 밸브

질소 개폐 밸브는 진공 플라스마 장비의 챔버를 대기압으로 만들 때 사용하는 경우와 진공펌프를 끌 때 대기가 역류해 들어오지 않도록 열어주는 경우 등 두 가지가 있다.

수행 내용 / 진공 플라스마 장비 셋업하기

재료·자료

- 실리콘 웨이퍼
- 진공용 그리스, 진공용 실링 재료
- 진공밸브, 오링(O-Ring)

기기(장비 · 공구)

- 터보펌프, 로터리펌프
- 컨트롤 컴퓨터, 전원 공급장치
- 메인 챔버, 로드록 챔버

안전 · 유의 사항

- 터보펌프의 고속 회전 가동 시 블레이드가 손상되지 않도록 진공 균형을 잘 유지한다.
- 로터리펌프 가동 시 윤활유가 적정한지 확인한다.
- 전구체 가스가 공급될 때 누설에 의한 위험이 발생하지 않도록 예방 조치한다.

수행 순서

① 진공 및 플라스마 장비의 셋업과 운전 방법을 확인한다.

진공 및 플라스마 장비를 운전할 경우 진공에 대한 기초 지식과 플라스마에 대한 안전 지식이 필요하다. 기초 지식이 갖추어진 담당 인력이 장비별 사용 매뉴얼과 소프트웨어를 기준으로 정확한 가동 및 조작을 해야 한다.

1. 진공 및 플라스마 장비의 진공장치 운전 방법

진공 및 플라스마 장비의 운전 순서는 전원장치 가동, 온습도 조절 장치 가동, 진공장치 가동, 플라스마 장치 가동순으로 진행한다.

(1) 전원장치 작동

진공 및 플라스마 장치가 설치된 실험실의 전원공급 패널에서 해당 전원을 공급해주는 서킷 브레이커와 장비의 컨트롤러에 설치된 메인 전원 스위치를 “On” 상태로 올려준다.

(가) 서킷 브레이커

서킷 브레이커는 진공 및 플라스마 장치가 설치되어 있는 실험실의 전원 공급 패널에는 각종 조명장치와 실험 기기들의 전원을 공급해주는 서킷 브레이커가 설치되어 있다. 그중에서 진공 및 플라스마 장치에 해당하는 서킷 브레이커를 찾아서 “On” 상태로 올려준다.

(나) 장비의 컨트롤러에 설치되어 있는 메인 전원 스위치

진공 및 플라스마 장치 내부에 설치되어 있는 메인 전원 스위치를 찾아서 “On” 상태로 올려준다.

(2) 온습도 조절 장치

진공 및 플라스마 장비가 설치되어 있는 실험실이나 생산 라인의 온습도를 조절해주는 컨트롤러를 가동하고 적절한 온습도를 설정한다.

(가) 온습도 조절 장치의 위치

온습도 조절 장치의 위치는 통상 진공 및 플라스마 장비가 설치되어 있는 해당 실험실 또는 대형 생산 라인의 경우에는 중앙 유틸리티 공급실이다.

(3) 진공장치 작동

진공장치는 크게 하우스 진공장치와 진공 및 플라스마 장비의 내부 장치 등 두 가지로 분류할 수 있다.

(가) 하우스 진공장치

하우스 진공장치는 실험실 또는 대형 생산 라인의 바닥면에 연결구가 설치되어 있으며, 진공 가동은 중앙 또는 지하의 대형 진공펌프로 할 수 있다. 주 용도는 주변의 파티클 집진 또는 시편을 운반할 때 사용하는 트위저를 위해서 사용된다.

(나) 진공 플라스마 장비 내부의 진공장치

진공 및 플라스마 장비의 내부 진공장치는 장비의 바닥면이나 패널 내부에 설치되어

있는 소형 진공펌프와 밸브들이다.

(4) 플라스마 장치 작동

진공 및 플라스마 장비의 플라스마 장치는 고주파 전원 발생 장치와 매칭 유닛을 이용하여 가동할 수 있다.

(가) 고주파 전원 발생 장치

고주파 전원 발생 장치는 RF Generator(Radio Frequency Generator)라는 장치 명으로 불리며, 매칭 유닛을 이용하여 출력을 정확하게 조절할 수 있다.

(나) 고주파 전원 발생 장치 작동 방법

고주파 전원 발생 장치는 주로 컴퓨터나 전용 컨트롤러로 작동하게 되어 있으며, 사용을 원하는 출력의 크기를 컨트롤러나 컴퓨터에 입력하고 할 수 있다. 정확한 출력 제어를 위해 매칭 유닛이 사용되는데, 고주파 전원장치의 설정값과 실제 출력의 차이를 감지하여 출력이 안정적으로 나올 수 있게 하는 역할을 한다. 실제 가동을 하기 전에 터미 로더를 사용하여 출력을 사전 테스트할 수 있으며, 초기에 정확한 출력이 나오더라도 장기간 사용하게 되면 기기의 오염이나 환경 변화로 출력의 오차를 발생시킬 수 있기 때문에 일정 기간 사용한 후에는 중간에 테스트할 필요가 있다.

(5) 냉각수 장치 작동

진공 및 플라스마 장비의 플라스마 장치는 각종 전원장치와 펌프들과 고주파 전원 발생 장치 등을 사용하게 되므로, 많은 열이 발생할 수 있고 발생한 열로 인하여 장비의 오작동 및 고장이 발생하고, 심한 경우 화재가 발생할 수도 있다. 이러한 과열로 인한 문제를 해소하기 위하여 냉각수 장치를 이용할 수 있다.

(가) 냉각수 펌프 가동

냉각수 장치는 진공 및 플라스마 장비가 설치되어 있는 생산 라인이나 실험실의 아래층에 통상 설치되어 있으며, 냉각수 저장탱크 주변에 설치되어 있다. 냉각수는 수돗물을 공급하여 냉동기를 거쳐 섭씨 18℃ 정도의 온도로 공급되는데, 냉각수 배관과 밸브들도 중요한 역할을 한다. 일단 진공 및 플라스마 장비를 가동하기에 앞서 냉각수가 잘 공급되게 하여야 하는데, 제일 먼저 냉각수 탱크의 수위가 정상인지 확인하고, 부족하면 공급량에 따른 수위와 수량을 충분히 확보한 후에 가동하는 것이 좋다. 냉각수 수량이 적정히 확보되면 펌프를 가동하고 냉각수 압력과 유량을 점검한다. 보통 냉각수 압력은 3~6kg/cm²를 사용한다. 그리고 장비별로 밸브를 개방하여 냉각수가 잘 순환하도록 한다.

(나) 냉각수 배관과 밸브 사용

냉각수 배관과 밸브는 냉각수 순환을 위해서 적정하게 조절되어야 하는데, 배관 방향이 바뀌는 부분의 엘보나 연장되는 부위의 유니언 연결 부위가 누수가 없는지 확인하고, 밸브의 경우 노후하거나 녹슨 부분이 존재하면 유량에 영향을 줄 수 있으며

로 사용 수명에 따라 교체 및 수리하여야 한다. 냉각수 밸브는 스테인리스 재질의 밸브와 황동 재질의 밸브 등 두 종류가 있다. 주로 스테인리스 재질의 밸브를 많이 사용하며, 작동 방법은 수동 볼밸브의 경우 작업자가 손으로 개폐 작업을 해야 하고 장비 내부의 자동 밸브는 컴퓨터나 컨트롤러에 의해 작동하게 한다.

(다) 냉각수 배관과 게이지 사용

냉각수 게이지는 압력 게이지와 유량 게이지가 있다.

1) 냉각수 압력 게이지의 사용

냉각수 압력 게이지는 장비의 종류에 따라 고압용과 저압용으로 나뉘어 사용된다.

2) 고압용 압력 게이지의 사용

고압용 압력 게이지는 레이저 발생 장치나 산화막 성장에 사용되는 퍼니스 등의 발열량이 큰 장비에서 사용한다. 보통 $4\sim 6\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 압력에서 사용한다.

3) 저압용 압력 게이지의 사용

저압용 압력 게이지는 노광 장비나 에칭 장비, 증착 장비 등 일반적인 장비들에 서 사용하는데, 보통 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하의 압력에서 사용한다.

4) 냉각수 유량 게이지의 사용

냉각수 유량 게이지는 장비의 내부로 냉각수가 원활하게 순환하는지 확인하기 위한 게이지이다. 진공 및 플라스마 장비의 내부에 설치되어 장비의 예방 점검 또는 가동 시 발열량을 제어하기 위해 사용한다.

교수 방법

- 진공 플라즈마 장비의 운전 순서를 설명한다.
- 진공 플라즈마 장비의 전원장치와 작동 방법을 지도한다.
- 진공 플라즈마 장비의 진공장치에 관해 지도한다.
- 진공 플라즈마 장비의 플라즈마 장치에 관해 설명한다.

학습 방법

- 진공 플라즈마 장비의 운전 순서를 숙지하고 암기한다.
- 진공 플라즈마 장비의 전원장치 원리를 이해하고 숙지한다.
- 진공 플라즈마 장비의 진공장치에 관해 숙지하고 응용 능력을 기른다.
- 진공 플라즈마 장비의 플라즈마 장치 원리와 작동법을 숙지한다.

학습 4 평 가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교	- 진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 대상, 측정 항목을 파악하고 측정할 수 있다.			
	- 진공 및 플라스마 장비의 측정 항목 결과를 기준값과 비교할 수 있다.			

평가 방법

- 서술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교	- 진공 및 플라스마 장비의 운전 방법을 이해하고 공정 순서에 따라 작동하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 측정 항목과 주요 공정 기준값을 이해하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 측정 항목과 주요 공정 기준값을 결과와 비교 평가하는 능력			

- 논술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
진공 및 플라스마 장비의 운전 방법 및 측정 항목 파악과 결과의 기준값 비교	- 진공 및 플라스마 장비의 종류에 따라 운전하는 방법을 설명할 수 있는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 종류별 측정 항목과 주요 지표를 작성할 수 있는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 종류별 특징과 공정 결과를 평가할 수 있는 능력			

피드백

1. 서술형 시험

- 서술형 시험 평가 결과, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 운전 방법을 이해하고 공정 순서에 따라 작동하는 능력의 완성도를 평가한 뒤, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.

2. 논술형 시험

- 논술형 시험의 기술 내용을 확인하고 진공 및 플라스마 장비의 종류에 따라 운전하는 방법을 설명할 수 있는 능력과 세부 내용을 이해하는 수준을 평가한 뒤, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류별 특징과 공정 결과를 평가할 수 있는 능력 등의 세부 내용을 이해하였는지 평가한 결과, 성취 수준이 낮은 학습자에게는 장비별 가동 방법을 이해하기 위한 관련 항목을 설명해준다.

학습 1	진공 장비 원리 파악하기
학습 2	플라스마 장비 원리 파악하기
학습 3	진공·플라스마 대상 측정하기
학습 4	진공·플라스마 장비 셋업하기
학습 5	진공·플라스마 장비 유지 보수하기

5-1. PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행

학습 목표

- PM(Preventive Maintenance) 항목을 설정하고 관리할 수 있다.
- 보정(Calibration) 항목을 설정하고 관리할 수 있다.
- 이상 발생 시 대응 절차를 숙지하고 이에 따른 조치를 수행할 수 있다.

필요 지식 /

① 예방 점검 PM(Preventive Maintenance)과 유지보수

예방 유지보수는 유지보수팀 및 시설 관리자에게 매우 큰 비용이 소요될 수 있는 장비 고장 및 계획되지 않은 기계 가동 중지 시간의 가능성을 줄이기 위해 물리적 자산에 대해 정기적이고 일상적으로 수행하는 유지보수이다. 효과적인 예방 유지보수는 실시간 데이터 인사이트를 기반으로 계획되고 예약되며, 종종 소프트웨어를 사용하며, 예기치 않은 고장을 방지하기 위해 장비가 계속 작동하는 동안 예방 유지보수 작업이 수행된다. 예방 유지관리 전략은 사후 유지관리와 예측 유지관리 사이에 속하는 일반적으로 사용되는 접근 방식이다.

1. 사후 유지보수

사후 유지보수는 고장 유지보수라고도 하며, 장비를 정상 작동 상태로 복원하기 위해 장비가 이미 고장 났을 때 수행되는 수리를 의미한다. 사후 유지보수는 균형 잡힌 유지보수 전략에서 자리를 잡을 수 있지만, 모든 수리에 적합하지는 않다.

2. 예측 유지보수

예방 유지보수와 달리 예측 유지보수는 필요할 때만 수행하며, 예측 유지관리는 데이터 분석 도구 및 기술을 사용하여 작업의 이상, 장비 및 프로세스의 가능한 결함을 감지하여 고장 발생 전에 수정할 수 있는 기술이다. 예방 유지보수는 50,000마일마다 자동차의 타이어를 교체하는 것과 같은 유지보수를 말하며, 예측 유지보수는 과거와 미래의 운전 조건을 고

려하여 정확히 43,005마일로 타이어를 교체하도록 알려주는 소프트웨어를 보유하는 것과 같다. 예측 유지관리를 사용하면 이 숫자는 데이터 변경에 따라 변경될 수 있다. 이상적으로는 예측 유지보수를 통해 유지보수 빈도를 가능한 한 낮춰 너무 많은 예방 유지보수와 관련된 비용을 들이지 않고도 계획되지 않은 사후 유지보수를 방지할 수 있다.

(1) 평균고장간격(MTBF: Mean Time Between Failure)

평균고장간격은 기계식 또는 전자식 시스템의 정기적인 시스템 작동 시 고유 고장 간 예측된 작동 시간이다. 이는 하드웨어 제품 또는 구성 요소의 성능, 장비 설계, 신뢰성 및 안전에 대한 중요한 유지관리 조치이다. 평균고장간격은 수리 가능한 시스템의 고장 사이의 평균 산술 시간이 될 수 있다.

(가) 평균고장간격 계산

몇 시간 만에 측정된 평균고장간격은 사용자가 장비의 신뢰성과 가용성을 이해하는데 도움이 된다. 이 도구는 수리 가능한 기계식 또는 전자식 시스템의 두 고장 사이의 예상 시간을 나타낸다. 예를 들어, 0시에 정상적으로 작동하기 시작하는 세 개의 동일한 시스템이 모두 실패할 때까지 작동한다. 첫 번째 시스템은 120시간 후에 실패하고, 두 번째 시스템은 140시간 후에 실패하고, 세 번째 시스템은 150시간 후에 실패한다. 그러면 수리 가능한 시스템의 MTBF는 136.667시간으로, 세 번의 고장 중 평균 시간이다. 평균고장간격은 장비의 전체 작동 시간을 같은 기간에 발생한 고장 횟수로 나누어 계산한다.

(나) 평균고장간격 응용

평균고장간격은 유지관리 지표로서 장비의 방해 방지 작동 시간을 표시한다. 장치의 가용성(업타임)과 직관적으로 관련이 있다. 평균고장간격은 수리 가능한 시스템 또는 품목에만 적용된다. 그것의 가치 예측은 제품 개발에 필수적인 요소이다. 제조 공정에서 사용되며, 중요한 장비를 수리해야 하는 예상치 못한 이벤트를 계획할 수 있다. 이 데이터를 이해하면 발전소의 올바른 결정에 대한 통찰력을 얻을 수 있다. 설계 엔지니어 및 신뢰성 엔지니어는 신뢰성 소프트웨어를 사용하여 다양한 방법과 표준을 기반으로 제품의 평균고장간격을 계산한다. 일반적으로 제품 및 장비의 전체 고장률을 지정하는 데 사용되는 신뢰성 있는 용어이다.

(다) 평균고장간격 용도

평균고장간격은 수리 가능 및 교체 가능/수리 불가 장비 및 제품에 사용된다. 평균고장간격은 소비자보다 통합 업체와 산업에 더 중요하며, 장애 간의 전체 작동 가동 시간을 총돌 횟수로 나눈 값이다. 신뢰할 수 있고 정확한 평균고장간격을 얻으려면 여러 데이터 포인트가 필요하다.

(라) 평균고장간격 개선

평균고장간격을 늘리면 장치의 가동 시간이 증가한다. 각 장비, 특히 지속적인 작동

이 필요한 장비에 대한 평균고장간격을 추적하여 유지보수팀이 효과적으로 유지보수 활동을 예약할 수 있게 해야 하며, 평균고장간격 개선을 위해 몇 가지 단계를 적용할 수 있다. 첫 번째 단계는 수집된 데이터가 정확한지 확인하는 것이다. 다양한 유지관리 도구는 기록된 데이터의 정확성을 보장할 수 있다. 다음 단계에서의 사전 예방적 유지관리를 수행하는 데 사용한다.

(2) 평균수리시간(MTTR: Mean Time To Repair)

(가) 평균수리시간 계산

평균수리시간은 고장 난 하드웨어를 수리하는 데 필요한 시간이며, 이는 고장 난 하드웨어 부품을 교체하는 것을 의미한다. 평균고장주기는 고장과 관련된 시간을 측정하지만, 평균수리시간은 고장 난 제품이 다시 실행되기까지 걸리는 시간을 측정한다. 예측에만 적용할 수 있는 것은 제품의 수리를 의미하기 때문이다. 그리고 평균수리 시간 번호를 가질 수 있는 미수리 품목에는 평균수리시간 예측이 없다. 수리보다는 교체가 유리하기 때문이다.

수행 내용 / 진공 플라즈마 장비 유지 보수하기

재료·자료

- 실리콘 웨이퍼
- 공정용 전구체 가스, 가스 실린더
- 분해용 드라이버, 장비 매뉴얼

기기(장비 · 공구)

- 멀티미터
- 진공 চে임버, 진공용 부품
- 진공펌프, 고주파 발생 장치

안전 · 유의 사항

- 고주파 발생 장치를 사용할 때는 감전 사고에 유의한다.
- 장비의 내부를 점검할 때는 부품의 손상이나 변형에 유의한다.

- 냉각수 라인 주변을 점검할 때는 냉각수가 누수되지 않도록 조심한다.

수행 순서

① 진공 플라즈마 장비의 유지보수를 위하여 예방 점검 PM(Preventive Maintenance)을 실시한다.

진공 플라즈마 장비의 예방 점검 항목과 실시하는 방법은 다음과 같다.

1. 진공 챔버

진공 플라즈마 장비의 진공 챔버는 베이스 진공(Base Pressure)이 잘 유지되는지 주기적으로 점검한다.

(1) 진공 챔버의 베이스 진공(Base Pressure)

진공 챔버의 베이스 진공은 장비의 종류와 공정의 종류에 따라 다르다.

(가) 플라즈마 화학기상증착기(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)의 베이스 진공

플라즈마 화학기상증착기의 베이스 진공은 10^{-3} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도는 10^{-2} torr 이하를 사용한다. 주로 실리콘 산화막과 질화막을 증착할 때 많이 사용하는 장치이다.

(나) 물리적기상증착기(PVD: Physical Vapor Deposition)의 베이스 진공

물리적기상증착기의 베이스 진공은 10^{-7} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도는 각각의 공정 조건에 따라 다르다. 주로 금속박막을 증착할 때 많이 사용하는 장치이다.

(다) 건식 식각(Dry Etching)의 베이스 진공

건식 식각 장비의 베이스 진공은 10^{-6} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도는 10^{-3} torr 정도이고 금속, 산화물, 실리콘 박막 등 여러 가지 박막과 물질을 건식 식각할 때 사용하는 장치이다.

2. 로드록 챔버

진공 플라즈마 장비의 로드록 챔버(Load Lock Chamber)는 메인 챔버로, 시료가 삽입되기 전 베이스 진공(Base Pressure)이 잘 유지되는지 점검한다.

(1) 로드록 챔버의 베이스 진공(Base Pressure)

진공 챔버의 베이스 진공은 장비의 종류와 공정의 종류에 따라 다르다.

(가) 플라즈마 화학기상증착기의 로드록 챔버 베이스 진공

플라즈마 화학기상증착기의 베이스 진공은 10^{-2} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도는 10^{-3} torr 이하를 사용한다.

(나) 물리적기상증착기의 로드록 챔버 베이스 진공

물리적기상증착기의 로드록 챔버 베이스 진공은 10^{-2} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도는 10^{-3} torr 이하를 사용한다.

(다) 건식 식각의 로드록 체임버 베이스 진공

건식 식각 장비의 로드록 체임버 베이스 진공은 10^{-2} torr 정도이며, 실제 공정을 위한 진공도 역시 10^{-3} torr 정도를 사용한다.

3. 진공 플라즈마 장비의 간단한 작동 점검 순서

진공 플라즈마 장비의 작동 점검 순서를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 맨 아래 전원 공급을 한다.
- (2) 냉각수 밸브가 열려 있는지 확인한다. (냉각수 밸브가 열려 있지 않으면 알람이 작동)
- (3) 로터리펌프와 고진공펌프의 전원을 공급한다. (고진공펌프의 경우 준비 시간을 10분 이상 가진다.)
- (4) 체임버 내의 저진공을 잡기 위해 러핑 밸브를 개방한다.
- (5) 러핑 밸브의 게이지를 보고 10^{-3} torr 영역으로 떨어지면 고진공 작업을 준비한다.
- (6) 체임버 내의 고진공을 잡기 위해 러핑 밸브를 잠그고, 포어 라인 밸브를 개방한다.
- (7) 메인 밸브를 열고 고진공 작동(이때 페닝 게이지를 켜고 눈금이 10^{-6} torr 대역으로 떨어지는 것을 확인한다.)
- (8) 플라즈마를 사용하기 위해 유량 조절 컨트롤러(MFC: Mass Flow Controller)를 조절한다. (페닝 게이지는 이때 끈다.)
- (9) 메인 밸브를 적당히 줄여 최적화된 진공을 유지한다.
- (10) 플라즈마를 아용한 공정을 준비하기 위해 고주파 전원장치의 파워를 가동한다.
- (11) 상기 10)까지 단계를 진행하면서 각 단계에서 진공과 플라즈마 형성이 정상적으로 작동하는지 확인한다.

4. 진공 플라즈마 장비의 작동 점검 시 이상 발생 조치 사항

(1) 진공장치

진공 플라즈마 장비의 진공장치에 이상이 발생하면 해당 부위의 진공 누설이나 펌프 등의 이상 유무를 파악하고 조치한다.

(가) 진공 누설

진공 플라즈마 장비의 진공 누설이 발생하면 설정값만큼 진공도가 도달하지 못한다. 따라서 각 진공 라인의 누설 여부를 점검해야 하며, 누설 정도가 심하면 비눗물을 묻혀서 비눗방울이 발생하는 것을 보고 누설 부위를 알 수 있다. 누설 정도가 미세한 경우 전용 누설 감지기를 사용해야 하는데, 헬륨 누설 감지기가 주로 사용된다. 사용 방법은 체임버와 진공 라인을 진공펌프로 펌프질한 후 의심되는 부위에 헬륨 가스를 뿌려보면서 진공도의 변화를 관찰한다. 이때 헬륨이 누설 부위를 타고 진공 라인으로 흡입되면 감지기에서 소리가 나면서 누설 부위를 확인할 수 있다.

(나) 진공 누설

진공 플라스마 장비의 진공 누설이 발생하여 설정값만큼 진공도가 도달하지 못하는 경우에 진공 라인 누설이 아니라면 진공펌프의 성능이 저하되거나 수명이 다한 경우이다. 이 경우 진공펌프를 교체하거나 수리해야 한다.

(2) 플라스마 발생장치

진공 플라스마 장비의 플라스마 발생 장치에 이상이 발생하면 해당 부위의 진공 누설이나 펌프 등의 이상 유무를 파악하고 조치한다.

(가) 플라스마 발생 장치의 매칭 불량

플라스마 발생 장치의 매칭 불량은 진공도가 원인인 경우와 매칭 유닛의 작동 불량인 경우가 있다. 진공도가 원인인 경우 적절한 진공도를 맞추기 위해 진공도를 바꿔가면서 플라스마를 시험해 봐야 한다. 원인이 매칭 유닛인 경우라면 부품을 교체하거나 매칭 유닛 전체를 교체해야 한다.

(나) 플라스마 발생 장치의 분포도 불량

플라스마 발생 장치의 분포도 불량은 진공 챔버 내 전극이나 부품의 전기전도도가 적정하지 않은 경우와 사용하는 공정 가스들의 분포가 적정하지 못한 경우가 있다. 전극이나 부품의 전기전도도에 문제가 있으면 해당 부품을 교체해야 하며, 공정 가스의 분포가 불균일하면 가스 공급 라인의 위치나 형상을 수정해야 한다.

(3) 냉각장치

진공 플라스마 장비의 냉각장치에 이상이 발생하면 장비의 발열 부위가 손상되거나 화재가 발생할 수 있으므로, 해당 부위의 온도 게이지나 알람 발생기가 정상인지 주기적으로 확인할 필요가 있다.

(가) 냉각수 순환 장치 불량

냉각수 순환 장치의 불량은 냉각수 펌프가 원인인 경우와 냉각수 라인의 밸브가 불량인 경우가 있다. 냉각수 펌프가 고장인 경우는 즉시 대체 펌프로 교체해야 하고, 펌프를 교체하여 장비를 정상화한 후에 고장 난 펌프를 수리하여 재활용을 위하여 부품 창고에 보관한다. 순환펌프가 고장인 경우 매우 치명적인 2차 사고가 발생할 수 있으므로 빠른 조치가 필요하다.

(나) 냉각용 헬륨 장치의 불량

냉각용 헬륨 장치의 불량은 헬륨을 공급하는 가스 캐비닛의 불량이 원인인 경우와 냉각용 헬륨이 지나가는 배관이나 밸브가 불량인 경우가 있다. 헬륨을 공급하는 가스 캐비닛의 불량이 원인인 경우는 즉시 캐비닛의 작동을 점검하여 수리하여야 하고, 헬륨이 지나가는 배관이나 밸브가 불량인 경우에는 배관의 누설 부위나 고장 난 밸브를 교체하여 정상화하는 것이 필요하다.

학습 5 교수·학습 방법

교수 방법

- 진공 플라즈마 장비의 예방 점검(PM)에 관하여 설명한다.
- 진공 플라즈마 장비의 고장 및 사후 조치에 관해 지도한다.
- 진공 플라즈마 장비의 공정 예방 점검에 관하여 지도하고 이론을 숙지하게 한다.
- 진공 플라즈마 장비의 예방 점검 주기와 항목에 관하여 지도한다.

학습 방법

- 진공 플라즈마 장비의 하드웨어 예방 점검 내용을 대하여 숙지한다.
- 진공 플라즈마 장비의 공정 예방 점검을 이해하고 숙지한다.
- 진공 플라즈마 장비의 고장 및 사후 조치를 숙지하고 대응 능력을 기른다.
- 진공 플라즈마 장비의 예방 점검 주기와 항목의 원리와 응용법을 숙지한다.

학습 5 평 가

평가 준거

- 평가자는 학습자가 학습 목표를 성공적으로 달성하였는지를 평가해야 한다.
- 평가자는 다음 사항을 평가해야 한다.

학습 내용	학습 목표	성취수준		
		상	중	하
PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행	- PM(Preventive Maintenance) 항목을 설정하고 관리할 수 있다.			
	- 보정(Calibration) 항목을 설정하고 관리할 수 있다.			
	- 이상 발생 시 대응 절차를 숙지하고 이에 따른 조치를 수행할 수 있다.			

평가 방법

- 서술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행	- 진공 및 플라스마 장비의 예방 점검(PM)에 관하여 이해하고 실행하는 능력			
	- 진공 플라스마 장비의 고장 및 사후 조치에 관해 이해하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 공정에 대한 예방 점검 이해 능력			

- 논술형 시험

학습 내용	평가 항목	성취수준		
		상	중	하
PM 항목과 보정 항목 관리 및 이상 발생 시 조치 수행	- 진공 및 플라스마 장비의 종류별 예방 점검(PM)에 대하여 이해하고 실행하는 능력			
	- 진공 플라스마 장비의 종류별 고장 유형 파악과 사후 조치를 이해하는 능력			
	- 진공 및 플라스마 장비의 공정 종류별 예방 점검 이해 능력			

피드백

1. 서술형 시험

- 서술형 시험 평가 결과, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후, 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 예방 점검(PM)에 관하여 이해하고, 실행하는 능력에 대한 완성도를 평가한 뒤, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후, 그 결과를 확인한다.

2. 논술형 시험

- 논술형 시험의 기술 내용을 확인하고, 진공 플라스마 장비의 종류별 고장 유형 파악과 사후 조치에 관해 이해하는 능력과 세부 내용 이해 수준을 평가한 뒤, 부족한 부분은 보충 학습을 하게 한 후, 그 결과를 확인한다.
- 진공 및 플라스마 장비의 종류별 예방 점검(PM) 이해 및 실행 능력을 평가한 결과, 성취 수준이 낮은 학습자에게는 장비별 예방 점검을 이해하기 위한 관련 항목을 설명해준다.

참고자료



- 네이버 물리학백과(<https://terms.naver.com>)에서 2022. 6. 22. 검색.
- 삼성반도체 이야기(<https://www.samsungsemiconstory.com>)에서 2022. 8. 12. 검색.
- 이제형(2021). 『진공기술해석』. 씨아이알.
- 정진욱(2021). 『플라스마 전자공학』. 교문사.
- 한국진공학회지, 벌집형 셀 구조를 가지는 스퍼터 이온펌프의 성능 분석(<https://koreascience.kr/article/JAKO200601919972947.pdf>)에서 2022. 6. 23. 스크린샷.
- ULVAC. Feature(<https://www.ulvac-cryo.co.kr/products/cryo-pump/feature.php>)에서 2022. 7. 19. 스크린샷.

NCS학습모듈 개발이력

발행일	2015년 12월 31일		
세분류명	반도체장비(19030603)		
개발기관	한국반도체산업협회, 한국직업능력개발원		
집필진	김현수(씨지아이파트너즈)*		김도영(울산과학대학교)
	김상용(충북반도체고등학교)		이수명(충북반도체고등학교)
	김진권(충북반도체고등학교)		이혁(플렉스컴)
	박성복(㈜태성솔루션)		최이호(엘아이에스)
	박승창(㈜유오씨)		허장욱(YIKC)
	오찬권(하이엔드테크놀로지㈜)	검토진	홍상진(명지대학교)
	이호덕(㈜에이치디테크놀로지)		
	정재복(메이플테크)		
	지이권(㈜에이치디테크놀로지)		
	최재성(극동대학교)		

*표시는 대표집필자임

발행일	2022년 12월 31일		
학습모듈명	반도체 진공 플라스마 장비 유지보수(LM1903060327_19v1)		
개발기관	수원과학대학교 산학협력단(개발책임자: 윤창용), 한국직업능력연구원		
집필진	김기순(㈜영우디에스피)*		김선일(삼성종합기술원)
	김종범(삼성전기)		남승호(삼성디스플레이㈜)
	김준성(나노종합기술원)		서인용(아이엠텍)
	김학규(나노융합기술본부)	검토진	손승대(한빛디엔에스㈜)
	안광호(싸이엔스)		
	최준혁(수원과학대학교)		

*표시는 대표집필자임

반도체 진공 플라스마 장비 유지보수(LM1903060327_19v1)

저작권자	교육부
연구기관	한국직업능력연구원
발행일	2022. 12. 31.
ISBN	979-11-6961-031-5

※ 이 학습모듈은 자격기본법 시행령(제8조 국가직무능력표준의 활용)에 의거하여 개발하였으며, NCS통합포털사이트(<http://www.ncs.go.kr>)에서 다운로드할 수 있습니다.



www.ncs.go.kr