

반도체 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드: 증착, 식각, 이온주입

조경이^{1,2} · 한택현³ · 문재진⁴ · 정인균⁴ · 황영우⁵ · 권세영⁶ · 고경윤⁷ · 이민건⁸ · 장재필⁶ · 박동욱^{8*}

¹서울대학교 보건대학원 환경보건학과, ²국립암센터 암예방사업부, ³삼성전자 상생EHS팀, ⁴SK하이닉스 SHE상생협력,
⁵LG 디스플레이 보건정책 Task, ⁶한국산업안전공단, ⁷가톨릭대학교 보건의료경영대학원, ⁸한국방송대학교 보건환경학과

Development of a General Occupational Safety and Health (OSH) Guide for Maintenance in Etching, Deposition, and Ion Implantation Facilities

Kyung Ehi Zoh^{1,2} · Taek-hyeon Han³ · Jae-jin Moon⁴ · Ingyun Jung⁴ · Yeong Woo Hwang⁵ ·
Seyoung Kwon⁶ · Kyung-yoon Ko⁷ · Mingun Lee⁸ · Jaepil Chang⁶ · Dong-Uk Park^{8*}

¹Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

²National Cancer Control Institute, National Cancer Center

³Partner Environment & Safety Team, Samsung Electronics

⁴SHE Collaboration, SK Hynix

⁵Health Care Policy Task, LG Display

⁶Korea Occupational Safety and Health Agency

⁷Graduate School of Public Health and Healthcare Management, The Catholic University of Korea

⁸Department of Environmental Health, Korea National Open University

ABSTRACT

Objectives: The aim of this study is to develop a comprehensive Occupational Safety and Health (OSH) guide for maintenance tasks in semiconductor processing, specifically focusing on etching, deposition, and ion implantation processes.

Methods: The development of the OSH guide involved a literature review, consultations with industry experts, and field investigations. It concentrates on Maintenance Work (MW) operations in these specialized areas.


Results: The result is a detailed OSH guide tailored to MW in etching, deposition, and ion implantation facilities within semiconductor processing. This guide is structured to assist maintenance workers through pre-, during and post-MW phases, ensuring easy comprehension and adherence to safety protocols. It highlights the necessity of safety and health measures throughout the MW process to protect personnel. The guide is enriched with real-life scenarios and visual aids, including cartoons and photographs, to aid in the understanding and implementation of safety and health principles.


Conclusions: This OSH guide is designed to enhance the protection of workers engaged in maintenance activities


*Corresponding author: Dong-Uk Park, Phone: +82-2-3668-4707, E-mail: pdw545@gmail.com
Department of Environmental Health, Korea National Open University, 86 Daehak-ro, Jongnogu, Seoul, 03087, Republic of Korea

Received: May 29, 2024, Revised: June 10, 2024, Accepted: June 27, 2024


 Kyung Ehi Zoh <https://orcid.org/0000-0002-2821-070X>


 Jae-jin Moon <https://orcid.org/0009-0002-3419-8636>


 Yeong Woo Hwang <https://orcid.org/0009-0007-7230-5486>


 Kyung-yoon Ko <https://orcid.org/0000-0001-6616-5164>


 Jaepil Chang <https://orcid.org/>

 Taek-hyeon Han <https://orcid.org/0009-0005-4972-6253>

 Ingyun Jung <https://orcid.org/0009-0009-3796-4165>

 Seyoung Kwon <https://orcid.org/0009-0005-8209-4171>

 Mingun Lee <https://orcid.org/0009-0002-6348-9563>

 Dong-Uk Park <https://orcid.org/0000-0003-3847-7392>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

in the electronics sector, particularly in semiconductor manufacturing. It aims to improve compliance with safety and health standards in these high-risk environments.

Key words: maintenance work (MW), occupational safety and health (OSH) guide, etching, deposition, ion implantation

I. 서 론

공정에서 이루어지는 모든 직무의 표준작업절차서(standard operating procedures, SOP)는 직무 결과물의 품질과 성능을 균일하게 만드는 것을 목표로 한다(Britannica, 2023). SOP에 ‘안전 및 보건 프로토콜(이하 안전보건 가이드 또는 가이드)’을 통합하면 근로자 안전을 확보하며 공정 품질을 높이는 데 큰 도움이 될 수 있다. 안전한 작업 절차는 유무형의 좋은 제품을 생산하기 위한 SOP와 함께 동등한 수준으로 준수해야 하는 지침이다(ISC, 2023).

반도체의 원료인 웨이퍼(wafer)는 반도체 집적회로가 새겨지는 기판이다. 웨이퍼는 실리콘을 녹여서 둥근 기둥 잉곳(ingot)을 제작하고, 이를 얇은 두께로 절단하고 매끄럽게 다듬어서 만든다. 웨이퍼는 반도체 공장으로 공급하며, 그 위에 산화, 포토, 식각, 이온주입, 증착, 금속배선 공정을 거쳐 집적회로를 새긴다. 각 공정의 원리에 따라 사용되는 화학물질과 에너지 등이 다르고, 이에 따라 발생하는 안전보건 위험 요인도 다양하다. 최근 삼성전자와 SK 하이닉스 등은 모두 12인치(300 mm) 웨이퍼 집적회로를 생산하는 자동화 공정을 운영함으로써 공정 운전자의 안전보건 위험인자 노출을 현저히 줄이고 있다. 하지만 자동화된 공정이라도 반도체 공정 설비와 각종 공정 지원 설비 등에 대한 정비는 근로자가 직접 수동으로 하게 된다. 이 과정에서 근로자들은 화학물질 등 여러 안전보건 위험에 노출된다.

본 연구의 목표는 반도체 공정 중 증착, 식각, 이온주입 설비를 정비하는 데 필요한 일반적인 안전보건 가이드를 개발하는 것이다. ‘증착(또는 박막으로 일컫기도 함)’은 얇은 박막이나 층을 다른 물질 위에 증착하는 공정이고, ‘식각’은 웨이퍼 표면의 물질을 화학적이나 물리적으로 제거하는 공정이며, ‘이온주입’은 원자나 이온을 고에너지 상태로 가속해 웨이퍼 표면에 주입하는 공정이다. 본 연구에서는 공정별로 일반적인 공정 원리에 근거하여 안전보건 가이드를 개발하였다. 이 가이드는 반도체의 다른 공정 설비 정비 작업에도 활용될 수 있을 것이다. 사업장에서 가이드를 사용할

때에는 본 안전보건 가이드를 바탕으로 각 사업장의 공정별 구체적인 사용 기술, 정비 작업 특성 등에 맞는 조치 사항들을 반영하여 추가 안전보건 가이드를 개발할 것을 권장한다.

II. 연구 방법과 범위

1. 연구 방법

본 연구와 관련된 연구 방법은 “전자산업 공정 설비 작업 안전보건 가이드 개발” 논문에서 설명하였다(Lee et al., 2023). 먼저 문헌 고찰을 통해 반도체 증착, 이온주입, 식각 공정 설비 정비 작업에서 발생하는 일반적인 안전보건 유해·위험 요인을 정리하였다. 문헌 고찰 시 PubMed(<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>)와 bing.com(<https://www.bing.com/>)에 질문을 제시하고, 검색된 문헌 중 본 연구와 연관된 결과를 정리하였다. 문헌 고찰에서 정리한 안전보건 가이드 초안은 사업장 공정 설비 정비 작업을 조사한 후 개정, 수정하였다. 이후 안전보건 전문가와 공정 전문가로부터 추가 교정 등의 자문을 받아 가이드를 완성하였다. 반도체 증착, 이온주입, 식각 공정 설비 정비 작업에 대한 안전보건 가이드 전문은 부록으로 수록하였고, 본 연구에서는 안전보건 가이드의 핵심 목적과 내용 등을 설명하였다.

2. 연구 범위

본 연구 범위는 반도체 제조 공정 중 일부인 식각, 이온주입, 증착 공정 설비를 정비하는 작업이다. 반도체 다른 공정(산화, CMP(chemical mechanical polishing), 확산 등)과 반도체 공정을 지원하는 각종 지원 설비에 대한 정비 작업은 제외하였다. 본 연구에서 정비는 예방정비(preventive maintenance; PM)와 대응정비(breakdown maintenance or corrective maintenance; BM)를 포함하였다. PM은 장비 고장을 방지하고 지속적으로 공정 작동을 보장하며 원활하게 유지하기 위하여 정기적으로 수행되는 공정 설비 세정, 장비와 부품 등 교체 및 설치, 공정 작동 조건 검증 등을 포함한 직무 활동이다. BM은 공정 설비, 기계, 장비, 소자 등 고장이나 결함이 있는 구

성 요소를 수리하거나 교체하여 공정 설비의 작동 상태를 정상으로 복원하는, 비정기적으로 운영되는 직무 활동이다(Safety Culture, 2024). 유럽 안전보건청에서 개발한 표준인 EN 13306:2010에서는 정비를 ‘품목의 수명 주기 동안 품목을 유지하거나 복원하기 위한 모든 기술적, 행정적, 관리적 조치의 조합, 그리고 필요한 기능을 수행할 수 있는 상태로 복원하는 것’으로 정의하였다(Muyllaert et al., 2010). 본 연구에서 안전보건 가이드에 수록한 정비 작업은 반도체 식각, 이온주입, 증착 공정 설비에서 일반적으로 수행하는 작업, 즉 사고를 방지하고 공정효율을 높이기 위해 정기적, 비정기적으로 공정 설비를 멈추고 청소하며 기계, 부품 등을 교체하는 작업으로 정의하였다. 본 가이드에서 반도체 식각, 이온주입, 증착 공정에서 사용한 기계, 기구, 부품 등을 분리하여 추가로 세정(cleaning)하는 작업은 제외하였다.

III. 결 과

1. 제조 공정 원리

반도체, 디스플레이 등 전자산업 공정에서는 공정 원리가 동일하더라도 공정별로 사용하는 세부 공정 기술에 따라 추가 공정 원리, 사용하는 화학물질, 발생하는 유해·위험 요인 등이 다르게 나타난다. 공정 설비를

정비하는 직무에서도 사용하는 공정 기술에 따라 노출되는 안전보건 유해 인자가 달라진다. 각 공정에서 사용되는 일반적인 원리와 공정별 추가 공정 기술 종류는 Table 1에 정리하였다. 공정에서 어느 세부 기술을 사용할지는 반도체 소자 생산에서 어떤 공정이 필요한지 등에 따라 달라진다.

여기서는 증착 공정 중 스퍼터링(sputtering) 기술의 원리를 예로 들고자 한다. 스퍼터링 기술은 비활성가스를 이온화하여 플라스마를 만든 후에 전기장으로 이 플라스마를 가속하여 타겟과 충돌시킴으로써 타겟 원자가 표면에서 방출되도록 하는 공정 기술이다(Sigmund, 1993). 방출된 타겟 원자는 진공 챔버를 통과한 후 기판 위에 증착되어 반도체 장치와 광학 코팅과 같은 공정 특성에 맞는 박막(thin film)을 형성한다(Bundesmann & Neumann, 2018). 스퍼터링 기술은 박막 두께와 구성을 정밀하게 제어할 수 있다는 장점이 있다(INQUIVIX, 2023) (Figure 1). 스퍼터링 기술은 주로 집적회로와 전자 부품의 박막을 생성하는 공정이 필요한 반도체, 디스플레이, 광학 코팅 등 전자산업과 박막 태양전지 생산 등에 매우 중요하게 활용된다. 스퍼터링 공정 운전 및 정비 작업자가 노출될 수 있는 유해·위험 요인의 종류는 이 공정 기술에서 사용하는 화학물질과 이온 등이 포함된 흡 등 입자(Selwyn et al., 1997), 에너지

Table 1. Overview of fundamental principles and types of etching, deposition, and ion implantation in semiconductor manufacturing processes

Name of operation	Principle	Type of operation*
Etching	A process used to remove layers from the surface of a wafer during microfabrication	1) Wet etching 2) Dry etching: plasma, reactive ion, deep reactive ion, ion beam, and chemical dry etching
Deposition	A process of adding thin layers of material onto the surface of a wafer	1) Physical Vapor Deposition (PVD): sputtering and evaporation 2) Chemical Vapor Deposition (CVD): Atmospheric Pressure CVD (APCVD), Low-Pressure CVD (LPCVD), Plasma-Enhanced CVD (PECVD), Metal-Organic CVD (MOCVD), High-Density Plasma CVD (HDP-CVD) 3) Epitaxial growth: Molecular Beam Epitaxy (MBE), Liquid Phase Epitaxy (LPE)
Ion implantation	A process used to modify the properties of a semiconductor wafer by bombarding it with impurities	1) High energy ion implantation 2) Medium energy ion implantation 3) Low energy ion implantation 4) Plasma Immersion Ion Implantation (PIII) 5) Cluster ion implantation 6) Flash ion implantation

*Each of these processes has its specific applications, advantages, and limitations, and the choice of which to use depends on the desired outcome.

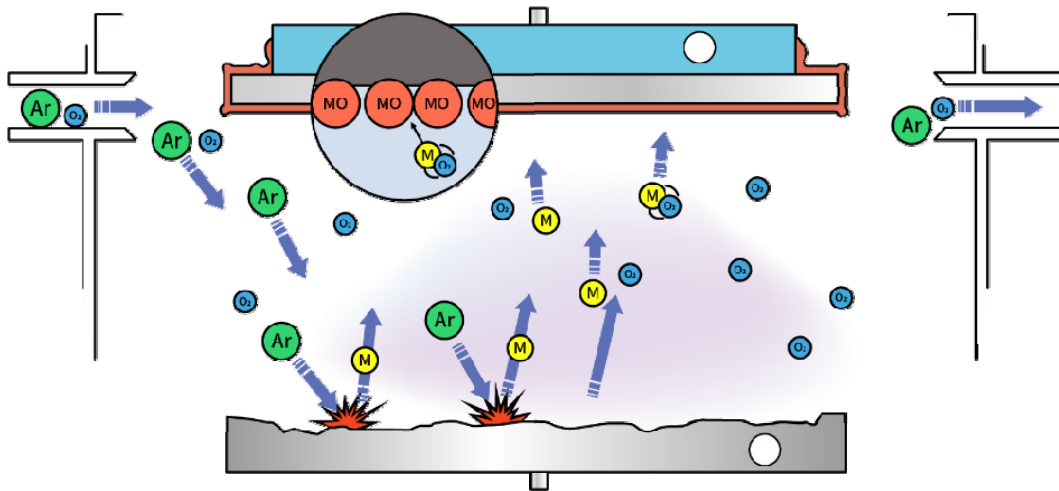


Figure 1. Fundamental process principles of sputtering technique in deposition operation (Retrieved from INQUIVIX, 2023)

(플라즈마, 열 등), 공정 장비(챔버 등) 등에 따라 결정된다.

2. 공정 운전 및 설비 정비 작업 주요 안전보건 위험

식각, 증착, 이온주입 공정에서 구체적으로 사용하는 공정 기술 종류에 따라 운전과 정비 작업자가 노출되는 유해 인자는 달라진다. 예를 들어 식각 공정과 관련된 안전보건 위험은 공정 기술이 습식인지 건식인지에 따라 달라진다(OSHA, 2024a). 습식 식각 공정 설비 근로자는 강산(HF, HCl, H₂SO₄ 등 혼합물) 누출, 미스트 분출 등으로 인한 넘어짐, 피부 노출, 누출된 화학물질 미스트와 흡(toxic fumes) 및 공정 부산물에 대한 호흡기와 피부 노출 등을 겪을 수 있다. 식각 대상 제품과 식각 기술 등에 따라 습식 식각에 사용되는 산과 염기의 농도는 다를 수 있지만, 웨이퍼의 선택된 층을 제거할 정도이므로 근로자가 노출되면 피부, 호흡기 등에 부식성 손상을 야기한다고 판단한다. 한편, 습식 식각에 쓰이는 산이나 염기가 식각되는 제품 층과 일으키는 화학반응으로 인해 반응물질이나 생성물질 등이 기화하고 응축되어 흡이 발생할 수 있다.

건식 식각 공정 설비 정비 근로자는 원료 화학물질, 반응성 부산물 등 각종 가스상, 입자상 물질에 노출될 수 있다. 설비 안은 물론 설비 틈 등에 끼어 있는 각종 가스, 흡, 먼지 등이 정비 과정에서 공기 중으로 방출될 수 있다. 증착과 이온주입 공정도 사용하는 기술에 따라 정비 작업의 빈도, 방법, 발생하는 안전보건 위험 종류와 대책이 달라진다.

기본적으로 정비 작업 시에는 정비 대상 공간에서 가스상 물질, 다양한 크기의 입자상 물질, 엑스레이, 전자파, 근골격계질환, 교대 작업 등으로 인한 질병 위험과 화학물질 누출·폭발·추락·감전 등의 안전사고 위험이 있다(HSA, 2024; OSHA, 2024b). 또한 정비 대상 공정과 설비의 특성에 따라 안전보건 위험 요인과 크기가 달라진다. 유럽 산업안전보건청은 신뢰할 수 있고 안전한 정비 작업의 핵심은 우수한 산업안전과 보건관리 관행이라고 강조하였다(Muyllaert et al., 2010). 예를 들어 모든 정비 작업에서는 공정 설비나 장비 등에 붙어 있는 공정 부산물 등 오염물을 제거하기 위해 진공 배기나 에어건을 사용하는 경우가 많다. 이때 에어건 사용은 최소화하고, 만약 에어건을 사용해야 할 경우에는 스크리버와 연결된 배기 덕트를 활용하여 배기함으로써 공기 중 먼지 분산을 억제하도록 하였다(Figure 2).

3. 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드 종합

반도체 식각, 이온주입, 증착 공정 설비 정비 작업 중에는 화학물질 누출, 폭발, 질식, 직업병 발생 등 잠재적 사고 위험이 있다. 반도체 공정 설비 정비 작업을 안전하게 마치기 위해서는 안전한 작업 절차를 따라야 한다. 다른 공정 설비 정비 작업과 마찬가지로 식각, 이온주입, 증착 공정 설비를 정비할 때 정비 작업 전, 작업 중, 작업 후 취해야 할 주요 안전보건 조치 사항들을 정리하였다(Table 1~3). 정비 작업 중 사용해야 할 위험한 기계, 기구의 종류와 신호수 배치 여부 등은 유지보

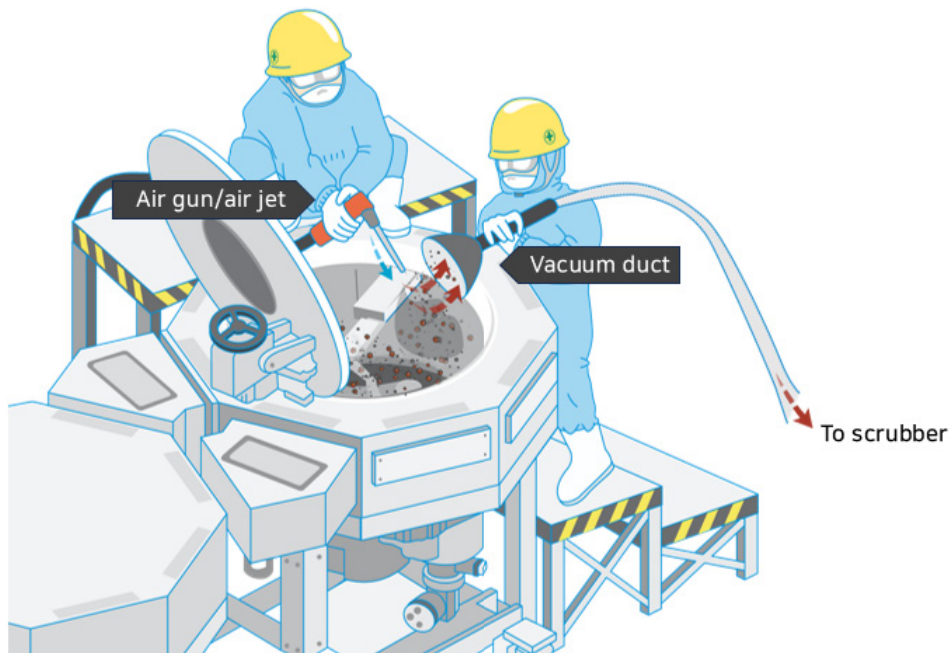


Figure 2. Recommended integration of air-gun and vacuum duct for effective dust removal

Table 2. Key OSH precautions for maintenance work in semiconductor process facilities

OSH Items	Etching	Ion implantation	Deposition
Obtain permits for process equipment maintenance work in accordance with company regulations.	Always required	Always required	Always required
Electrically lock out and tag out process equipment, chemical piping, etc.	Always required	Always required	Always required
Isolate the process maintenance work area from the surrounding area, mark the maintenance area, and restrict access.	Take action if needed	Take action if needed	Take action if needed
If the work requires the use of hazardous equipment, such as a crane, designate and post an operator and signaling personnel*.	Take action if needed	Take action if needed	Take action if needed
Check the performance of safety and health facilities (washing and rinsing facilities, exhaust systems) and personal protective equipment required for maintenance work and emergencies.	Always required	Always required	Always required
Receive training on how to perform maintenance safely and identify emergency actions to take in the event of an accident.	Always required	Always required	Always required
Wear the necessary personal protective equipment for maintenance work.	Always required	Always required	Always required

*The hazardousness of machinery varies greatly depending on the size of the parts that are maintained, cleaned, moved, or dismantled.

수, 청소, 이동 또는 해체하는 부품의 크기에 따라 크게 달라진다. 예를 들어 디스플레이와 같이 크기가 큰 증착 기계나 기구를 해체하고 운반할 경우에는 크레인을

사용하고, 이에 따른 안전보건 조치(운전자 자격 점검, 신호수 배치, 정격용량 점검, 크레인 점검, 작업 경계 출입 제한과 범위 지정, 비상시 조치 등)를 취한다. 자

Table 3. Key OSH precautions for maintenance work in semiconductor process facilities

OSH Items	Etching	Ion implantation	Deposition
Place a coworker or supervisor near the MW [*] area to monitor operations and take action in case of an emergency.	Take action if needed	Take action if needed	Always required for maintenance works inside the large deposition chamber
Ensure that the MW workers can contact the worker supervising the MW.	Always required	Always required	Always required
Perform maintenance and cleaning operations safely, such as replacing, attaching, cleaning, and calibrating machines, equipment, materials, and sensors in the facility.	Always required	Always required	Always required

*MW: maintenance work

Table 4. Major OSH items taken after performing maintenance work for process facilities

OSH Items	Etching	Ion implantation	Deposition
Prompt disposal: categorize and store waste from MW [*] based on its characteristics	Always required	Always required	Always required
After completing MW, conduct safety checks with relevant departments to ensure the processes maintained are in optimal condition.	Always required	Always required	Always required
Document key OSH-related details of each maintenance task	Always required	Always required	Always required
Regular exposure assessment to hazards for maintenance workers	Always required	Always required	Always required
Specialized medical exams for maintenance workers	Always required	Always required	Always required

*MW: maintenance work

제한 안전보건 위험은 부록인 안전보건 가이드 전문에 제시하였다. 구체적인 정비 작업 가이드는 정비 대상 공정 장비와 작업 방법 등에 따라 개발해야 한다.

IV. 고 찰

본 연구에서는 반도체 식각, 이온주입, 증착 공정에서 설비 정비 작업을 할 때 발생하는 일반적인 유해·위험 요인 노출을 제거, 차단, 억제, 관리(control)하는 안전보건 가이드를 개발하였다. 이는 반도체 클린룸은 물론 일반 시설 정비 작업에서도 참조할 수 있는 표준이다. 본 가이드는 기업의 공정 종류, 작업 특성, 작업 환경 등에 따라 일부 수정, 추가, 요약하여 안전보건 지침, 안전보건 교육, 현장 게시 등 다양한 목적으로 활용할 수 있을 것으로 판단한다. 본 안전보건 가이드를 활용하는 데 참조해야 할 주요 내용을 고찰하였다.

첫째, 반도체의 클린룸에서 공정 설비에 대한 정비 작업 시 발생하는 안전보건 위험을 관리하는 표준 가이

드 구성으로 정비 작업 전, 정비 작업 중, 정비 작업 후로 구분하는 것이 안전보건 위험을 효과적으로 식별하고 통제, 관리하는 절차에 도움이 된다고 판단하였다. 이를 위해 안전보건 가이드에 정비 등 현장에서 작업을 시작하기 전, 작업 중, 작업 후에 중점적으로 관리해야 할 사고 및 질병 위험 요인 확인, 제거, 관리 방법을 담았다. 전자산업 공정 설비 정비 작업에 대한 안전보건 가이드의 내용도 정비 작업 전, 정비 작업 중, 정비 작업 후로 구분하여 발표하였다(Kim et al., 2024; Lee et al., 2023).

둘째, 원청 기업에서 정비 작업을 원청 정비 부서나 다른 기업에 도급하는 방법과 정비 범위에 따라 안전보건 가이드 내용과 절차에 차이가 있을 수 있다. 본 가이드는 정비 작업 전 원청 내 부서 간 또는 원청과 도급(협력) 업체 간에 서로 동등하게 협의, 확인, 조치해야 할 정비 작업의 내용을 중심으로 제시하였다. 그러나 원청 부서와 협의 없이 단지 도급 업체에 위탁한 정비 작업만 요청하는 경우도 많다. 예를 들어 공정 설비 정

비를 수행하기 전에 화학물질 배관 차단, 각종 전기 설비 차단(lockout/tagout; LOTO) 등을 원청에서 사전에 하고, 단지 정비 작업만을 위탁 또는 도급하는 경우이다. 이때 원청에서 정비가 이루어지기 전에 원청 부서 간 안전한 정비 작업을 위한 협력 등 안전보건 조치를 포함해야 한다. 원청에서 정비 작업을 하는 경우 정비 작업 부서는 유관 부서와 동등하게 협의하여 정비 작업에 필요한 사전 협력을 한다.

셋째, 정비 작업은 매우 다양한 산업, 공정 등에서 이루어지기 때문에 정비 작업자는 다양한 종류의 유해 화학물질과 밀접하게 접촉한다. 이러한 화학물질은 종류에 따라 피부염이나 암과 같은 질병을 유발할 수 있을 뿐만 아니라, 인화성이 강하고 폭발성이 있는 경우도 많다. EU OSHA는 정비와 유해 인자에 대한 전자자료를 발간하였다(EU-OSHA, 2012). 이 전자자료에는 일반적으로 정비 작업자가 노출되는 다양한 위험 물질과 관련된 구체적인 위험에 초점을 맞추어, 몇 가지 모범 사례를 포함하여 이러한 위험에 대처할 수 있는 몇 가지 기본 권장 방법이 수록되어 있다. 일반적으로 정비 작업에서 유해 물질에 노출되는 주요 원인은 크게 세 가지로 구분할 수 있다(EU-OSHA, 2012).

- 세정과 탈지 등 특정 작업에서 제품과 물질의 과다 사용 위험이 있음
- 정비 작업 중 부산물로 생성되는 물질과 접촉 또는 노출 가능성이 높음
- 정비 작업장 또는 유지보수할 공장에서 화학물질 등과 노출 위험이 높음

넷째, 반도체 공정에서 안전보건 위험은 주로 공정 시스템, 설비, 소재 등의 안전에 집중되어 있어 정비 작업에 대한 안전보건 가이드를 개발하여 표준화하는 연구가 필요하다. 반도체 산업에서 대표적인 안전보건 표준은 국제 반도체 협회가 개발한 SEMI로, 총 21종이 개발되어 있다(SEMI, 2024). 모두 반도체 시스템과 공정 설비 안전, 환경보호를 위한 표준으로 설비, 부품, 소재 등에 대한 공정의 표준이다. 반면 공정 운전자와 정비 작업자의 건강위험을 예방하기 위한 표준은 없다. 구체적으로 반도체 · LCD · OLED 공정, 공정 지원 설비와 시설 · 건물 등을 운전하거나 정비를 담당하는 노동자의 건강을 예방하는 안전보건 가이드 개발을 위한 연구가 필요하다. 노동자의 안전보건을 위한 가이드는

향후 우리나라에 조성할 반도체 클러스터에 참여하는 국내외 기업에 국제 표준으로서 강제 또는 권고 기준으로 활용될 수 있다. 국제 안전보건 가이드 표준 내용에는 위험관리 템플릿(template)을 포함하는 것이 좋다. 영국 보건안전청(The Health and Safety Executive, HSE)이 개발한, 잠재적 안전보건 위험을 간단하게 기록하고 관리하는 위험성평가와 관리 템플릿을 활용하는 방안이다(HSE, 2024). 템플릿에는 피해를 입을 수 있는 대상과 사례(who might be harmed and how), 위험을 통제 · 관리하기 위해 이미 하는 일(what you are already doing to control the risks), 위험을 통제하기 위해 추가로 취해야 할 조치(what further action you need to take to control the risks), 조치를 수행해야 하는 사람(who needs to carry out the action), 조치가 마련되어야 하는 시기(when the action is needed by)이 수록되어 있다.

다섯째, 공정, 공정 설비, 정비 작업 종류와 범위 등에 따라 추가로 구체적인 안전보건 가이드를 개발할 필요가 있는지 검토해야 한다. 정비 대상 설비의 크기, 밀폐 정도, 정비 작업 종류에 따라 유해 인자 발생과 수준 등은 다르다. 정비 대상 설비 특성에 따라 정비 작업 전, 작업 중, 작업 후에 관리해야 할 위험 요인의 중요도가 다를 수 있다. 예를 들면 정비해야 할 설비가 밀폐되고 크기가 큰 경우 밀폐공간의 위험, 추락 등의 위험이 강조되어야 한다. 또한 정비 대상 설비의 기계, 부품 등이 무거워 해체, 탈착, 이동 등에서 크레인 등 위험한 기계나 기구를 이용해야 할 경우, 이에 대한 엄격한 안전보건 조치를 취해야 한다. 정비 대상 설비, 기계, 기구 등을 잘 조사하여 안전보건 가이드에 반영하는 것이 좋다. 예방정비와 대응정비의 작업 수행 빈도와 시간에 따라 안전보건 위험은 달라질 수 있다. 예방정비는 정해진 시간에 시설이나 장비를 정기적으로 검사하는 작업인 반면, 대응정비는 설비와 장비 등의 고장이나 중단이 발생할 때마다 수행하는 작업이다(Safety Culture, 2024). 특히 대응정비는 비정기적으로 신속한 공정 가동의 부담에 따른 위험을 관리하기 위한 가이드에 강조할 필요가 있다.

마지막으로 여섯째, 본 가이드는 전자산업에서 다른 공정 설비 정비 작업과 다른 산업에서 사용하는 식각, 증착, 이온주입 공정에도 활용할 수 있다. 식각(AZoM, 2006), 증착(Kern & Schuegraf, 2001), 이온주입(Hirvoney, 1983) 공정은 집적회로와 전자 부품을 제

조하는 반도체와 마이크로일렉트로닉스 산업에서 핵심적인 역할을 한다. 또한 이러한 공정 기술은 광전지를 생산하는 태양에너지 분야와 하드디스크드라이브 및 메모리 장치를 제조하는 데이터저장 산업에서도 광범위하게 활용되고 있다. 이에 더하여 스마트폰이나 TV와 같은 기기의 화면을 만드는 디스플레이 기술, 부품의 표면 처리가 필요한 항공우주와 자동차산업에서도 중요한 응용 분야에 활용되고 있다(Global_IndustryAnalysts, 2024).

부 록

전자산업 공정 설비 정비 작업 안전보건 가이드는 온라인에서 열람 및 다운로드 가능합니다.

부록 1: <https://www.jksoeh.org/main/download.htm?code=J03402003S1>

부록 2: <https://www.jksoeh.org/main/download.htm?code=J03402003S2>

부록 3: <https://www.jksoeh.org/main/download.htm?code=J03402003S3>

V. 결 론

본 연구에서는 반도체 식각, 이온주입, 증착 공정 설비에 대한 정비 작업을 수행할 때 일반적으로 따라야 할 안전보건 가이드를 개발하였다. 산업, 공정, 설비 등에 상관없이 일반적으로 정비 작업 전에 취해야 할 기본 내용은 정비 작업 허가, 설비 가동과 화학물질 배관 등에 전기적인 차단과 표시, 작업공간 격리와 출입 제한, 위험성평가 등 교육, 비상시 사용할 수 있는 안전보건 시설 확인, 공정 설비의 정비 대상 조건과 상태 도달 확인, 개인보호장비 착용 등이다. 정비 작업 중에는 유해 인자 발생과 노출을 억제하기 위한 조치를 하고, 정비 작업 후에는 보호구를 착용한 채로 작업공간을 깨끗하게 청소하고 폐기물을 처리한다. 공정 설비 정비 작업 시간, 빈도, 내용 등을 표준에 따라 기록하여 안전한 정비 작업 안전보건 가이드를 개정하는 근거로 활용한다.

References

AZoM. Metallographic etching – the processes, reasons to etch and what etching achieves 2006 [cited 2024

- Jan 10]. Available from: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3504>
- Britannica. Standard operating procedure 2023 [cited 2023 11 08]. Available from: <https://www.britannica.com/technology/standardization>
- Bundesmann C & Neumann H. Tutorial: The systematics of ion beam sputtering for deposition of thin films with tailored properties. *Journal of Applied Physics*. 2018;124(23).
- EU-OSHA. E-facts 66: maintenance and hazardous substances. 2012 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://osha.europa.eu/sites/default/files/66-maintenance-hazardous-substances.pdf>
- Global_IndustryAnalysts. Ion Implanters – global strategic business report. 2024.
- Hirvoney J. Industrial applications of ion implantation. *MRS Online Proceedings Library*. 1983;27:621–9.)
- HSA. Maintenance fact sheet: Health and Safety Authority; 2024 [Available from: https://www.hsa.ie/eng/vehicles_at_work/workplace_transport_safety/managing_workplace_priority_risks/maintenance.pdf
- HSE. Managing risks and risk assessment at work: Health and Safety Executive; 2024 [cited 2023 11 09]. Available from: <https://www.hse.gov.uk/simple-health-safety/risk/risk-assessment-template-and-examples.htm>
- INQUIVIX. Semiconductor sputtering: what is this process and why is it used? 2023 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://inquivixtech.com/semiconductor-sputtering-process/>
- ISC. Safe operating procedure (SOP) 2023 [cited 2023 11 08]. Available from: <https://www.international-safetyconsultants.com/safe-operating-procedure-sop/>
- Kern W & Schuegraf KK. Deposition technologies and applications: Introduction and overview. *Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques*: Elsevier; 2001. p. 11–43
- Kim S, Lee S, Park J, Han TH, Moon JJ et al. Development of a general occupational safety and health (OSH) guide for maintenance work at electronic industry process facilities. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2024;34(1):in press.)
- Lee S, Kim S, Zoh KE, Whang Y, Lee KH et al. Development of an occupational safety and health (OSH) guide for safely cleaning contaminated machinery, equipment, and parts used in the

- electronics manufacturing process. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. 2023;33(4):419–26. (<https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2023.33.4.419>)
- Muylaert K, Eeckelaert L, Brueck C, Lafrenz B, Jachowicz M et al. Safe maintenance in practice: Office for Official Publications of the European Communities; 2010
- OSHA. Device Fabrication 2024a [Available from: <https://www.osha.gov/semiconductors/silicon/device-fabrication>]
- OSHA. Semiconductors 2024b [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://www.osha.gov/semiconductors>
- Safety Culture. Breakdown maintenance 2024 [cited 2023 11 09]. Available from: <https://safetyculture.com/topics/breakdown-maintenance/#:~:text=The%20main%20difference%20between%20the%20two%20is%20the,or%20short-life%20assets%20encounter%20machine%20failure%20or%20disruption>
- Selwyn GS, Weiss CA, Sequeda F & Huang C. Particle contamination formation in magnetron sputtering processes. Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. 1997;15(4):2023–8.)
- SEMI. SEMI International Standards 2024 [cited 2024 Jan 10]. Available from: <https://semi.org/ko/products-services/standards#:~:text=SEMI%20ED%91%9C%EC%A4%80%EC%9D%80%20EC%88%98%EB%B0%B1%EB%A7%8C%20EA%B0%9C%EC%9D%98%20EC%84%9C%EB%A1%9C%20EB%8B%A4%EB%A5%B8%20EB%B6%80%ED%92%88%EC%9D%84%20EA%B3%B5%EA%B8%89%ED%95%98%EB%8A%94,%EC%84%9C%ED%94%8C%EB%9D%BC%EC%9D%B4%20EC%B2%B4%EC%9D%B8%EC%9D%80%20ED%95%A8%EA%BB%98%20ED%98%91%EB%A0%A5%ED%95%98%EA%B3%A0%2C%20EC%A7%80%EC%9B%90%ED%95%98%EB%A9%B0%2C%20ED%98%81%EC%8B%A0%ED%95%A0%20%EC%88%98%20EC%9E%88%EC%8A%B5%EB%8B%88%EB%8B%A4>
- Sigmund P. Introduction to sputtering. Mat Fys Med Dan Vid Selsk. 1993;43:7–26.)

<저자정보>

조경이(박사수료), 한택현(Senior Professional), 문재진 (Technical Leader), 정인균(Technical Leader), 황영우 (선임), 권세영(차장), 고경윤(석사과정), 이민건(조교), 장재필(센터장), 박동욱(교수)