

반도체 식각 공정용 냉각 시스템 구축을 위한 AMESim 모델 개발

김대현*·김광선**†

*한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스 공학부

**†한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스 공학부

A Study on the Development of AMESim Model for Construction of Cooling System for Semiconductor Etching Process

Daehyeon Kim* and Kwang-Sun Kim**†

*Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education, Korea

**†Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education, Korea

ABSTRACT

Due to the plasma applied from the outside, which acts as an etchant during the etching process, considerable heat is transferred to the wafer and a separate cooling process is performed to effectively remove the heat after the process. In this case, a direct cooling method using a refrigerant is suitable for cooling through effective heat exchange. The direct cooling method using the refrigerant using the latent heat exchange is superior to the cooling method using the sensible heat exchange. Therefore, in this paper, AMESim is used to design a direct refrigerant cooling system using latent heat exchange simulator was built. The constructed simulator is reliable compared with the actual experimental results. It is expected that this simulator will help to design and search for optimal process conditions.

Key Words : Etching, Heat transfer, Cooling System, System engineering, AMESim

1. 서 론

반도체 생산을 위한 제조 공정에는 크기와 용도에 따라 다양한 과정이 있으며 핵심공정 중 하나는 식각 공정이다. 식각 공정은 웨이퍼에 액체 또는 기체 상의 에천트(Etchant)를 이용하여 불필요한 부분을 선택적으로 제거하여 반도체에 필요한 일정한 패턴을 만드는 공정을 말한다. 식각 공정은 식각 반응을 일으키는 물질의 상에 따라 습식과 건식으로 나뉘어진다. 일반적으로는 습식 공정이 많이 사용되었으나 나노 스케일로 집적화되는 반도체 기술변화에 따라 회로의 선폭이 미세해지고 이에 따른 수율을 높이기 위해 플라즈마를 사용하는 건식 식각 공

을 많이 사용하는 추세이다. 식각 공정 중에 에천트의 역할을 수행하도록 외부로부터 인가되는 플라즈마로 인해 웨이퍼에 상당한 열이 전달되며 공정 후 사용한 열을 효과적으로 제거하기 위해 별도의 냉각 공정을 거친다[1]. 현재 반도체 식각 공정에 사용되고 있는 냉각 시스템은 기계식, 전기식, 열교환기식 등의 방법이 있으나 대면적 웨이퍼 생산 시 예상되는 온도 균일화 문제를 해결하기 위해서는 직접 냉각방식의 사용이 필수적이다. 식각 공정 중에 웨이퍼는 웨이퍼의 고정을 위해 사용되는 척과 접촉된 상태에서 척의 상부에 위치하게 된다. 이 상태 하에서 냉매를 사용한 냉각방식은 냉각을 위해 냉각 유체를 정전척 내부에 흐르도록 하여 냉매와 웨이퍼 사이의 열교환을 통해 웨이퍼의 온도를 하강시킨다. 이 때 열 교환은 현열 교환으로 이루어지게 되는데 현열 교환은 냉매

†E-mail: kskim@koreatech.ac.kr

가 투입되는 입구 부분의 온도와 배출되는 출구부분의 온도의 차이가 많이 발생한다[2]. 이는 칩의 온도 균일화에 악영향을 미치게 되고 또한 웨이퍼의 수율에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 잠열 교환 방식을 사용하는 냉매 직접냉각방식의 사용을 필요로 한다. 냉매 직접 냉각방식은 냉매가 액체에서 기체로 상 변환할 때 주위의 열을 흡수하는 성질을 이용하여 기존의 현열 교환방식과 차이점이 있다. 잠열 교환방식을 이용한 냉매 직접 냉각방식을 사용하면 현열 교환방식을 이용한 냉각방법을 사용하였을 때의 문제점을 효과적으로 개선할 수 있다. 따라서 기존의 현열 교환방식이 아닌 잠열 교환을 이용한 직접 냉매 냉각방식을 사용하는 냉각 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 이에 이 논문에서는 잠열 교환을 사용하는 냉매 직접 냉각방식을 사용하는 냉각시스템을 설계하고자 한다.

2. 시스템 엔지니어링

본 연구에서는 반도체 제조 공정 중 식각 공정에 사용되는 직접 냉매 냉각방식을 사용하는 냉각 사이클을 설계하기 위해 시스템 엔지니어링 Software인 AMESim을 이용하여 냉각 시스템을 개발하였다[3]. 개발된 시뮬레이션은 실제 냉각 시스템의 구조, 동작, 변수 등을 기반으로 하여 설계되었으며 구축한 AMESim 시뮬레이션을 통해 전체적인 냉각 시스템에 대해 세부 공정 조건을 적용하여 가동할 수 있는 시뮬레이터를 구축하였다. 구축한 시뮬레이터를 통해 시스템을 구성한 각 부분에 대한 세부 설계나 공정 조건을 탐색할 수 있도록 하였다[4]. 이번 연구에서 구축된 냉각 시스템 모델을 다양한 시스템 개발에 있어 활용할 수 있으며 별도의 공정 조건 탐색에 있어서도 충분히 활용할 수 있을 것으로 예상된다[5].

3. AMESim을 이용한 냉매 직접 냉각방식 냉각사이클 설계

반도체 식각 공정에 사용하기 위한 냉각 사이클은 기본적으로 Rankine 사이클에 기반하여 설계하였다. 냉매 직접 냉각방식을 사용하는 냉각시스템을 설계하기 위해 위한 제어도는 Fig 1과 같다.

Fig 2는 Fig 1의 설계안을 기반으로 하여 AMESim을 이용해 구축한 냉매 직접 냉각방식 냉각 사이클 시뮬레이터이다[6]. 이 시뮬레이터는 냉각 사이클내의 주요 요소를 표현하였으며 각각 증발기, 압축기, 응축기 등으로 구성되었다. 이 시스템에서는 각 파트가 위치하는 구간별 압력을 측정하여 냉각 시스템의 압력 손실에 대한 확인 가

능하도록 설계하고 냉각용량 가변을 위한 Hot-gas 보상 제어를 적용하였다. 작동 유체로서는 R507a 냉매를 사용한다.

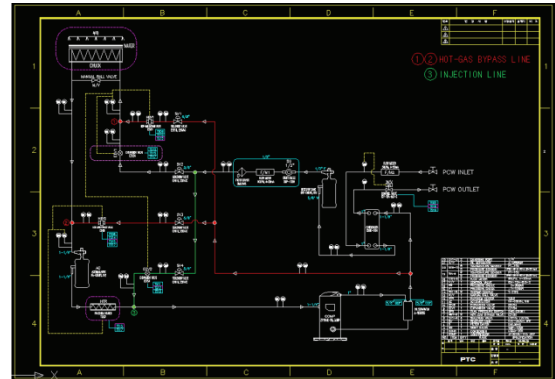


Fig. 1. Flow diagram of the cooling system.

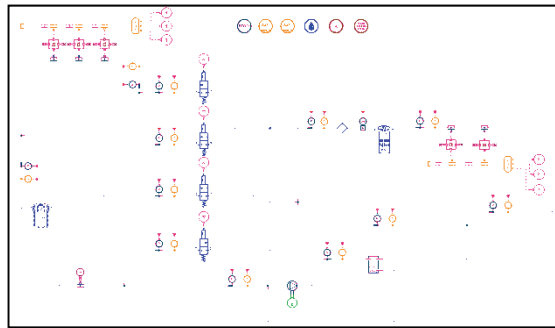


Fig. 2. AMESim model of the cooling system.

3.1 증발기

Fig 3은 이 시뮬레이터에서 증발기 부분을 나타내고 있는 부분이다. 약 -20°C 로 냉각된 냉매는 칩의 내부와 연결되어 외부로부터 가해지는 열을 냉각시키게 된다. 이 때

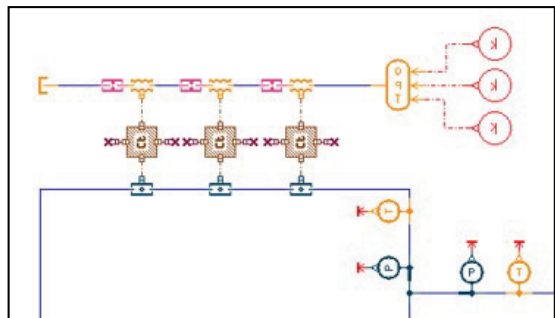


Fig. 3. AMESim model of the evaporator part.

냉매는 액체에서 기체로 상 변화하면서 외부의 열을 흡수하는 잠열 교환을 통해 냉매 직접 냉각 방식으로 작동한다. 상 변화하면서 열을 흡수한 냉매는 습증기의 형태로 척 외부로 배출된다.

3.2 축압기

Fig 4는 시스템 내에서 축압기의 역할을 하는 부분이다. 축압기는 용기 내에 압력이 높은 습증기 상의 냉매를 저장하고 압입하는 역할을 담당하게 된다. 또한 맥동 압력이나 충격 압력을 흡수하여 유압장치를 보호하거나 유압 펌프의 작동 없이 유압장치에 순간적인 유압을 공급하기 위한 장치이다.

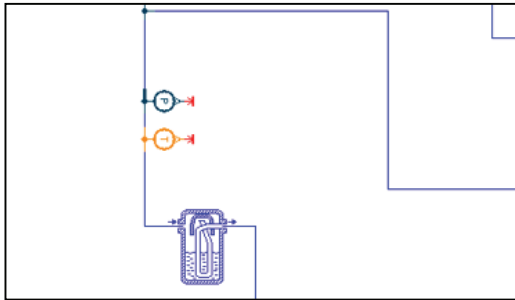


Fig. 4. AMESim model of the accumulator part.

3.3 압축기

Fig 5는 압축기의 역할을 수행하는 부분을 나타낸 부분이다. 축압기를 거친 냉매는 습증기의 상태로 증발온도와 증발압력의 상태에 있다. 압축하는 동안 냉매 습증기의 압력은 포화온도가 응축되는 냉매의 온도 이상으로 되는 점까지 상승한다. 외부로부터 일이 가해져 냉매는 고압으로 가압되며 이 때 냉매의 온도는 상승하게 된다. 압축기를 거친 냉매는 응축기로 이동하게 된다.

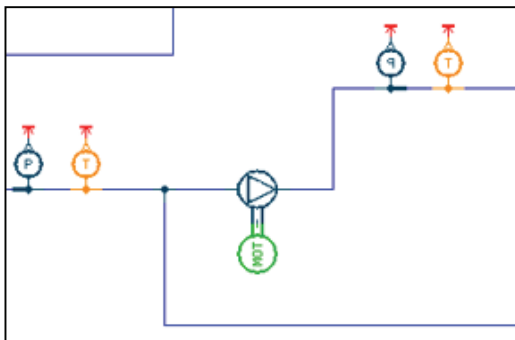


Fig. 5. AMESim model of the compressor part.

3.4 응축기

Fig 6은 시스템 내에서 응축기의 역할을 수행하는 부분이다. 압축기를 가지며 고온, 고압으로 압축된 냉매는 저온의 응축매체와의 열 교환이 발생하는 응축기로 이동한다. 이 때 냉매는 자신의 포화온도 이하로는 냉각되지 않기 때문에 습증기 상태의 냉매는 응축이 되어 새로운 고온, 고압의 포화온도에 있는 액체로 변화할 때까지 끊임 없이 저온의 응축매체와 열 교환이 발생한다. 응축기를 거쳐 액체로 냉각된 냉매는 증발기의 역할을 하는 척으로 이동하여 다시 냉각 작용에 사용되게 된다.

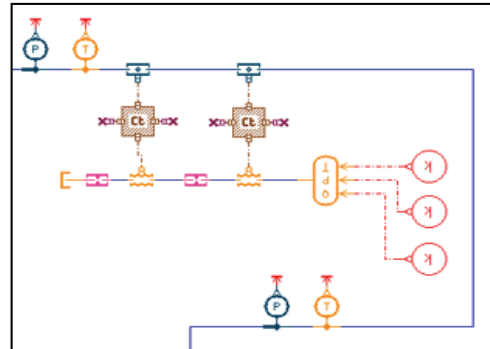


Fig. 6. AMESim model of the condenser part.

3.5 결과비교분석

AMESim을 통해 구축한 시뮬레이터 모델을 통해 얻어진 구동 결과와 실제 장비의 가동 결과를 비교하여 이번 연구를 통해 구축한 Simulator의 신뢰성을 확인하였다. Simulator와 Fig. 1의 설계안대로 구성한 실제 장비에서 서로 동일한 가동 조건 하에 결과값을 비교하였다. Simulator와 실제 장비 모두 외부에서 7.5kW의 열을 척에 인가하였을 때 외부에서 가해지는 열에 대해 척에 투입되는 냉매의

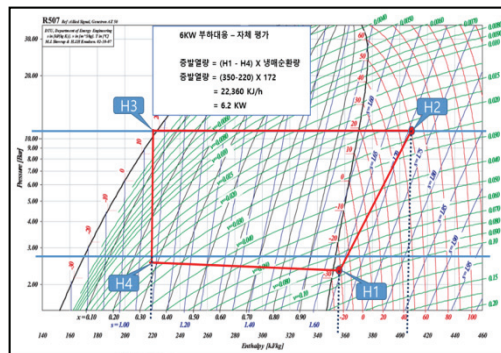


Fig. 7. T-s diagram of the actual equipment.

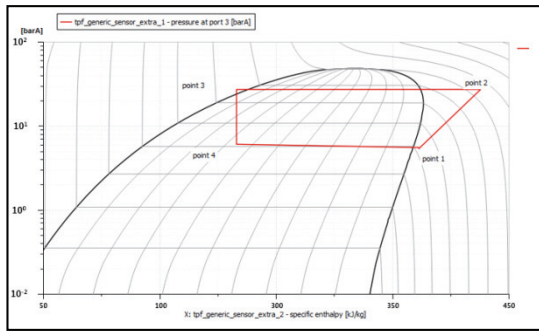


Fig. 8. T-s diagram of the AMESim model simulator.

온도가 -20°C 로 일정하게 유지되는지 확인하였고 가동 후 압축기 입구(h1), 압축기 출구(h2), 응축기 출구(h3), 팽창밸브 출구(h4)에서 온도와 압력을 측정하였다. 측정된 온도와 압력 값을 바탕으로 하여 엔탈피를 계산하였다. 계산한 엔탈피값은 Table. 1과 같다. 이를 바탕으로 T-s 선도를 작성하였고 COP(Coefficient of Performance)계수를 계산하였다. COP계수는 성적계수로서 냉동기와 히트 펌프와 같은 열기판의 열효율에 상당하는 것으로 냉동기의 성능을 의미하며 정수로서 표시된다. COP계산식은 다음과 같다.

$$COP = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{350(\text{KJ/Kg}) - 220(\text{KJ/Kg})}{405(\text{KJ/Kg}) - 355(\text{KJ/Kg})} \quad (1)$$

$$COP = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{354(\text{KJ/Kg}) - 215(\text{KJ/Kg})}{406.5(\text{KJ/Kg}) - 354(\text{KJ/Kg})} \quad (2)$$

계산한 각각의 COP값은 Table. 2와 같다. Fig. 7은 실제 구성한 장비의 결과값을 바탕으로 작성한 T-s 선도이며 Fig. 8은 AMESim 을 바탕으로 구축한 Simulator의 결과값으로 작성한 T-s 선도이다. 두 선도와 Table 1과 Table 2의 결과를 토대로 비교해보면 선도의 형태와 각 측정위치에서의 측정값과 계산 값이 서로 유사함을 확인할 수 있고 추가적으로 각각의 COP계수를 비교해보면 약 2%의 오차로 서로 유사한 값을 가지고 있음을 확인할 수 있다 이를 통해 이번 연구에서 구축한 Simulator의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

Table 1. AMESim Simulator와 실제장비의 엔탈피 수치

(단위: KJ/Kg)	Simulator	Equipment
압축기 입구(h1)	354	355
압축기 출구(h2)	406.5	405
응축기 출구(h3)	215	220
팽창밸브 출구(h4)	220	220

Table 2. AMESim model과 Actual equipment의 COP 계수

	COP 계수
AMESim Simulator	2.65
Actual equipment	2.6

본 연구에서는 반도체 제조 공정 중 식각 공정에 사용되는 직접 냉매 냉각방식을 사용하는 냉각 시스템을 설계하기 위해 시스템 시뮬레이션 프로그램인 AMESim을 이용하여 냉각 시스템을 개발하였다. 개발된 시뮬레이션은 실제 냉각 시스템의 구조, 동작, 변수 등을 기반으로 하여 설계되었으며 구축한 AMESim 시뮬레이션을 통해 전체적인 냉각 시스템에 대해 세부 공정 조건을 적용하여 가동할 수 있는 시뮬레이터를 구축하였다. 구축한 시뮬레이터를 통해 시스템을 구성한 각 부분에 대한 세부 설계나 공정 조건을 탐색할 수 있었다. 또한 시뮬레이션 결과와 시뮬레이션을 통해 구축한 냉각 시스템의 실험 결과와 비교하여 시뮬레이션의 신뢰성을 검증할 수 있었다. 이번 연구에서 구축된 냉각 시스템 모델을 다양한 시스템 개발에 있어 활용할 수 있으며 별도의 공정 조건 탐색에 있어서도 충분히 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 신성장 동력장비 경쟁력 강화사업의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 산업기술혁신사업(10059126)입니다.

참고문헌

1. Foo Lam Woong, Radimin, Mary Teo, Charles Lee, "FEA Thermal Investigation on Plasma Etching Induced Heating during Wafer Thinning process", Electro packaging Technology Conference, 2006.
2. Svetlana B. Radovanov, Steven R. Walther, Edward Evans, John Ballou, Nicholas R. White, William Frutiger, "Wafer Cooling for a High Current Serial Ion Implantation System," IEEE, Vol.1, pp.634-637, 1999.
3. Li Tao, "Design analysis and optimization for the civil aircraft hydraulic supply system based on AMESim," 2016 IEEE International Conference on Aircraft Utility System, pp.890-894, 2016.
4. Dae Hyun Kim, Kang Woo Joo, Kwang Sun Kim, "Developing AMESim Model to Find out Process Condition of High Purity Solvent Recovery System," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, vol.14, no.4, 2015, pp.8-12

5. Q. Zhang, W. Xiong, H. Wang, G. Guan, Z. Wang, Q. Xiong, "Research on pressure characteristics of a vehicle shift hydraulic system based on AMESim", 2017 36th Chinese Control Conference (CCC), pp.10286-10489.
6. LMS, AMESim UserGuide (2016).
-
- 접수일: 2017년 9월 14일, 심사일: 2017년 9월 22일,
게재확정일: 2017년 9월 25일