

식각 공정용 냉각시스템에서의 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식에 관한 연구

장경민[†] · 김광선^{*}

[†]한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과, ^{*}한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

A Study on Direct Cooling and Indirect Cooling in Etching Process Cooling System

Kyungmin Jang[†] and Kwangsun Kim^{*}

[†]Graduate School of Mechanical Engineering of KOREATECH

^{*}School of Mechanical Engineering of KOREATECH

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, AMESim

1. 서 론

식각 공정은 웨이퍼 표면에 미세한 박막을 형성 가공하는 과정에 이용되고 있다. 반도체 웨이퍼 표면에 산화 박막을 형성해서 포토레지스트(Photoresist)로 패턴을 형성한 후 식각을 통해 불필요한 박막을 제거한다. 식각에는 액체 또는 기체의 상을 가지는 에천트(Etchant)를 이용한다. 식각은 불산 액체를 사용하는 습식 식각과 4불화메탄 가스를 사용하는 건식 식각으로 구분할 수 있다.

반도체 제조 기술이 고도화 되면서 회로의 선폭이 미세해지고 레이어의 수도 증가하고 있다. 이에 따른 반도체 제조 시에 수율을 높이기 위해 플라즈마를 사용하는 건식 식각 방법이 많이 사용되고 있다. 건식 식각에는 에

천트의 역할을 수행하도록 외부로부터 인가되는 플라즈마로 인해 웨이퍼에 많은 열이 전달되며 식각이 종료된 후에는 잔류해 있는 열을 제거하기 위해 별도의 냉각과정을 거친다.[1]

현재 반도체 식각 공정 후에 열을 냉각하는 방법에는 기계식, 전기식, 열교환기식 등의 방법이 있다. 현재 반도체 제조 시에 웨이퍼의 구경이 대구경화되고 있음에 따라 웨이퍼 내의 온도 균일도 문제를 해결하기 위해서 직접 냉각 방식의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 이번 연구에서는 AMESim을 이용하여 식각 공정 후에 남아있는 열을 효과적으로 제거할 수 있는 냉각사이클에 대해 연구하였다.

[†]E-mail: gstyners@koreatech.ac.kr

2. 연구개요

본 연구에서는 반도체 제조 공정 중의 하나인 식각 공정에 사용되는 직접 냉매 냉각방식을 사용하는 냉각사이클을 설계하기 위해 시스템 엔지니어링 상용 소프트웨어인 AMESim을 사용하였다. AMESim을 사용하여 실제 냉각 시스템에 사용되는 기기들을 기반으로 시뮬레이터를 구축하였으며 이를 통해 세부 공정 조건을 설정하여 구동 특성을 확인하였다.[2]

냉각사이클을 위한 연구 대상은 잠열교환을 사용하는 직접 냉각 방식과 현열교환을 사용하는 간접 냉각 방식 두 가지이다. 일반적으로 간접 냉각방식이 많이 사용되지만 간접 냉각 방식은 현열교환을 이용하므로 잠열교환을 사용하는 직접 냉각 방식에 비해 효율이 낮고 별도의 시설 및 장비가 필요하여 높은 비용이 발생한다. 반면에 직접 냉각 방식은 부하 대응이 어렵고 구조가 단순하여 비용이 낮고 유지 및 보수가 용이하다는 장점이 있다.

하지만 플라즈마로 인한 고열을 냉각한 웨이퍼 표면의 온도 균일도 측면에서 냉매가 적에 투입되는 입구와 순환 후에 배출되는 출구에서의 온도차이가 크다는 특성은 온도 균일도가 중요한 대구경 웨이퍼에는 반도체 수율 관점에서는 큰 단점으로 작용할 수 있다.[3] 따라서 웨이퍼의 구경이 증가하고 플라즈마에 의한 열 사용이 증가할수록 직접 냉각 방식의 필요성은 점차 증가하고 있다. 이에 동일한 부하(8kW)에 대하여 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식을 이용한 냉각사이클을 구성하여 그 특성을 확인하였다.[4]

3. AMESim simulation 개발

직접 냉각 사이클과 간접 냉각 사이클 구성을 위한 제어도는 Fig. 1과 Fig. 2와 같다. 지난 연구와는 달리 이번 연구에서는 사이클 내에 이코노마이저(Economizer)를 추가하였다. 이코노마이저는 응축기에서 공급되는 상온의 고압 냉매액을 보조팽창밸브를 통해 이코노마이저 내에 팽창시켜, 증발기에 공급되는 냉매액을 과냉각시켜 냉각효과를 증대시키고 이 때 발생한 중간 압력의 플래쉬 가스는 직접 압축기의 중단으로 투입되어 압축기의 동력을 절약하는 역할을 한다.[5]

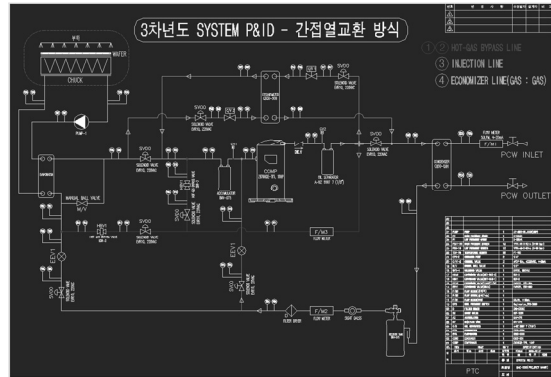


Fig. 1. Flow diagram of direct cooling method.

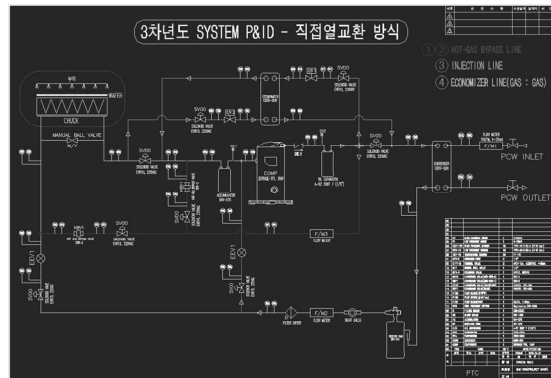


Fig. 2. Flow diagram of indirect cooling method.

제어도를 바탕으로 AMESim을 통해 구성된 냉각사이클은 Fig. 3과 Fig. 4와 같다. Fig. 3의 시뮬레이터는 직접 냉각 방식을 이용한 냉각사이클이며 Fig. 4은 간접 냉각 방식을 이용한 냉각 사이클이다. AMESim 시뮬레이션은 제어도를 바탕으로 각 요소들을 실제 사이클과 동일하게 구성하고 각 파트에서의 가동 조건도 동일하게 설정하였다.[6] 또한 냉각 시스템의 압력 손실에 대한 확인이 가능하도록 설계하였고 냉각용량 가변을 위한 Hot-gas 보상 제어를 적용하였다. 냉각 사이클에 사용한 냉매는 R507a 냉매를 사용하며 증발기 입구에서의 냉매온도는 -20°C 이다. 이를 통해 서로 다른 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식 간에 효율과 COP 수치 비교를 통해 각 특성에 대해 연구하였다.

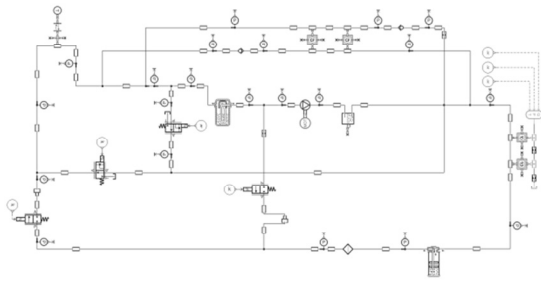


Fig. 3. AMESim Simulator of direct cooling method.

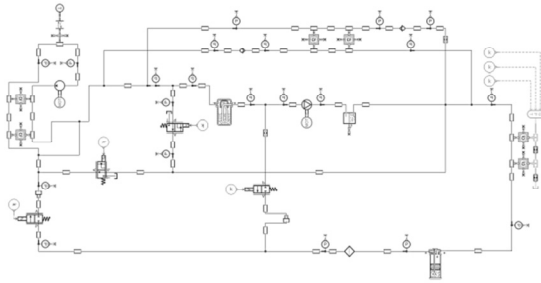


Fig. 4. AMESim simulator of indirect cooling method.

4. Simulation 결과

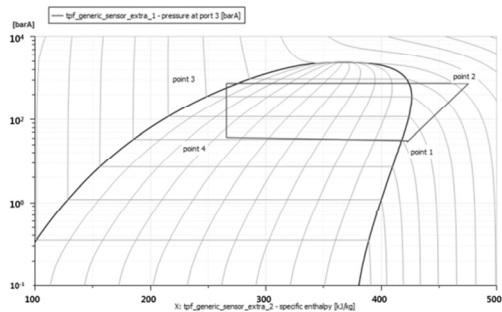


Fig. 5. Pressure-Enthalpy Diagram from Simulation results of direct cooling method.

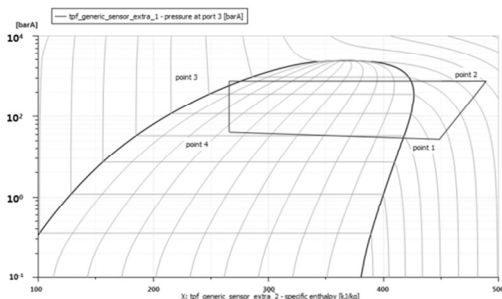


Fig.6. Pressure-Enthalpy Diagram from Simulation results of indirect cooling method.

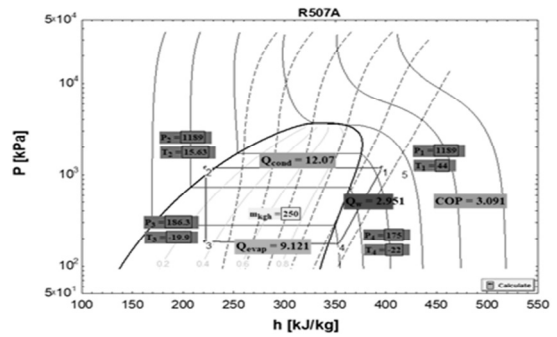


Fig. 7. Pressure-Enthalpy Diagram from Experimental results of indirect cooling method.

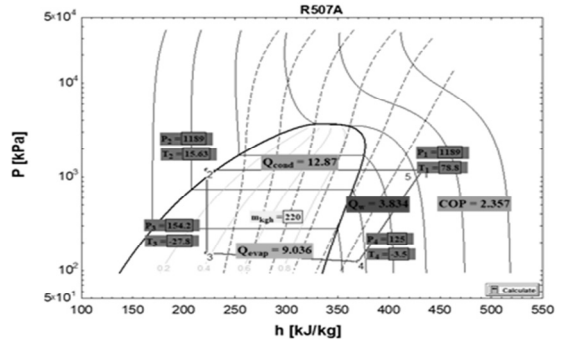


Fig. 8. Pressure-Enthalpy Diagram from Experimental results of indirect cooling method.

Fig 5와 Fig 6의 결과는 AMESim을 통해 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식의 시뮬레이션 결과를 나타낸 결과이다. 또한 R507a 냉매는 사이클을 통해 압축, 응축, 팽창, 증발의 단계를 거치며 상 변화를 하고 있음을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 직접 냉각 방식을 사용하는 사이클과 간접 냉각 방식을 사용하는 사이클에서의 COP계수 값을 계산하였다. Fig 7과 Fig 8은 실제 구성한 직접 냉각 방식과 간접 냉각 방식을 적용한 냉각 사이트를 장비에서 측정한 결과값이다. 시뮬레이션 결과와 동일한 방법으로 실험값을 통해 COP 계수를 계산하였다. AMESim 시뮬레이터를 통해 계산한 COP계수와 실제 장비를 통한 실험값을 바탕으로 계산한 COP계수와 비교하였다. 비교한 결과값을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. COP of both cooling method

	시뮬레이션 결과		실험결과	
	직접	간접	직접	간접
COP	3.16	2.39	3.091	2.357

각 사이클에서의 계산된 COP 계수를 살펴보면 AMESim Simulation을 통해 계산된 COP 계수는 직접 냉각 방식은 3.16을 기록하였고 간접 냉각 방식은 2.39를 기록하였다. 실제 장비에서 측정된 실험 결과를 바탕으로 계산한 COP계수는 직접 냉각 방식은 3.091이며 간접 냉각 방식은 2.357이었다. 시뮬레이션 결과값과 실험값 사이의 오차는 2~3%의 수치를 보이며 시뮬레이션의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 결과에서 간접 냉각 방식보다 직접 냉각 방식이 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 9는 실험을 통한 측정값을 기준으로 각 냉각방식을 비교한 결과이다. 이 결과에서도 동일하게 직접 냉각방식이 간접 냉각방식보다 우수함을 알 수 있다.

Table. 2와 Table. 3의 결과는 각 냉각 방식에서 측정 지점에서의 엔탈피를 나타낸 결과이다.

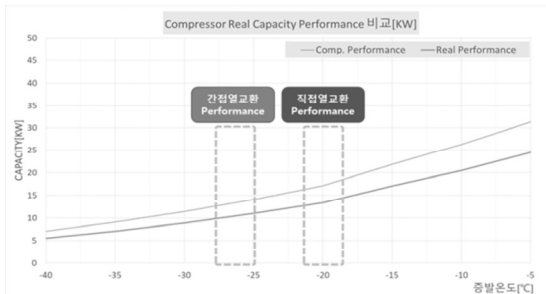


Fig. 9. Comparison of experimental data between direct cooling method and indirect method.

Table 2. Simulation results of enthalpy

	시뮬레이션 결과	
	직접 냉각	간접 냉각
압축기 출구(1)	396	434
응축기 출구(2)	220	221
증발기 입구(3)	220	221
증발기 출구(4)	353	370

Table 3. Experimental results of enthalpy

	실험 결과	
	직접 냉각	간접 냉각
압축기 출구(1)	395	433
응축기 출구(2)	220	220
증발기 입구(3)	220	220
증발기 출구(4)	353	370

5. 결론

이번 연구에서는 식각 공정 후 웨이퍼에 잔류해있는 고온의 열을 냉각하기 위한 냉각 방식에 대해서 연구하였다. 일반적으로는 간접 냉각 방식을 사용하지만 고부하에 대응할 수 있고 증발기 입구와 출구에서의 온도 제어가 용이한 직접 냉각 방식의 개발이 필수적이었다. 시뮬레이션 결과와 실험 결과에서 동일하게 간접 냉각 방식보다 직접 냉각 방식이 우수함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술 평가원의 지원을 받아 진행된 신 성장동력 장비경쟁력 강화사업(10059126)을 통해 수행되었습니다.

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. 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.
3. 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.
4. 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
5. Chaojun Wang, Boshu He, Shaoyang Sun, Ying Wu, Na Yan, Linbo Yan, Xiaohui Pei, "Application of a low pressure economizer for waste heat recovery from the exhaust flue gas in a 600 MW power plant", Energy, volume 48 issue 1, pp.196-202, December 2012
6. LMS, AMESim UserGuide(2016)

접수일: 2018년 9월 14일, 심사일: 2018년 9월 19일, 게재확정일: 2018년 9월 20일