

1. 서론

반도체 소자의 집적도 증가에 따라 요구되는 선폭의 감소를 위해 여러가지 차세대 리소그래피 기술이 연구되고 있다. 그 중 13.5 nm 의 매우 짧은 파장에 의한 해상력 향상과 함께, 기존의 양산용 광노광 기술을 거의 그대로 쓸 수 있다는 점 때문에 극자외선 (Extreme ultraviolet, EUV) 리소그래피에 대한 관심이 집중되고 있다 [1]. 하지만, 아직까지 광원의 부족한 출력으로 인해 양산 적용 시기가 늦추어지고 있을 뿐만 아니라, 실제 공정 중에 발생할 수 있는 여러 결함들에 대한 대처 방안이 충분히 확보되지 못하고 있다. 특히, 노광 중에 발생하는 결함으로부터 마스크를 보호할 수 있어야 하고 이를 위해

기존 리소그래피에 사용되고 있는 펠리클(Pellicle)을 극 자외선 리소그래피(EUVL)에서도 사용할 수 있어야 한다. 펠리클은 [그림 1]과 같이 마스크 위에 씌우는 얇은 박막으로 이루어진 구조물로써 마스크에 이물질이 직접적으로 붙는 것을 방지하고 이물질의 이미지를 탈 초점 시킴으로써 패턴 변형도 막을 수 있다.

기존의 투영식 광학 리소그래피 장비에서는 마스크 위에 펠리클을 고정하여 패턴 결함을 발생시킬 수 있는 물질들로부터 마스크를 보호하였고, 펠리클만 적당한 시기에 교체함으로써 마스크 세정이나 교체에 따른 비용 절감을 통해 공정을 효율적으로 진행했었다. 하지만, EUVL 에서 사용하는 짧은 파장의 빛은 거의 모든 물질에서 흡수가 되기 때문에

# 특집 ■ 리소그래피

## 극자외선 리소그래피용 펠리클

오혜근\*

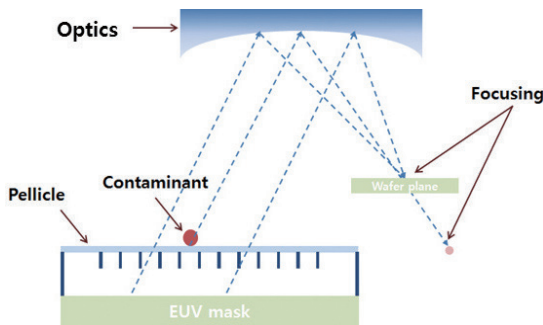
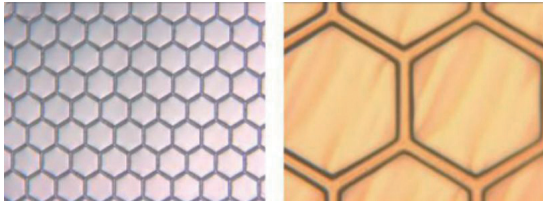
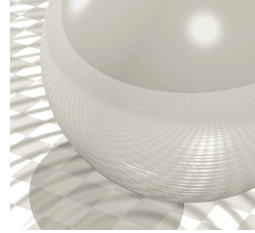


그림 1. 펠리클의 구조도 및 역할

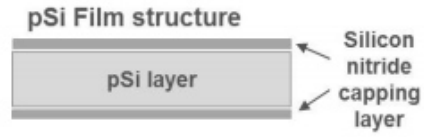
기존에 사용하던 유기물질로 된 펠리클을 사용할 경우 거의 모든 빛이 펠리클에서 흡수가 되어 기존 형태의 펠리클 적용이 불가능 하다고 생각되었었다. 그럼에도 불구하고 극자외선 양산 공정 중에 발생할 수 있는 결함으로부터 마스크를 보호할 수 있는 제일 좋은 방안은 펠리클을 사용하는 것이기 때문에 EUVL 에서 사용 가능한 펠리클을 제작하기 위한 많은 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

EUV 흡수에 따른 손실을 최소화 하기 위해서는

\* 한양대학교 응용물리학과



(ㄱ) 그물 구조를 지지 형태 펠리클 (Intel) [2]



(ㄴ) 다층 박막 구조 펠리클 (ASML) [3]

그림 2. 극자외선 리소그래피를 위한 펠리클

EUVL에 적용될 펠리클은 매우 얇은 두께의 무기물질이 사용되어야 하며, 이런 얇은 막이 중력에 의한 처짐을 받쳐 주기 위해 육각형 형태의 지지대를 사용한 펠리클 [그림 2(ㄱ)] 이 제시되었었고 [2], 여러 물질의 막을 적층한 구조 [그림 2(ㄴ)] 도 고안되었었다 [3]. 하지만 실제로 이들을 양산에 적용하기에는 해결해야 될 문제점들이 아직 많이 남아있다. 예를 들어, 펠리클을 사용하여 결합 물질로부터 마스크를 보호하는 역할을 하되, 높은 에너지의 흡수로 인한 펠리클의 열적 변형이 최소화되어 패터닝 및 공정 여유도 등에 큰 영향을 미치지 않아야 한다. 본 고에서는 EUVL 에 적용 가능한 펠리클에 대해 이제까지 진행되어 온 내용들에 대해 소개하고, EUVL 공정에 실제로 적용했을 경우 발생할 수 있는 문제점과 해결 방안들에 대해서 언급하려고 한다.

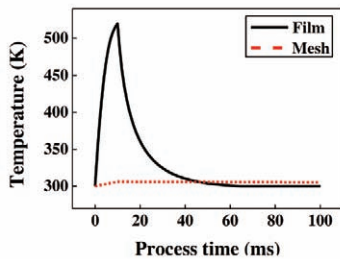
게 때문에 높은 투과율을 갖는 펠리클이 요구되며, 특히, 짧은 파장의 EUV 를 광원으로 사용하는 조건에서는 그 중요성이 더 커지게 된다. 높은 투과율을 얻기 위해서는 작은 소광계수를 갖는 물질과 매우 얇은 두께가 요구된다. 기존의 193 nm 파장을 사용하는 리소그래피 장비에 적용되었던 유기물질의 펠리클은 극자외선 영역에서 높은 소광계수를 나타내어 수십 나노미터 두께만 되어도 전부 흡수가 되기 때문에, EUV 광원에 맞는 새로운 물질이 요구된다. 고분자 형태를 띄고 있는 유기물질보다 단 원자 물질인 무기물질이 상대적으로 작은 소광계수를 나타내고, 그 중에서도 실리콘이 극자외선의 파장 영역에서 매우 작은 소광계수를 갖기 때문에, 가장 가능성이 높은 물질로 고려되고 있다. EUV 광원에서 약 90 % 의 투과율을 만족시키기 위해서, 약 50 nm 의 실리콘 펠리클 박막 두께가 요구되고 있다.

### 가. 높은 투과율의 극자외선 펠리클

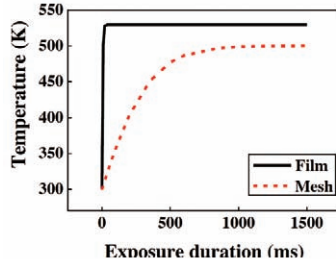
펠리클에서 흡수가 일어나면 이는 결과적으로 웨이퍼에 전달되는 에너지의 감소를 초래하게 된다. 즉 펠리클에서의 빛 흡수는 생산성 감소를 야기시키

### 나. 극자외선 펠리클의 기계적 안정성

공정에 요구되는 약 90 % 이상의 펠리클 투과율을 얻기 위한 박막의 두께가 50 nm 미만으로 매우 작기 때문에, 중력에 의한 얇은 막의 처짐을 고려하지 않을 수 없다. 뿐만 아니라 스캔 장비의 움직임에 따라 발생할 수 있는 약 10 G 의 매우 높은 가속력도 펠리클의 변형에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이 또한 고려되어야 하는 연구 주제이다 [3]. 박막의 처짐 및 파손과 같은 변형에 따른 문제를 개선하기 위해 Intel



(ㄱ) 10 ms 노광 후 휴면시간을 가질 때 공정 시간에 따른 온도 변화



(ㄴ) 장 시간 노광 시 노광 시간에 따른 온도 변화

그림 3. 극자외선 리소그래피용 펠리클의 박막과 그물구조물의 열 특성

에서 마이크로 미터 두께의 그물

## 극자외선 리소그래피용 펠리클

구조물이 박막을 지지하는 형태를 가진 펠리클 모델을 제안하였다 [2]. 그물 구조물은 적은 면적으로 보다 효율적으로 박막을 지지하기 위해 가장 안정적인 구조인 육각형의 벌집 모양 구조를 갖도록 했으며, 박막과 같은 물질인 실리콘 결정이 제안되었다. 그물 구조물을 사용할 경우 펠리클 박막만 존재하는 경우보다는 중력 등에 의한 변형이 최소화되고, 높은 투과율을 달성하기 위해 빛이 지나갈 수 있는 넓은 열린 면적이 요구된다. 또한 그물 구조물 자체가 흡수하는 것도 고려해야 하기 때문에 투과율 손실을 최소화 하면서 안정적으로 지지할 수 있는 그물의 두께와 폭 등을 최적화 하는 작업이 필요하다 [4].

### 다. 펠리클 변형의 최소화

펠리클의 변형을 일으키는 가장 주된 요인은 높은 에너지의 빛이 흡수되면서 발생하는 온도 상승으로 인한 열 변형이다. 펠리클이 고온으로 가열될 때 열 팽창이 일어나 주름이 생기거나 파손되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 실제 공정에 펠리클을 적용하기 위해서는 펠리클의 열 적인 거동을 분석할 필요성이 있다. 양산을 위해서는 마스크에 약 50 W 세기의 극자외선 노광이 요구된다. 50 nm 두께의 실리콘 박막

과 50  $\mu\text{m}$ 의 실리콘 그물 구조물에 극 자외선을 노광할 경우 초기에는 온도가 선형적으로 증가하다가 박막의 경우 최고 온도가 약 530 K, 그물 구조물의 경우 약 500 K 까지 올라 간다. 박막의 경우 상대적으로 높은 온도까지 올라 가기는 하나 매우 짧은 시간(약 60 ms) 내에 상온까지 냉각되므로 반복된 노광 공정으로 인한 열 축적은 무시해도 될 것이라 여겨진다 [그림 3]. 더 나아가 그물구조물의 사용이 박막의 온도 상승을 조금이나마 완화시킬 수 있는 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다 [5].

### 라. 펠리클이 패터닝에 미치는 영향

펠리클을 실제 공정에 적용하였을 때, 패터닝 결과나 공정 여유도를 저하시키는 지 확인하는 작업이 필요하다. 가장 우려되는 문제는 펠리클 적용으로 인한 선폭 균일성의 변화이다. 또한 펠리클에서 일어나는 빛의 흡수로 인해 생산성 감소 및 공정 여유도가 나빠질 수 있을 것이다. 하지만, 다행히도 펠리클을 적용하였을 때 공정 여유도와 노광 여유도는 거의 변화가 없었고 다만 흡수로 인한 목표 패턴 크기를 형성하기 위한 노광 에너지가 조금 증가하였다 [그림 4]. 이는 광원의 세기 향상을 통해 쉽게 해결이 가능하다 [6].

단일 박막 펠리클이 고려될 경우 단순히 투과율 감소만 일어나기 때문에 노광량 증가라는 문제만 감수하면 되지만 그물 구조물을 포함한 펠리클의 경우 그물 구조물로 인해 투과되는 빛이 불균일하게 분포될 수 있다 [그림 5]. 이러한 불균일한 빛의 분포는 패턴 크기의 변화를 초래할 것이다. [4]

따라서 그물 구조물 자체에서 흡수되는 광원과 투과되면서 발생하는 회절 현상 등에 의한 마스크 표면에서의 빛의 균일도 감소에 의한 선폭 균일도 감소 문제도 고려해야 할 문제이다. 하

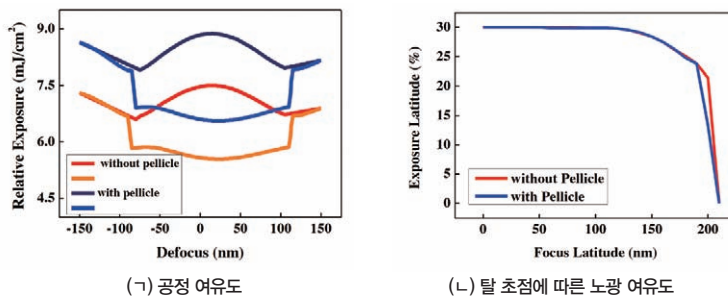


그림 4. 펠리클 적용 유무에 따른 공정 여유도 변화

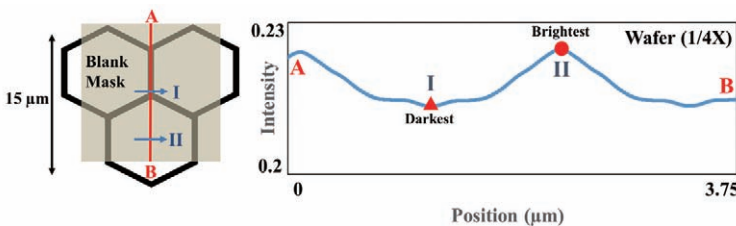
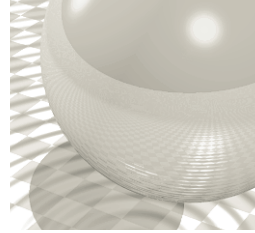


그림 5. 그물 구조물에 의한 웨이퍼 위에서의 불균일한 빛 분포



지만 이는 빛의 세기 균일도를 감소시키지 않는 한도 내에서 구조물을 최적화 시키는 작업이 이루어진다면 충분히 해결할 수 있는 문제라고 여겨진다.

## 2. 결론

본 고에서는 극자외선 리소그래피를 이용한 반도체 소자의 양산을 위해 필수적으로 해결해야 할 오염 물질 조절을 위한 극자외선 펠리클에 대한 다양한 내용들을 설명하고자 하였다. 미래에 요구되는 패턴의 최소 크기 감소를 위해 극자외선을 이용한 노광이 가장 현실적인 리소그래피 기술이라고 할 수 있다. 우리는 극자외선 광원에 적합한 펠리클을 사용하기 위해서, 여러 가지 열 적, 기계적 및 광학적인 특성들에 따른 문제점들을 파악하고 이에 대한 해결 방안들을 찾아 보았다. 더불어 극자외선 펠리클의 사용으로 마스크의 오염 및 결함을 최소화 함으로써 극 자외선 리소그래피를 이용한 소자 양산이 조만간 가능하다는 것을 보여 주었다.

## 참고문헌

- [1] International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), 2013 editions.
- [2] Yashesh A. Shroff, Michael Goldstein, Bryan Rice, Sang H. Lee, K. V. Ravi and Daniel Tanzil, "EUV Pellicle Development for Mask Defect Control," Proc. of SPIE, Vol. 6151, 615104 (2006).
- [3] Luigi Scaccabarozzi, Dan Smith, Pedro Rizo Diago, Eric Casimiri, Nina Dziomkina and Henk Meijer, "Investigation of EUV pellicle feasibility," Proc. of SPIE, Vol. 8679, 867904 (2013).
- [4] Ki-Ho Ko, Guk-Jin Kim, Michael Yeung, Eytan Barouch, Mun-Ja Kim, Seung-Sue Kim, and Hye-Keun Oh, "Aerial Image of Mesh Supported Extreme Ultra-Violet Pellicle," Proc. of SPIE, Vol. 9048, 90482D (2014).
- [5] In-Seon Kim, Guk-Jin Kim, Micheal Yeung, Eytan Barouch, Mun-Ja Kim, Seong-Sue Kim, Ji-Won Kim and Hye-Keun Oh, "Effect of Defects on Extreme Ultraviolet Pellicle," Proc. of SPIE, Vol. 9048, 90482A (2014).
- [6] In-Seon Kim, Ji-Won Kim and Hye-Keun Oh, "Study of Temperature Behaviors for a Pellicle in Extreme-Ultraviolet Lithography: Mesh Structure," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 52, 126506 (2013).

## 약 력



### 오혜근

- 1991년 9월 - 현재 한양대학교 응용물리학과 교수
- 1989년 11월 - 1991년 8월 현대전자 반도체연구소 연구원
- 1989년 8월 미국 인디애나 대학교, 물리학, 이학박사
- 1982년 2월 서울대학교, 물리학, 이학석사
- 1980년 2월 서울대학교, 물리교육, 이학사