

EUV pellicle의 standoff 거리에 따른 이미지 전사 특성 평가

우동곤 · 홍성철 · 김정식* · 조한구** · 안진호†

†한양대학교 공과대학 신소재공학과, *한양대학교 공과대학 나노 반도체 공학과,
**나노 과학 기술연구소

Evaluation on the Relationship between Mask Imaging Performance and Standoff Distance of EUV Pellicle

Dong Gon Woo, Seongchul Hong, Jung Sik Kim*, Hanku Cho** and Jinho Ahn†

†Department of Materials Science and Engineering, Hanyang University,

*Department of Nanoscale Semiconductor Engineering, Hanyang University

**Institute of Nano Science and Technology

ABSTRACT

Extreme ultraviolet (EUV) pellicle is one of the most concerned research in the field of EUV lithography (EUVL). Imaging performance of EUV mask with pellicle should be investigated prior to high volume manufacturing (HVM) of EUVL. In this paper, we analyzed the relationship between standoff distance and imaging performance of EUV mask to verify the influences of relative standoff distance on imaging performance. As a result, standoff distance of EUV pellicle has no effect on imaging performance of EUV mask such as critical dimension (CD), normalized image log slope (NILS) and image contrast. Therefore, pellicle support structure can be flexibly designed and modified in diverse ways to complement the thermal limitation of EUV pellicle membrane.

Key Words : EUVL, EUV pellicle, coherent scattering microscopy (CSM), standoff distance, imaging performance.

1. 서 론

Extreme ultraviolet lithography (EUVL)은 현재 7 nm node logic 공정에 적용될 가장 유력한 기술로, 양산을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 기존 노광기술과 달리 반사형 광학계를 이용할 수 밖에 없는 EUVL의 양산을 위해서는 반사형 광학계에서 손실되는 광량 보상을 위한 250 W 이상의 고출력 광원 확보 및 새로운 구조의 마스크 개발 등 다양한 기술에 대한 연구가 필수적이다. 이를 위한 연구가 수년 동안 지속적으로 이루어져왔으며, 현재는 EUVL 공정 기술 확보를 넘어 최종적으로 공정의 수율을 높이기 위한 연구들이 진행되고 있다.

EUV 펠리클 (pellicle) 개발은 노광 공정의 수율 향

상을 위한 연구로서, 펠리클은 노광 공정에 사용되는 마스크에 부착하여 공정 중 발생하는 각종 오염물질로부터 마스크를 보호하고, 웨이퍼 상에 전사되는 패턴의 결함을 방지하는 역할을 한다[4]. 특히 EUVL은 제작하는 패턴의 사이즈가 수 nm 스케일로 매우 작고, 모든 물질이 EUV 광에 대해 높은 소광계수를 가지는 특성으로 인해서 오염물질에 매우 취약하다. 따라서 마스크를 오염물질로부터 보호하는 펠리클의 개발이 꼭 필요한 상황이다.

EUV 펠리클은 마스크로부터 일정거리 떨어진 지점에 위치하여 오염물질이 마스크에 직접적으로 부착되는 것을 막는 역할을 하는 동시에, 펠리클 상에 위치한 오염물질이 웨이퍼 상에 전사되지 않도록 탈초점(out of focus) 시키는 역할을 한다[5-7].

해당 연구를 통한 EUV 펠리클과 마스크 간의 standoff 거리에 따른 마스크 이미지 전사 특성 평가는

†E-mail : jhahn@hanyang.ac.kr

EUV 펠리클을 향후 양산 공정에 적용할 때 실질적으로 활용 가능한 가이드라인을 제시하고, EUV 펠리클을 마스크에 부착할 때 사용될 구조물의 설계에 도움이 될 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험방법

해당 연구에서는 EUV 마스크 검사장치로 연구중인 결맞음성 회절 현미경(Coherent Scattering Microscopy, CSM)을 이용하여 EUV 펠리클의 standoff 거리에 따른 이미지 전사 특성 평가를 실시하였다. 본 연구에 사용한 CSM은 EUV 노광기와 동일한 13.5 nm 파장의 광원을 이용한 actinic 검사 장비로서, 기존 다른 파장의 검사 장비를 이용해서는 정확히 분석할 수 없는 정보들을 획득할 수 있다[8]. 결상 광학계(objective lens) 없이 물체에서 회절된 빛을 포집하여 그로부터 본래의 이미지를 재구성하는 기술인 결맞음성 회절 이미징(Coherent Diffractive Imaging, CDI) 기술에 기반한 마스크 검사 기술로 해당 장비를 통해 EUV 펠리클을 장착한 EUV 마스크의 이미지 전사 특성을 평가할 수 있다. Fig. 1은 펠리클 이미지 전사 특성 평가 방법의 개략도이다. Fig. 1에서와 같이 CSM은 EUV 마스크에서 회절된 빛을 전하결합소자(charge coupled device, CCD) 카메라를 통해 포집하는 하드웨어로 구성되어 있다.

위상복원 알고리즘을 이용하여 포집된 회절 패턴으로부터 위상 정보를 복원하고 본래의 이미지를 재구성하는 것이 CSM의 소프트웨어이며, 실험에는 error reduction algorithm (ERA)와 hybrid input output (HIO) 알고리즘을 사용하였다[9]. 펠리클은 1.05, 2.10, 3.15 mm

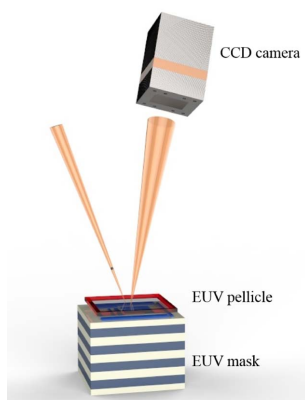


Fig. 1. Schematic of pellicle inspection.

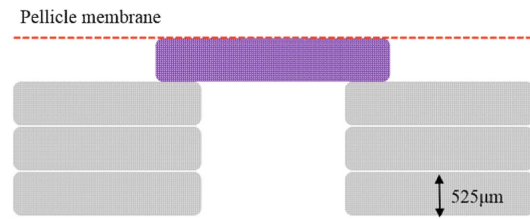


Fig. 2. Schematic of pellicle support structure.

의 standoff 거리에 부착하여 회절패턴을 측정하였다. 본 연구에 사용한 펠리클 지지대의 구조는 Fig. 2와 같다.

525 μm 의 두께를 가지는 실리콘 웨이퍼를 펠리클 지지대로 사용하여 실험에 사용되는 standoff 거리를 조절하였다. 또한 해당 실험에 사용한 펠리클은 실리콘 웨이퍼 상에 증착한 실리콘 질화막(SiNx) 물질을 reactive ion etching (RIE) 공정과 수산화칼륨(KOH) 습식 식각 공정을 통해서 1 cm \times 1 cm 사이즈로 제작되었고, CSM을 통한 투과도 측정 결과, 80%의 투과도를 가지는 것으로 측정되었다[10].

펠리클 지지대의 높이를 1.05, 2.10, 3.15 mm로 변화시키며 마스크로부터 획득한 회절패턴은 위상 정보가 소실된 세기 정보로만 표현된 역격자 공간 이미지이다. 해당 이미지로부터 실공간 이미지를 구현하기 위해서 ERA와 HIO 알고리즘을 사용하였으며, 그 원리는 푸리에 변환과 역푸리에 변환의 반복적 연산에 근간을 두고 있다. 반복적 수학 연산과 함께 정확한 위상을 복원하기 위한 제한조건을 지정하여 실제 위상정보에 가까운 값을 복원할 수 있다[11].

위상복원 알고리즘을 통해 복원된 이미지는 감광제에 입사하기 직전의 빛의 분포를 나타내는 에이리얼 이미지가 아닌 마스크 자체의 이미지로서, 이를 통해 마스크의 이미지 전사 특성을 평가할 수 없다. 따라서 추가적으로 EUV 노광기의 조명계 조건을 적용한 이미지 계산을 통해 마스크 이미지 전사 특성을 평가할 수 있다. 해당 실험에서는 EUV 노광기의 conventional 조명계 조건인 개구수(numerical aperture, NA) 0.33, partial coherence (σ) 0.9를 적용하여 이미지 전사 특성을 평가하였다[12].

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 펠리클을 EUV 마스크 상에 각각 1.05, 2.10, 3.15 mm의 standoff 거리로 부착한 뒤 측정된 EUV 마스크의 에이리얼 이미지이다. 에이리얼 이미지는 EUV 마스크 및 광학계를 거친 뒤, 최종적으로 감

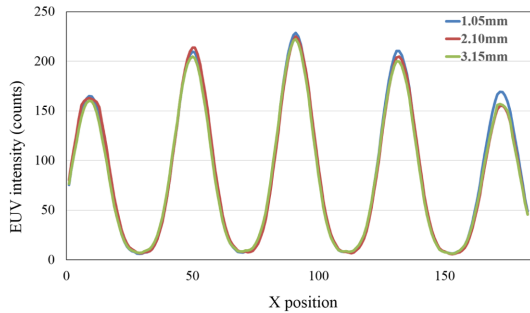


Fig. 3. EUV intensity distribution depending on standoff distance.

광제(photoresist)가 도포된 웨이퍼에 입사하기 직전의 EUV photon 의 분포를 나타낸 이미지로 이를 분석하여 EUV 마스크의 성능 평가가 가능하다. CSM 은 앞서 언급한 바와 같이 EUV 노광기의 조명계 조건을 적용하여 에리얼 이미지를 구현 가능하다. CSM 을 통해 복원한 에리얼 이미지는 펠리클과 마스크 간의 상대적 거리에 관계없이 유사한 모양을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 해당 결과는 펠리클의 standoff 거리가 EUV 광자의 진행 거동에 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 같은 두께의 펠리클을 사용한다면, 펠리클과 마스크간의 상대적 거리와 무관하게 직접적으로 EUV 광자가 펠리클을 통과하여 진행하는 경로는 일정하여 웨이퍼로 입사하는 EUV 광자의 분포에는 변화가 발생하지 않기 때문이다.

Fig. 4는 에리얼 이미지로부터 획득한 standoff 거리에 따른 마스크 이미지 전사 특성 결과 값을 그래프로 정리한 결과이다. 예상과 같이, 펠리클 standoff 거리에 따른 마스크 이미지 전사 특성은 일정하게 나타났다. 임계치수(critical dimension, CD) 값과 NILS 값은 웨이퍼상에 도달하는 EUV 광자의 량과 직결되는 개념으로, 같은 투과도의 펠리클을 사용한 실험이므로 standoff 거리에 관계없이 결과 값이 일정하게 나타났다. NILS 의 경우, 패턴의 가장자리에 대한 정보를 포함하고 있는 회절광량에 의해 좌우되는 특성으로 세가지 경우에 대해서 모두 2.97 의 값을 나타내었다. standoff 거리에 따라서 1 cm × 1cm 크기의 펠리클을 통과하지 못할 경우 그 특성이 악화될 것으로 예상하였지만 해당 실험에서 적용한 최대 3.15 mm standoff 거리에서도 문제없이 웨이퍼로 집속되는 것으로 확인되었다.

이에 따라서, H-V CD bias 또한 펠리클 standoff 거리와 연관 관계가 없는 것을 알 수 있다. H-V CD bias 는 EUVL 에서 부각되어 발생하는 현상으로, 이는

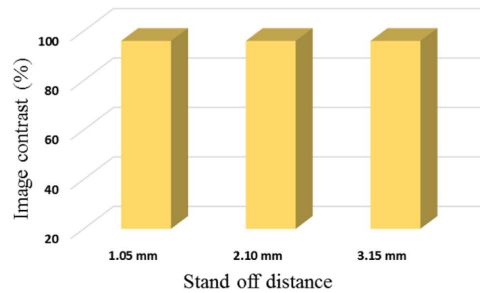
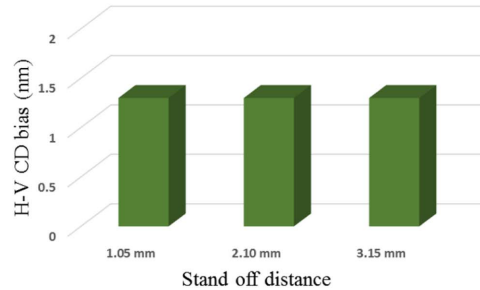
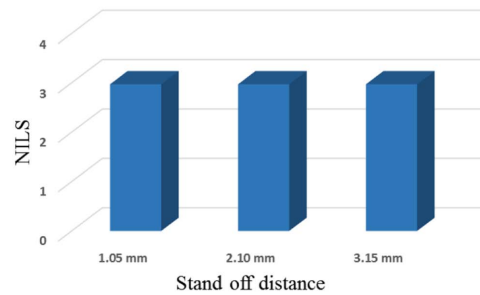


Fig. 4. Imaging performance of EUV mask depending on standoff distance.

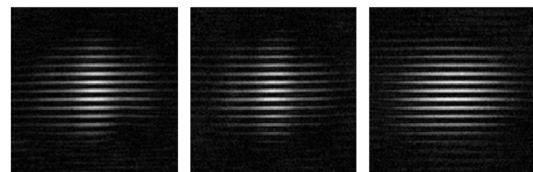


Fig. 5. Aerial image of EUV mask depending on standoff distance 1.05, 2.10, 3.15 mm (left to right).

EUVL 이 기존 노광기술과 달리 반사형 시스템을 사용하기 때문이다. 반사형 마스크에서는 수직방향과 수평방향의 패턴에서 1차광, -1차광의 회절량의 균형이 맞지 않는 현상이 발생하는데, 이로 인해 수직 방향의 패턴에서 마스크로부터 회절된 EUV 광자가 흡수체 패턴에 막혀 조명계로 입사하지 못하는 현상이 발생하기 때문이다[13]. 펠리클과 마스크의 상대적인 거리가 가

까울 경우, 펠리클 가장자리 지지대 부분에서 회절광의 진행이 방해받을 수 있다. 하지만, 해당 실험 결과는 3가지 standoff 거리에서 동일한 1.3 nm 의 H-V CD bias 가 나타났다. 이는 펠리클 standoff 거리가 충분히 멀어 회절광의 진행을 방해 하지 않는 것을 의미한다.

본 연구에서는 EUV 마스크의 이미지 전사 특성에서 중요한 요소인 NILS, image contrast, H-V CD bias 모두 standoff 거리에 영향을 받지 않고, 일정하게 나타나는 것을 확인하였다. 이를 최종적으로 확인해보기 위하여 2D 에이리얼 이미지를 복원하였다. Fig. 5는 CSM 을 통해 복원한 standoff 거리에 따른 에이리얼 이미지이다. 왼쪽부터 1.05, 2.10, 3.15 mm 순서의 standoff 거리를 적용한 에이리얼 이미지이다. 그림에서와 같이 standoff 거리에 관계없이 패턴의 가장자리 부분이 선명하게 이미징 된 것을 확인 할 수 있다. 그림 5에서는 큰 차이 없이 모든 이미지에서 유사한 선명도를 보인다. 복원한 에이리얼 이미지로부터 image contrast 또한 확인이 가능하다. Image contrast 는 선평간의 대조비로 image contrast 가 높을수록 선평의 구분이 명확해진다. 마찬가지로 해당 결과 또한 3가지 조건 모두에서 유사한 결과를 보인다.

본 연구를 통해서 standoff 거리는 EUV 마스크의 이미지 전사 특성에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 펠리클과 EUV 마스크 간의 상대적 거리를 조절 가능하므로, 해당 결과는 펠리클을 EUV 마스크에 부착할 때 사용되는 펠리클 지지대 디자인 설계에 있어 응용 범위를 넓혀줄 수 있을 것으로 예상된다. 펠리클이 높은 에너지의 EUV 광원으로 인한 열적 대미지에 취약하기 때문에 최근 이를 완화시켜주기 위해 박막 소재 및 펠리클 디자인 변화에 관한 연구들이 진행되고 있다. 마스크 이미지 전사 특성이 펠리클 standoff 거리에 영향을 받지 않기 때문에 펠리클 박막의 변화를 통해 해결이 어려운 부분들을 펠리클 지지대에 열방출 기능을 추가하여 해결 할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

해당 연구에서는 펠리클을 적용한 EUV 마스크의 이미지 전사특성을 standoff 거리에 따라 분석하였다. EUV 펠리클은 EUVL 의 성공적인 양산 적용을 위해 반드시 개발되어야 할 EUV 부품 소재로 활발히 연구가 진행되고 있는 분야로, 그 개발과 함께 펠리클의 광학적 특성에 대한 연구 또한 동시에 이루어져야 한다. 펠리클과 EUV 마스크 간의 상대적인 거리에 따른 이

미지 전사 특성 변화는 없었다. 이는 동일한 두께의 펠리클을 통과할 때 standoff 거리에 따라서 EUV 광량 손실 및 광경로의 변화가 없기 때문이다. 이미지 전사 특성이 펠리클의 standoff 거리에 영향을 받지 않기 때문에 펠리클 지지대 구조를 선정하는데 있어 그 응용 범위를 확장할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 펠리클 적용에 있어 가장 문제가 될 것으로 여겨지는 열적 대미지에 취약한 부분을 펠리클 지지대의 열방출에 특화된 층 삽입과 같은 지지대 구조 변경을 통해서 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 그동안 펠리클 박막 디자인에만 국한하여 진행되어온 펠리클의 열적 안정성 문제에 대한 새로운 관점의 접근으로, 이에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 한국 정부(MSIP)에서 후원하는 한국연구재단 (National Research Foundation of Korea, NRF)의 기초연구 사업에 의하여 지원되었음(Grant No. 2011-0028570).

참고문헌

1. ITRS organization, "International technology roadmap for semiconductors 2014 edition: Lithography summary", 2014, from <http://www.itrs2.net>
2. Z. J. Qi, J. Rankin, E. Narita and M. Kagawa, "Viability of pattern shift for defect-free EUV photomasks at the 7 nm node", *Proc. of SPIE* 9635, 96350N, 2015.
3. E.V. Setten, G. Schiffelers, E. Psara, D. Oorschot, N. Davydova, J. Finders, "Imaging performance and challenges of 10 nm and 7 nm logic nodes with 0.33 NA EUV", *Proc. of SPIE* 9231, 923108, 2014.
4. Y. A. Shroff, M. Goldstein, B. Rice, S. H. Lee, K. V. Ravi, and D. Tanzil, "EUV Pellicle Development for Mask Defect Control", *Proc. of SPIE* 6151, Emerging Lithographic Technologies X, 615104, 2006.
5. C. Zoldesi, K. Bal, B. Blum, G. Bock, D. Brouns, F. Dhalluin, N. Dziomkina, J. D. A. Espinoza, J. D. Hoogh, S. Houweling, M. Jansen, M. Kamali, A. Kempa, R. Kox, R. Kruif, J. Lima, Y. Liu, H. Meijer, H. Meiling, I. Mil, M. Reijnen, L. Scaccabarozzi, D. Smith, B. Verbrugge, L. de Winter, X. Xiong, and J. Zimmerman. "Progress on EUV pellicle development", *Proc. of SPIE* 9048, Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography V, 90481N, 2014.
6. L. Scaccabarozzi, D. Smith, P. R. Diago, E. Casimiri,

- N. Dziomkina, and H. Meijer, "Investigation of EUV pellicle feasibility", *Proc. of SPIE* 8679, Extreme Ultraviolet (EUV) Lithography IV, 867904, 2013.
7. Y. A. Shroff, M. Leeson, and P. Y. Yan, "High transmission pellicles for extreme ultraviolet lithography reticle protection", *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Vol. 28, No. 6, pp. C6E36-C6E41, 2010.
 8. K. A. Goldberg and I. Mochi, "Actinic characterization of extreme ultraviolet bump-type phase defects", *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Vol. 29, No. 6, 06F502, 2011.
 9. J. R. Fienup, "Phase retrieval algorithms: a comparison", *APPLIED OPTICS*, Vol. 21, No.15, pp. 2758-2769, 1982.
 10. J. E. Kim, S. Hong, J. H. Kim, and J. Ahn, "Manufacturing SiN_x EUV pellicle with HF wet etching process", *Journal of KSDet*, Vol 14, No. 3, pp. 7-11, 2015.
 11. J. Miao, D. Sayre, H. N. Chapman, "Phase retrieval from the magnitude of the Fourier transforms of non-periodic objects", *Journal of Optical Society of America*, Vol. 15, No.6, pp. 1662-1669, 1998.
 12. D. Hellweg, J. Ruoff, A. Herkommer, J. Stuhler, T. Ihl, H. Feldmann, M. Ringel, U. Strobner, S. Perlitz and W. Harnisch, "AIMSTM – the actinic aerial image review platform for EUV masks", *Proc. of SPIE*, 7969, 79690H, 2011.
 13. H. S. Seo, D. G. Lee, H. Kim, S. Huh and B. S. Ahn, "Effects of mask absorber structures on the extreme ultraviolet lithography", *Journal of Vacuum Science & Technology B*, Vol. 26, No. 6, pp. 2208-2214, 2008.
-
- 접수일: 2016년 2월 16일, 심사일: 2016년 3월 2일,
 게재확정일: 2016년 3월 23일