

Attenuated Phase Shift Mask에 광 근접 효과 보정을 적용한 고립 패턴의 해상 한계 분석

Resolution Limit Analysis of Isolated Patterns Using Optical Proximity Correction Method with Attenuated Phase Shift Mask

김종선*, 오용호, 임성우, 고춘수, 이재철
(Jong-sun Kim*, Yong-Ho Oh, Sungwoo Lim, Chun Soo Go, Jai-Choel Lee)

Abstract

As the minimum feature size for making ULSI approaches the wavelength of light source in optical lithography, the aerial image is so hardly distorted because of the optical proximity effect that the accurate mask image reconstruction on wafer surface is almost impossible. We applied the Optical Proximity Correction(OPC) on isolated patterns assuming Attenuated Phase Shift Mask(APSM) as well as binary mask, to correct the widening of isolated patterns. In this study, we found that applying OPC to APSM shows much better improvement not only in enhancing the resolution and fidelity of the images but also in enhancing the process margin than applying OPC to the binary mask. Also, we propose the OPC method of APSM for isolated patterns, the size of which is less than the wavelength of the ArF excimer laser. Finally, we predicted the resolution limit of optical lithography through the aerial image simulation.

Key Words : optical lithography, OPC, attenuated PSM

1. 서론

현재 광리소그래피 기술에서 초고집적회로 패턴닝을 위해 광원으로 KrF (248nm) 또는 ArF(193nm) 엑시머 레이저를 사용하고 있다. 그러나 기가-비트

(giga-bit)급 DRAM의 제작을 위해 필요한 최소 선폭은 이미 광리소그래피 광원의 파장 이하로 작아져 광원이 갖는 해상 한계를 넘어섰다. 또한 DRAM뿐 아니라 ASIC에서도 회로의 동작 특성을 향상시키기 위해서 필요한 최소 선폭은 메모리 분야의 그것과 비슷한 수준이다. 이와 같이 초고집적회로 제작을 위해 필요한 최소 선폭이 광리소그래피 광원의 파장보다 작아짐에 따라, 투영 광학계의 저대역 필터링 효과에 의해 발생하는 광 근접 효과(Optical Proximity Effect, OPE)는 필연적이다. 이러한 OPE는 웨이퍼 상에 패턴을 왜곡시킬 뿐만 아니라 공정 여유도(

*원광대학교 물리반도체학부
(전북 익산시 신용동 원광대학교
Fax : 063-843-2116
E-mail : contra74@popmail.com)
2000년 9월 30일 접수, 2000년 10월 18일 심사완료

process margin) 측면에서도 매우 불리하다.

광리소그래피 기술이 ArF 엑시머 레이저 이후 더 이상 광원을 통한 해결책이 제시하지 못하는 시점에서 광리소그래피를 이용한 초고집적회로의 공정은 마스크 제작 기술에 크게 의존하고 있다. 최근 웨이퍼 상의 패턴의 해상도 및 공정 여유도를 향상시키기 위해 위상 변위 마스크(Phase Shift Mask, PSM), attenuated PSM(APSM), 변형 조명(Modified Illumination)등의 연구가 진행되고 있다[1-4].

광 근접 효과 보정(Optical Proximity Effect Correction, OPC)은 마스크의 모양을 변형하여 OPE를 보정하는 기술이다. OPC 기술은 일반적으로 규칙 위주의 방법(Rule-based Method)과 모델 위주의 방법(Model-based Method)으로 나뉘어진다[5-8]. 규칙 위주의 방법은 목표 이미지에 대하여 보조 패턴을 추가하거나 패턴의 경계 부분의 선을 이동하는 등의 규칙을 미리 정하여 이를 마스크 설계에 반영하는 방법이다. 규칙에 따라 마스크 패턴을 변형하기 때문에 보정 시간이 매우 짧다는 장점이 있다. 하지만 마스크 변형 전에 각 공정 조건에 따른 규칙을 미리 정하여야 하고 공정 조건이 달라짐에 따라 그 규칙 또한 달라지기 때문에 많은 시간과 노력을 필요로 하는 단점이 있다. 반면, 모델 위주의 방법은 마스크 공정 조건에 따른 시뮬레이션을 통해 공간 이미지를 반복적으로 계산하여 최적의 조건을 찾는 방법으로, 계산 시간이 길다는 근본적인 문제를 갖고 있으나 공간 이미지의 모양(fidelity) 및 해상도(resolution) 뿐만 아니라 공정 여유도까지 고려한 정확한 계산이 가능하여 신뢰성이 우수하다.

본 논문에서는 몬테-칼로 기법을 적용한 모델 위주의 OPC[9-11]를 이용하여 통상적인 이진 마스크(binary mask)와 APSM에 대하여 수행하여 공간 이미지 강도 및 공정 여유도를 비교 분석하였다. 또한 APSM에 OPC를 적용한 경우의 해상 한계를 분석 예측하였다.

2. APSM의 OPC적용을 위한 결맞음 인수 및 마스크 투과율 설정

통상적인 이진 마스크, 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우 및 APSM에 OPC를 적용한 경우의 파장 이하 크기의 콘택트 홀에 대하여 그 해상 능력을 알아보기 위해, 그림 1과 같은 패턴의 주기가 콘택트 홀 크기의 10배인 반복 고립 패턴에 대하여 이진 마스크와 APSM에 대하여 광 근접 효과 보정을 수행

그림 1. 시뮬레이션에 사용된 콘택트 홀 패턴

Fig. 1. Shape of the contact hole used in simulation

하였다.

APSM에 OPC를 적용함에 있어서 APSM의 투과율과 스텝퍼(stepper)의 결맞음 인수(coherence factor, σ)는 매우 중요한 공정 조건이다. 이들을 최적화하기 위해 그림 2와 같이 0.15 μ m 콘택트 홀에 대하여 투과율과 결맞음 인수의 변화에 따른 보정된 마스크 모양, 공간 이미지 강도 및 공정 여유도를 살펴 보았다. 공정 변수로 광원은 현재 광리소그래피의 최단파장인 ArF 엑시머 레이저(193nm)와 일반적인 개구수(numerical aperture) 0.5를 가정 하였다. 그림 2 (a)의 경우 결맞음 인수는 APSM의 효과를 극대화 하기 위해 충분히 작은 값($\sigma=0.05$)으로 고정 하였다. 이 경우, 투과율의 변화에 대하여 공간 이미지 강도나 공정 여유도는 큰 변화를 갖지 않았으나 보정된 마스크의 모양은 투과율이 커질수록 더욱 복잡한 모양을 갖는다. 투과율 0.4이상의 보정된 마스크 모양은 매우 복잡하고 픽셀의 모양이 흩뿌려져 있어 전자빔 리소그래피를 이용한 마스크 제작에 어려움이 있을 것으로 보인다. 따라서 마스크 제작의 현실성과 설계 데이터의 크기를 고려하여 투과율 0.2를 선택하였다.

그림 2 (b)는 투과율을 0.2로 고정하고 결맞음 인수의 변화에 따른 보정된 마스크 모양, 공간 이미지

그림 2. 0.15 μ m 콘택트 홀에 대한 APSM OPC

(a) 마스크 투과율에 대한 변화 (b) 조명계의 결맞음 인수에 대한 변화

Fig. 2. Results of the APSM OPC about on 0.15 μ m contact hole

(a) Mask transmission rate variation (b) Coherence factor variation

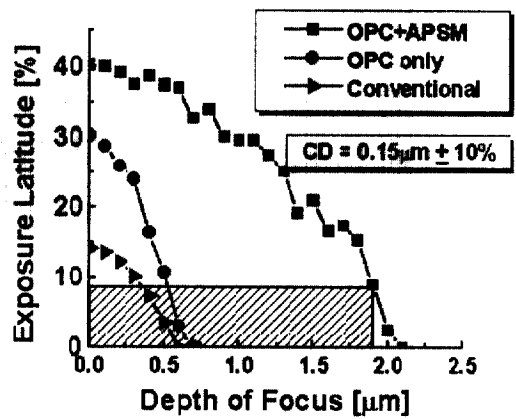
강도 및 공정 여유도를 나타낸다. 결맞음 인수의 변화에 대하여 보정된 마스크 모양은 큰 변화가 없었으나, 결맞음 인수가 작을수록 공간 이미지 강도 및 공정 여유도는 우수한 특성을 보인다. 하지만 결맞음 인수가 작으면 노광량은 제곱으로 작아지기 때문에 생산성이 좋지 않다. 따라서 생산성을 고려한 실질적인 공정에 적용하기 위하여 결맞음 인수 0.3을 선택하였다.

3. OPC를 적용한 APSM 고립패턴의

해상한계 분석

그림 3의 (a)는 0.15 μ m 콘택트 홀 패턴에 대한 이진 마스크, 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우 및 APSM에 OPC를 적용한 경우에 대하여 보정된 마스크 모양과 공간 이미지 강도를 나타낸다. 결과에서 알 수 있듯이 통상적인 이진 마스크의 경우, 공간 이미지의 최대 강도가 매우 작고 경사도가 좋지 않아 패턴의 형성이 불가능 할 것으로 판단된다. 하지만 이진 마스크에 OPC를 적용하면 공간 이미지 최

대 강도는 물론 경사도 역시 크게 향상 됨을 알 수 있다. 또한 APSM에 OPC를 적용한 경우 역시, 이진 마스크만을 사용한 경우에 비교하여 해상도 측면에서 큰 향상을 보인다. 하지만 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우에 비교하면 공간 이미지 최대 강도 및 경사도에 대하여 큰 향상을 기대할 수 없었다. 이 경우의 초점심도(Depth Of Focus, DOF)에 대한 노광 여유도를 그림 3의 (b)에 나타내었다. 일반적으로 노광 여유도 5-10%를 공정 가능 조건으로 본다. 그림 3의 (b)의 공정 창(process window)은 노광 여유도 8% 일 때를 나타낸다. 공정 여유도 측면에서 통상적인 이진 마스크만 사용한 일반적인 경우에 비해, 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우 보다는 APSM에 OPC를 적용한 경우가 공정 여유도에 있어서 매우 큰 향상을 보인다. 공간 이미지 최대 강도 및 공간 이미지 경사도는 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우와 APSM에 OPC를 적용한 경우 큰 차이를 보이지 않았으나, 공정 여유도 측면에서는 전자의 경우가 노광 여유도 8%에서 DOF가 약 0.6 μ m이고, 후자의 경우 약 1.8 μ m로 매우 큰 향상을 보인다. 이는 APSM에 OPC를 적용한 경우가 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우에 비교하여 해상도의 측면에서



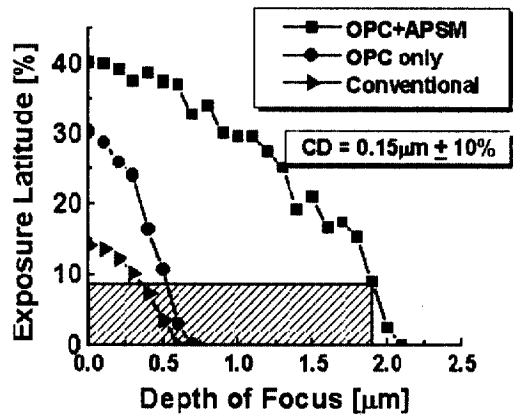
(b)

그림 3. 0.15μm 콘택트 홀의 OPC 결과

(a) 마스크 모양 및 공간 이미지 강도 (b) 공정 여유도

Fig. 3. Mask patterns of 0.15μm contact hole with different OPC strategies

(a) Mask shape and intensity of the aerial image (b) Process margin



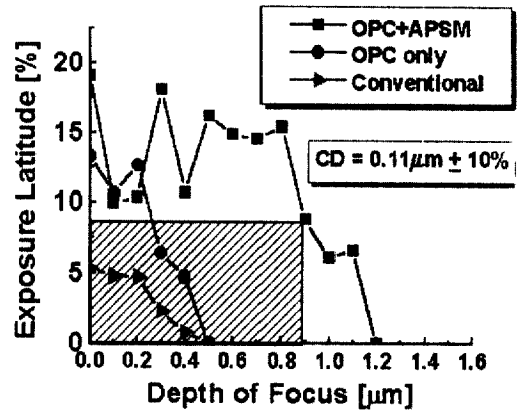
(b)

그림 4. 0.13μm 콘택트 홀의 OPC 결과

(a) 마스크 모양 및 공간 이미지 강도 (b) 공정 여유도

Fig. 4. Mask patterns of 0.13μm contact hole with different OPC strategies

(a) Mask shape and intensity of the aerial image (b) Process margin



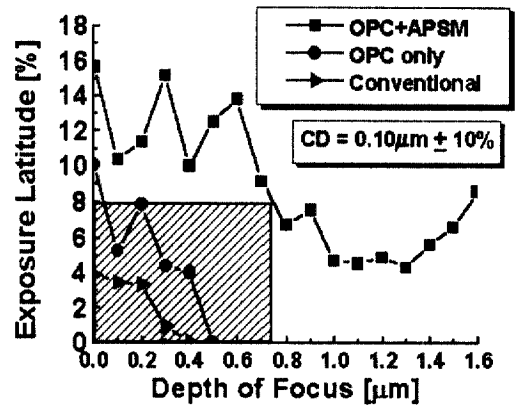
(b)

그림 5. 0.11μm 콘택트 홀의 OPC 결과

(a) 마스크 모양 및 공간 이미지 강도 (b) 공정 여유도

Fig. 5. Mask patterns of 0.11μm contact hole with different OPC strategies

(a) Mask shape and intensity of the aerial image (b) Process margin



(b)

그림 6. 0.10μm 콘택트 홀의 OPC 결과

(a) 마스크 모양 및 공간 이미지 강도 (b) 공정 여유도

Fig. 6. Mask patterns of 0.10μm contact hole with different OPC strategies

(a) Mask shape and intensity of the aerial image (b) Process margin

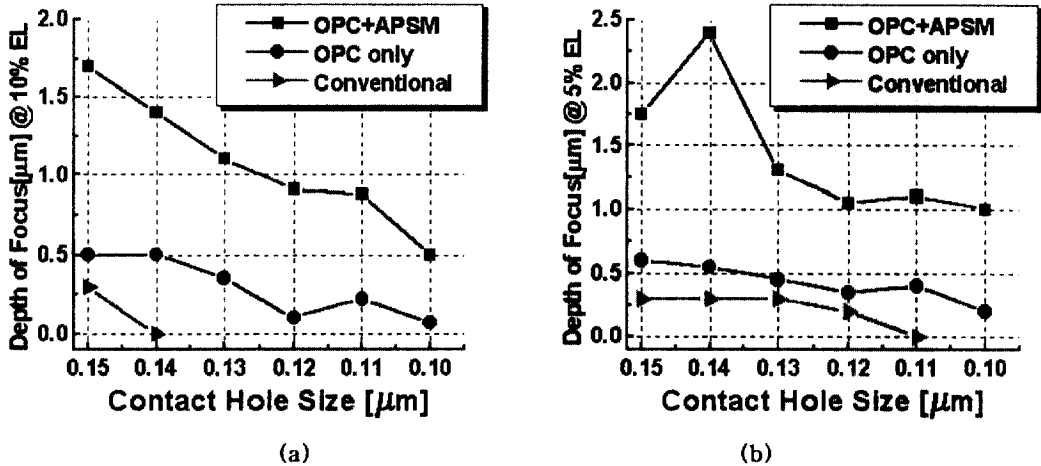


그림 7. 콘택트 홀 크기 변화에 대한 OPC 전후의 DOF
 (a) 노광 여유도 10% 조건 (b) 노광 여유도 5% 조건

Fig. 7. DOF of before and after OPC versus the variation of contact hole size
 (a) Under the 10% exposure latitude (b) Under the 10% exposure latitude

큰 향상을 기대할 수 없지만, 공정 여유도 측면에서 큰 효과가 있음을 나타낸다.

그림 4-그림 6은 콘택트 홀에 대하여 패턴 크기를 0.13 μm , 0.11 μm , 0.10 μm 로 줄여가며 위와 같은 수행을 반복한 결과이다. 모든 패턴 크기에 대하여 이진 마스크만을 사용한 경우 보다 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우가 해상도 측면에 있어서 큰 향상을 보인다. 또한 APSM에 OPC를 적용한 경우 역시, 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우보다 해상도가 향상되었으며 공정 여유도에서 큰 향상을 보인다. 8%의 노광 여유도에 대한 DOF를 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우와 APSM에 OPC를 적용한 경우를 비교하면, 0.13 μm 패턴 크기에 대하여 DOF가 약 0.4 μm 에서 약 1.1 μm 로 향상 되었으며, 0.11 μm 패턴 크기에 대하여 DOF가 약 0.3 μm 에서 0.9 μm 로 향상 되었다. 또한 0.10 μm 패턴 크기에 대하여 DOF가 약 0.2 μm 에서 약 0.75 μm 로 향상 되었다.

이진 마스크에 OPC를 적용한 경우와 APSM에 OPC를 적용한 경우의 보정된 마스크 패턴은 콘택트 홀 패턴에 대하여 원 모양의 보조 패턴이 형성됨을 알 수 있으며, 콘택트 홀 패턴의 크기가 작아 질수록 원 모양을 하는 보조 패턴의 지름이 상대적으로 커짐을 알 수 있다.

그림 7의 (a),(b)는 노광 여유도가 각각 10% 및 5%일 때의 콘택트 홀 패턴의 크기에 대한 DOF를 나타낸다. 이진 마스크만을 사용한 경우, 노광 여유

도가 10%일 때는 물론 5%로 가정해도 파장이하의 패턴 크기에 대하여 공정이 불가능하다. 또한 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우 역시, 노광 여유도 5%에서 0.15 μm 콘택트 홀 패턴의 DOF가 0.6 μm 로 충분한 공정 여유도를 갖지 못한다. 하지만 APSM에 OPC를 적용한 경우는 매우 큰 공정 여유도의 향상을 갖는다. 10%의 노광 여유도에서 0.13 μm 콘택트 홀 패턴이 1.1 μm 의 DOF로 양산 가능한 공정 여유도를 갖으며, 5%의 노광 여유도에서는 0.10 μm 콘택트 홀 패턴이 1.0 μm 의 DOF로 이진 마스크만 사용한 경우 및 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우와 비교하여 매우 향상된 공정 여유도를 갖는다. 따라서 10%의 노광 여유도 및 DOF 1.0 μm 를 공정 가능 조건이라 가정하면, 0.13 μm 이상의 고립 패턴이 해상 가능하며, 5%의 노광 여유도 및 DOF 1.0 μm 에 대해서는 0.10 μm 이상의 고립 패턴이 해상 가능하다 예측된다.

4. 결론

OPC는 광원의 파장 이하 크기의 패턴링에서 필연적으로 발생하는 OPE를 보정하고자 제안 되었다. 0.15 μm 이하의 콘택트 홀에 대한 OPC 시뮬레이션 결과, 이진 마스크에 OPC를 적용한 경우는 공간 이

미지 강도에 있어서 큰 효과를 얻을 수 있었으나, 공정 여유도 측면에서 충분한 향상을 기대할 수 없었다. 본 논문에서는 보다 개선된 OPC 효과를 얻기 위해 콘택트 홀과 같은 고립 패턴에 대하여 APSM에 OPC를 적용하는 방법을 제안하고 이를 통한 해상 한계를 알아 보았다.

APSM에 OPC를 적용함에 있어서, 마스크 제작의 현실성과 공정의 생산성을 고려하여 APSM의 공정 변수를 투과 계수 0.2, 결맞음 인수 0.3으로 설정하였다.

시뮬레이션을 통해 얻은 공정 조건으로 APSM에 OPC를 적용하였으며, 이 경우, 이전 마스크에 OPC를 적용한 경우보다 공간 이미지 강도가 향상될 뿐 아니라 공정 여유도 역시 크게 향상 되었다. APSM에 OPC를 적용한 경우, 10%의 노광 여유도, DOF 1.0 μm 에 대하여 0.13 μm 이상의 콘택트 홀이 해상 가능한 것으로 판단되며, 5% 노광 여유도, DOF 1.0 μm 에 대하여 0.10 μm 이상의 콘택트 홀의 공정이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 1999년 원광대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행하였습니다.

참고 문헌

- [1]. M. D. Levenson, N. S. Viswanathan, and R. A. Simpson., Improving resolution in photolithography with a phase shift mask, IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-29, no. 12, pp. 1828-1836, 1982.
- [2]. Robert J. Socha, Xuelong Shi, Ken Holman, Mircea Dusa and Will Conley, Design of 200nm, 170nm, 140nm DUV contact sweeper high transmission attenuating phase shift mask: experimental result part 2, Proc. SPIE, vol. 3679, pp. 38-54, 1999.
- [3]. T. A. Brunner, Rim phase-shift mask combined with off-axis illumination: a path to 0.5L/NA geometries, Proc. SPIE, vol. 1927, pp. 54-62, 1993.
- [4]. D. M. Newmark, J. Garofalo, and S. Vaidya, Aerial image based design of rim phase-shift masks with annular illumination, Proc. SPIE, vol. 1927, pp. 63-78, 1993.
- [5]. N. Cobb and A. Zakhor, Large area phase-shift mask design, Proc. of SPIE Microlithography Symposium, vol. 2197, pp. 348-360, 1994.
- [6]. N. Cobb and A. Zakhor, Fast, low-complexity mask design, Proc. of SPIE Microlithography Symposium, vol. 2440, pp. 313-327, 1995.
- [7]. O. Otto, J. Garofalo, K. Low, C. Yuan, R. Henderson, C. Pierrat, R. Kostelak, S. Vaidya and P. Vasudev, Automated optical proximity correction a rule-based approach, Proc. of SPIE Microlithography Symposium, vol. 2197, pp. 278-293 1994.
- [8]. J. Stirniman, M. Rieger and R. Gleason, Quantifying proximity and related effects in advanced wafer processes, Proc. of SPIE Microlithography Symposium, vol. 2440, pp. 252-260, 1995.
- [9]. Yong-Ho Oh, Jai-Cheol Lee and Sungwoo Lim, Resolution enhancement through a rule-free optical proximity correction in optical lithography, J. Korean Phys. Soc. Vol. 33, pp. S63-S66, 1998.
- [10]. 이재철, 오용호, 임성우, 광리소그래피에서 최적 모양의 패턴 구현을 위한 포토마스크 역설계, 전자공학회지-C, vol. 34, pp. 1032-1037, 1997.
- [11]. Jai-Cheol Lee, Yong-Ho Oh and Sungwoo Lim, Optimum photomask design for maximum fidelity and process margin with a Monte-Carlo method, Proc. Of 5th International Conference on VLSI and CAD, 1997.