

후면 위상 패턴을 이용한 투과율 조절 포토마스크

박종락†

조선대학교 광기술공학과

☎ 501-759 광주광역시 동구 서석동 375번지

박진홍

삼성전자주식회사 반도체연구소

☎ 449-711 경기도 용인시 기흥읍 농서리 산 24번지

(2003년 7월 24일 받음, 2003년 12월 12일 수정본 받음)

후면의 석영면에 위상 패턴을 형성하여 투과율 조절을 구현한 포토마스크에 대해 보고한다. 위상 패턴의 크기와 패턴 조밀도에 따른 조명 동공의 형태 변화에 관한 이론적 결과와 투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD(critical dimension) 균일도 개선에 관한 실험적 결과에 대해 기술한다. 투과율 조절을 위한 위상 패턴은 패턴이 형성되지 않은 영역에 대해 180°의 상대적 위상을 갖도록 석영면을 식각한 콘택홀 형태의 패턴을 사용하였다. 콘택홀 패턴의 크기가 작을수록 본래의 조명 동공 형태를 유지하게 되며, 동일한 패턴 조밀도에서 더욱 큰 노광 광세기 저하가 일어남을 알 수 있었다. 패턴 조밀도를 위치별로 변화시켜 CD 균일도 개선에 적합한 투과율 분포를 포토마스크 후면에 형성하였다. 투과율 조절 포토마스크를 140 nm 디자인 룰을 갖고 있는 DRAM(Dynamic Random Access Memory)의 한 주요 레이어에 적용하여 CD 균일도를 3σ 값으로 24.0 nm에서 10.7 nm로 개선할 수 있었다.

주제어 : photomask, transmittance controlled mask, lithography, critical dimension, backside patterning.

I. 서 론

반도체 집적소자의 선폭이 작아짐에 따라 CD(critical dimension) 균일도(uniformity)에 대한 요구가 점점 더 엄격해지고 있다.^[1] 웨이퍼 상의 CD 균일도는 감광제(resist) 코팅, 굽기(bake), 현상(development), 식각(etching) 등의 제작 공정과 리소그래피를 위해 사용되는 포토마스크 자체의 CD 균일도, 스텝퍼 혹은 스캐너의 성능에 의해 결정된다. 특히, 웨이퍼 상 CD 균일도에 매우 큰 비중을 차지하고 있는 필드 내 CD 균일도(in-field CD uniformity)는 포토마스크의 선폭 균일도 품질과 스텝퍼 혹은 스캐너와 같은 광 노장 장치의 성능에 의해 가장 큰 영향을 받는다. 디자인 룰(design rule)의 축소에 따라 포토마스크 자체의 CD 균일도의 중요성이 점점 더 부각되고 있으며,^[2] 포토마스크 CD 균일도에 대한 마스크 제작 공정과 마스크 패턴이 형성될 공 마스크(blank mask) 각각의 의존도에 대한 연구 등이 수행되었다.^[3] 광 노장 장치에 의한 CD 균일도의 열화는 광 노장 장치 내에 장착된 광학 소자들에서 발생하는 광 산란에 기인하는 플레어(flare) 등을 중심으로 연구되고 있다. 광 노장 장치의 플레어 측정을 위해 고안된 포토마스크에 대한 보고가 있었으며,^[4] 플레어에 의한 웨이퍼 상의 CD 변화에 대한 실험적, 이론적 연구가 활발히 진행 중이다.^[5]

최근 스캐너를 능동적으로 사용하여 CD 균일도를 보정하는 방법이 보고되었다.^[6] 이 방법에서는 웨이퍼 상의 여러 CD 오차 요인들을 분리, 분석하여 오차 보정에 적합한 dose 분포를 스캐너를 사용하여 만들어 주어 CD 균일도를 향상시켜주고 있다. 슬릿 slit) 방향의 선폭 균일도 개선을 위해서 다양한 형상을 갖고 있으나 좌우 대칭형인 투과율 필터를 사용하고 있으며, 스캔(scan) 방향 선폭 균일도 개선을 위해서 스캔이 진행되는 동안 노광에 쓰이는 레이저의 펄스 에너지를 변화시켜 주는 방법이 사용되고 있다. 미리 결정되어 있는 투과율 분포 중에 적당한 영역만을 사용해야 하며 노광 레이저 시스템의 펄스 에너지를 임의의 방식으로 제어해야만 하기 때문에, 선폭 오차 보정에 한계가 있으며 레이저 펄스 에너지의 능동적 제어가 가능한 고가의 스캐너를 필요로 하는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 후면에 위상 패턴을 형성하여 투과율 조절을 구현한 포토마스크와 이 투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD 균일도 개선 방법에 대해 보고한다. 투과율 조절을 위한 위상 패턴은 패턴이 형성되지 않은 영역에 대해 180°의 상대적 위상을 갖도록 포토마스크 후면의 석영면을 식각한 콘택홀(contact-hole) 형태의 패턴을 사용하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 위상 패턴의 크기와 패턴 조밀도에 따른 노광 광세기(illumination intensity) 및 조명 동공(illumination pupil)의 형태 변화에 관한 이론적 결과에 대해 기술하고, 3장에서는 투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD 균일도 개선에 관한 실험적 결과를 소개하며, 마지막 4장에서 결론을 맺는다.

†E-mail: ejrpark@chosun.ac.kr

II. 포토마스크 후면의 위상 패턴에 의한 조명 조건의 변화

포토마스크 후면의 위상 패턴에 의한 조명 조건의 변화에 대해 살펴보도록 하자. 조명 동공이 집광 렌즈(condenser lens)의 초평면에 위치한 Köhler 조명 조건에서 조명 동공면에서의 전기장과 마스크면에서의 전기장은 서로 푸리에 변환(Fourier transform) 관계에 있다.¹⁷⁻⁹⁾ 따라서 포토마스크 후면의 위상 패턴에 의해 변화된 조명 동공의 모양은 본래 조명 조건의 광세기 분포와 후면 위상 패턴의 푸리에 스펙트럼(파워 스펙트럼)과의 convolution으로 기술될 수 있다. 패턴이 형성되지 않은 영역에 대해 180도의 상대적 위상을 갖는 콘택홀 형태의 위상 패턴에 대한 푸리에 스펙트럼은 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 1에 도시된 것과 같이 포토마스크 후면의 위상 패턴(패턴 I)은 패턴 II와 패턴 III의 convolution으로 분리할 수 있다. 여기서 d 와 p 는 각각 콘택홀 패턴의 크기와 주기를 의미하며, 위상이 0°인 부분의 전기장의 크기를 1, 위상이 180°인 부분의 전기장의 크기를 -1로 놓았다. 또한 패턴 II는 그림 2와 같이 2개의 정사각형 패턴으로 분리할 수 있다. 패턴 II의 푸리에 변환은 다음 식 (1)과 같이 구해진다.

$$F[\text{Pattern II}] = \frac{\sin(\pi fp)}{\pi f} \frac{\sin(\pi gp)}{\pi g} - 2 \frac{\sin(\pi fd)}{\pi f} \frac{\sin(\pi gd)}{\pi g} \quad (1)$$

여기서 (f, g)는 조명 공동 평면에서의 직각 좌표계를 뜻한다. 패턴 III의 푸리에 변환은 다음 식 (2)와 같으며,

$$F[\text{Pattern III}] = \text{comb}(fp) \cdot \text{comb}(gp) \\ = \sum_m \delta(fp - m) \sum_n \delta(gp - n)$$

$$= \frac{1}{p^2} \sum_m \sum_n \delta\left(f - \frac{m}{p}\right) \delta\left(g - \frac{n}{p}\right) \quad (2)$$

convolution 정리에 의해 우리가 궁극적으로 구하고자 하는 패턴 I의 푸리에 변환은 식 (1)과 식 (2)의 곱으로 주어진다.

$$F[\text{Pattern I}] = F[\text{Pattern II}] \cdot F[\text{Pattern III}] \\ = \frac{1}{p^2} \sum_m \sum_n \delta\left(f - \frac{m}{p}\right) \delta\left(g - \frac{n}{p}\right) \cdot \left\{ \frac{\sin(\pi fp)}{\pi f} \frac{\sin(\pi gp)}{\pi g} - 2 \frac{\sin(\pi fd)}{\pi f} \frac{\sin(\pi gd)}{\pi g} \right\} \quad (3)$$

포토마스크 후면 위상 패턴의 파워 스펙트럼은 식 (3)의 절대값의 제곱으로 구할 수 있다. 식 (3)에서 $m=0, n=0$ 인 경우에 대해 후면 위상 패턴의 푸리에 변환 값과 파워 스펙트럼 값은 다음 식 (4)와 같이 구할 수 있는데,

$$F[\text{Pattern I}] \rightarrow \left(1 - 2 \frac{d^2}{p^2}\right) \\ |F[\text{Pattern I}]|^2 \rightarrow \left(1 - 2 \frac{d^2}{p^2}\right)^2 \cong 1 - 4 \frac{d^2}{p^2} \quad (4)$$

이 식은 위상 패턴의 크기가 매우 작아 후면 위상 패턴에 의한 0차 회절 이외의 고차 회절 항을 무시할 수 있고 패턴 조밀도(PD, pattern density = d^2/p^2)가 작은 경우, 위상 패턴에 의한 노광 광세기의 저하는 이론적으로 패턴 조밀도의 4배까지 임을 의미한다. 실제의 경우 고차 항이 0이 아니기 때문에 패턴 조밀도에 대한 노광 광세기 저하 기울기는 4보다 작은 값을 갖게 된다.

그림 3은 콘택홀 패턴의 크기와 패턴 조밀도에 따른 노광

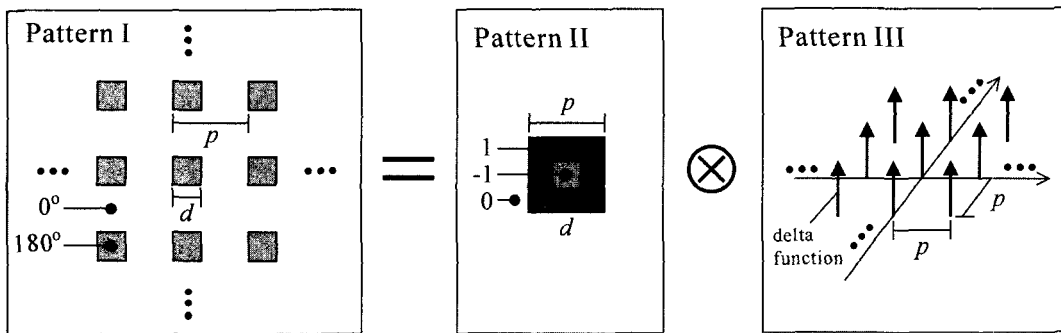


그림 1. 패턴 I의 분리.

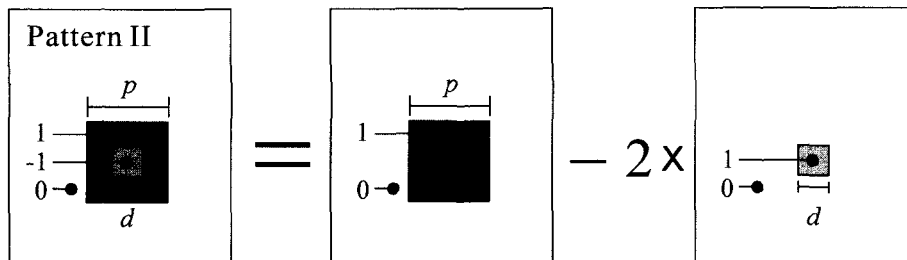


그림 2. 패턴 II의 분리.

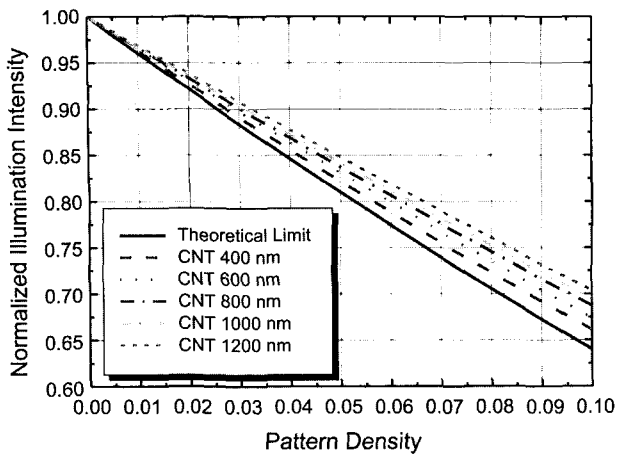


그림 3. 콘택홀 패턴의 크기(CNT)와 패턴 조밀도에 따른 노광 광 세기의 변화. 조명 조건 : 환상형, NA=0.7, $\sigma=0.55/0.85$.

광세기 변화를 계산한 결과이다. 그림에서 CNT는 콘택홀 패턴의 크기를 의미한다. 조명 조건(환상형(annular), NA(numerical aperture)=0.7, $\sigma=0.55/0.85$)에 대한 결과이며, 노광 파장은 248 nm(KrF)로 고정하였다. 앞으로 조명 조건은 (조명 동공의 형태, NA, σ) 순의 규약으로 표현하도록 하겠다. 여기서 NA는 투영광학계(projection optical system)의 개구수를, σ 는 조명계의 공간 결맞음도(degree of spatial coherence)를 뜻한다. 환상형의 경우 σ 값이 두 개가 지정되어 있는데, $\sigma = \sigma_{inner} / \sigma_{outer}$ 의 순으로 표현하였다. 여기서 σ_{inner} 와 σ_{outer} 는 각각 환상형 조명 조건을 규정하는 내부 및 외부 공간 결맞음도 값을 의미한다. 규격화된 노광 광세기(NII, normalized illumination intensity)는 포토마스크 후면의 위상 패턴에 의해 변형된 조명 형태에서 본래 조명 동공 내만의 광세기 분포에 대한 평균값으로 정의하였다. 패턴 조밀도가 커짐에 따라 노광 광세기가 줄어들게 되며, 콘택홀 패턴의 크기가 작아짐에 따라 이론적 극한(위상 패턴에 의한 고차 회절 항은 무시되고 패턴이 형성된 부분과 형성되지 않은 부분 사이의 상쇄간섭만이 일어난다

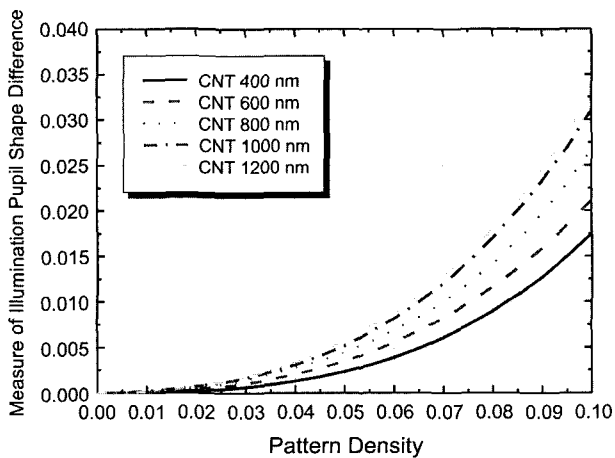


그림 4. 콘택홀 패턴의 크기(CNT)와 패턴 조밀도에 따른 조명 동공 형태 차이 척도에 대한 계산 결과. 조명 조건 : 환상형, NA=0.7, $\sigma=0.55/0.85$.

고 볼 수 있는 극한)에 근접하게 됨을 알 수 있다.

그림 4는 본래의 조명 동공 형태와 포토마스크 후면의 위상 패턴에 의해 변형된 조명 동공 형태 사이의 차이에 대해 계산한 결과이다. 조명 동공 형태 차이에 대한 척도(MIPSD, measure of illumination pupil shape difference)를 다음과 같이 정의하였다.

$$MIPSD \equiv \frac{\sum_{i,j} (A_{ij} - B_{ij}/NII)^2}{\sum_{i,j} A_{ij}^2} \quad (5)$$

여기서 A_{ij} 와 B_{ij} 는 각각 본래의 조명 동공 형태와 변형된 조명 동공 형태를 뜻한다. MIPSD가 커질수록 본래 의도했던 형태에서 조명 동공의 형태가 크게 변화함을 의미하며 포토마스크 후면의 위상 패턴에 의해 포토마스크에 의한 일종의 플레어가 증가된 것으로 생각할 수 있으므로 이 값이 작은 것이 바람직한 방향이다. 콘택홀 패턴의 크기가 작을수록 동일한 패턴 조밀도에서 MIPSD 값이 작음을 알 수 있다.

위의 두 결과를 종합해 보면, 콘택홀 패턴의 크기가 작을수록 작은 패턴 조밀도에서 더 큰 노광 광세기 저하를 유도할 수 있으며 본래의 노광 동공 형태를 유지하는데 유리함을 알 수 있다.

그림 5는 두 극단적인 패턴 조밀도(0.9%, 42.0%)에서 조명 조건 (환상형, NA=0.7, $\sigma=0.55/0.85$)에 대해 계산된 조명 동공 형태의 변화를 보여주고 있다. 패턴 조밀도가 0.9%로 작은 경우에는 환상형 조명 조건을 그대로 유지하면서 노광 광세기만 약 3% 정도 감소되었으나, 패턴 조밀도가 42%로 매우 큰 경우 환상형이 아닌 전혀 다른 형태로 조명 조건이 변형되었음을 알 수 있다. 패턴 조밀도가 50%에 달하는 위상 격자 패턴을 사용하여 변형 조명을 적극적으로 구현하고자 하는 보고가 있었으나,^[10,11] 수 %의 패턴 조밀도를 갖는 위상 패턴을 사용하여 조명 조건의 변화는 되도록 유발하지 않고 노광 광세기만을 조절하고자 하는 본 논문과는 상이한 목적과 구성을 갖고 있다고 하겠다(약 5% 이하의 패턴 조밀도 내에서 실제 공정이 이루어 지고 있음).

그림 6은 포토마스크 후면 패턴이 전면에 영향을 주게 되는 영역을 기하광학적인 방법으로 계산한 결과를 보여주고 있다. 포토마스크의 두께를 t , 굴절률을 n_Q , 광 노광 장치의 축소배율을 M 이라고 할 때,

$$\sin \theta (\equiv \theta) = \frac{NA \cdot \sigma_{outer}}{M} \quad (6)$$

$$\theta' \equiv \frac{\theta}{n_Q} \quad (7)$$

이므로, 포토마스크 후면 위상 패턴을 이용하여 투과율 분포를 조절할 때 구현할 수 있는 공간분해능에 해당하는 R 은 다음과 같이 구해진다.

$$R \cong 2\theta' t \cong 2 \frac{NA \cdot \sigma_{outer} t}{M \cdot n_Q} \quad (8)$$

석영 재질의 6인치 포토마스크의 경우 $n_Q = 1.5 @ 248 \text{ nm}$, $t =$

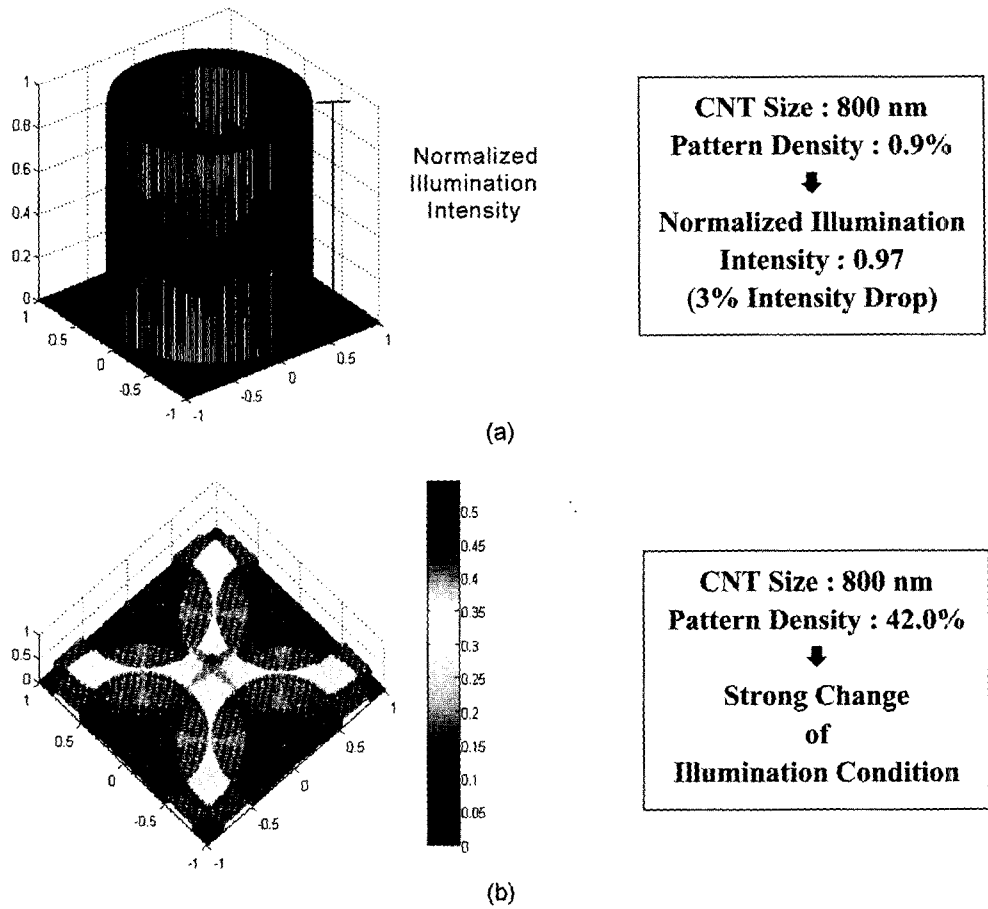


그림 5. 두 극단적인 패턴 조밀도(0.9%, 42.0%)에서 조명 조건(환상형, NA=0.7, $\sigma=0.55/0.85$)와 노광 파장 248 nm(KrF)에 대해 계산된 조명 동공 형태의 변화.

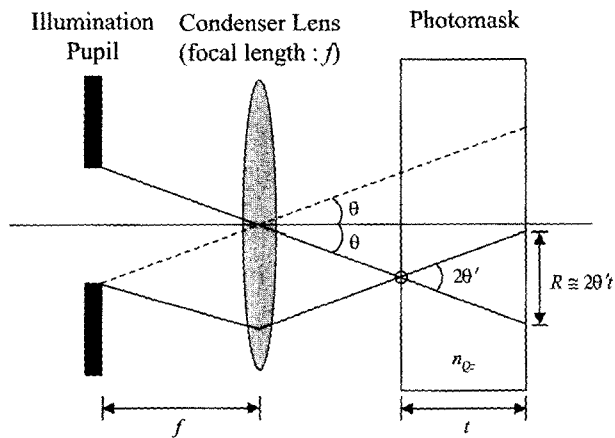


그림 6. 포토마스크 후면 위상 패턴을 이용하여 투과율 분포를 조절할 때 구현할 수 있는 공간분해능에 대한 기하광학적 해석도.

6.35 mm이므로, $M=4$ 인 축소배율을 갖는 광 노광 장치를 사용하여 조명 조건(환상형, $NA=0.7$, $\sigma=0.55/0.85$)로 노광하는 경우, 식 (8)은 약 1.26 mm로 계산된다. 이 결과를 바탕으로 포토마스크 후면의 보정 패턴 설계 시 동일한 패턴 조밀도를 갖는 영역의 최소 크기인 design mesh 크기를 1 mm로 하였다.

그림 7은 투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD

균일도 보정 방법의 개념도이다. 보정을 수행하기 전 먼저 필드 내 CD 균일도(in-field CD uniformity map)와 DL(dose latitude, %dose 변화당 CD 변화량으로 정의됨.)을 측정한다. 이 측정 데이터를 이용해 포토마스크 상에서 어느 영역의 노광 광세기를 몇 %정도($\Delta\%dose$) 낮추어야 필드 내에서 가장 작은 CD 값과 동일한 값을 얻게 될 것인가를 계산할 수 있다(clear CD를 기준으로 할 경우임). 즉, 필드 내 CD 균일도와 DL을 이용해 보정을 위한 포토마스크 상 노광 dose 저하 분포도(map of illumination dose drop distribution)를 얻게 된다. 다음 식 (9)를 참조하라.

$$\Delta\%dose = \frac{\Delta CD}{DL} \tag{9}$$

여기서 ΔCD 는 필드 내 특정 위치에서의 CD 값과 필드 내에서 가장 작은 CD 값과의 차이 값을 뜻한다. 포토마스크 상 dose 저하 분포는 위상 패턴의 조밀도를 포토마스크 후면에 위치별로 변화시켜 구현하게 된다. 이 보정 과정에는 (i) 필드 내 CD 균일도, (ii) DL, (iii) 노광 조건(조명 동공의 형태, NA, σ) 등의 데이터가 필요하며, 노광 조건은 위상 패턴 조밀도에 대한 노광 광세기 저하 기울기(SIID, slope of illumination intensity drop)를 구하는데 사용된다. CD 균일도 보정을 위해 형성될

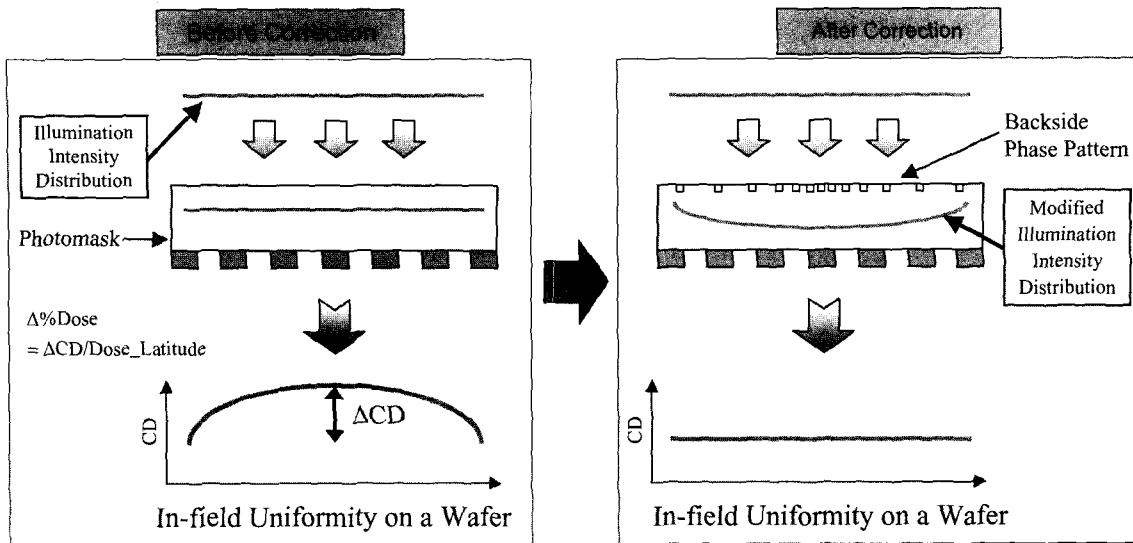


그림 7. 투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD 균일도 보정 방법의 개념도.

포토마스크 후면의 위상 패턴 조밀도는 최종적으로 다음과 같이 표현된다.

$$PD = \frac{\Delta\%dose}{SIID} = \frac{\Delta CD}{SIID \cdot DL} \quad (10)$$

III. 투과율 조절 포토마스크의 제작 및 실험 결과

포토마스크 후면에 감광제(IP3600)를 코팅하고 레이저 마스크 패턴 생성기(laser mask pattern generator, 모델명: ALTA3600)를 사용하여 노광하였고, 현상 후 건식 식각 장비(dry etching machine, 모델명: CP-6000I)를 이용하여 포토마스크 후면 석영면에 위상 패턴을 형성시켰다. 그림 8은 제작된 포토마스크 후면 위상 패턴에 대한 SEM(scanning electron microscope, 모델명: Holon EMU-300) 사진을 보여주고 있다. 콘택홀 패턴의 크기는 공정상 안정적으로 구현할 수 있는 최소 크기인

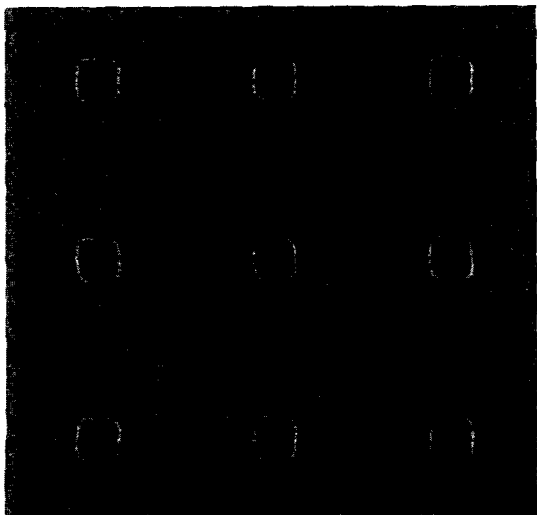


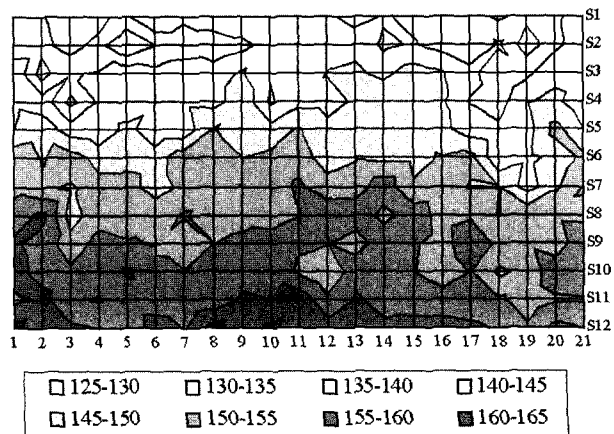
그림 8. 제작된 포토마스크 후면 위상 패턴의 SEM 사진.

800 nm로 선택하였으며, 콘택홀 패턴의 주기를 조절하여 패턴 조밀도를 변화시켰다. 180° 위상차를 유도하기 위해서 노광 파장을 λ라 할 때 식각 깊이 d_{etch} 는 식 (11)을 만족하여야 한다. 일반적인 노광 파장(365, 248, 193 nm)에서 n_{Qz} 는 1.5 정도이므로 식각 깊이는 대략 노광 파장과 같아야 함을 알 수 있다.

$$d_{etch} = \frac{\lambda}{2[n_{Qz}(\lambda) - 1]} \cong \lambda \quad (11)$$

식각 깊이가 평균 248 nm, 균일도 ±5% 이내가 되도록 식각 공정을 구성하였다. 깊이 측정은 AFM(atomic force microscope, 모델명: SNP9000)을 사용하였다.

투과율 조절 포토마스크를 사용한 웨이퍼 상 CD 균일도 보정 방법을 140 nm 디자인 룰을 갖고 있는 DRAM(Dynamic Random Access Memory)의 한 주요 레이어(a critical layer)에 적용하였다. 그림 9는 보정 전의 필드 내 CD 균일도를 보여주고 있다. SEM(모델명: Hitachi S-9300)을 사용하여 21



Avg. : 144.6 nm, 3σ : 24.0 nm, Range : 35.1 nm

그림 9. 보정 전 웨이퍼 상 필드 내 CD 균일도.

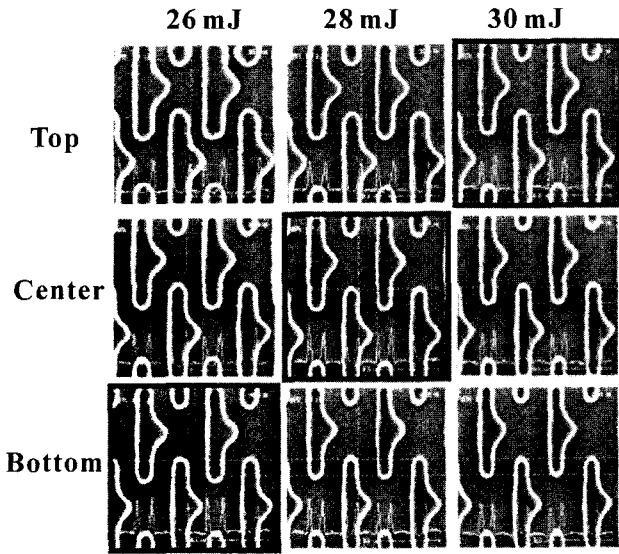


그림 10. 보정 전 필드 내 적정 dose의 차이를 살펴 본 SEM 사진.

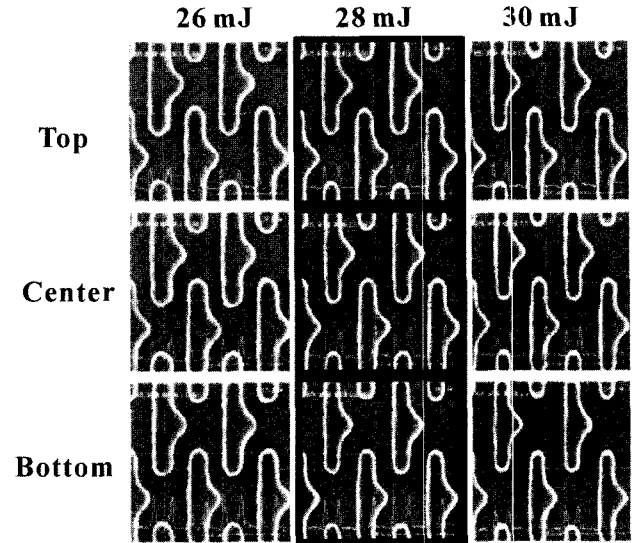
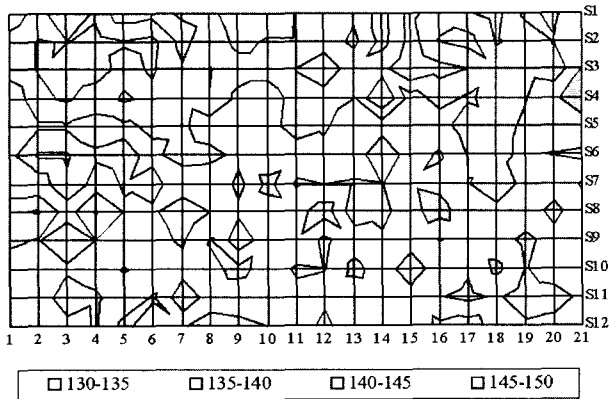


그림 12. 보정 후 필드 내 적정 dose의 차이를 살펴 본 SEM 사진.



Avg. : 140.0 nm, 3σ : 10.7 nm, Range : 18.0 nm

그림 11. 보정 후 웨이퍼 상 필드 내 CD 균일도.

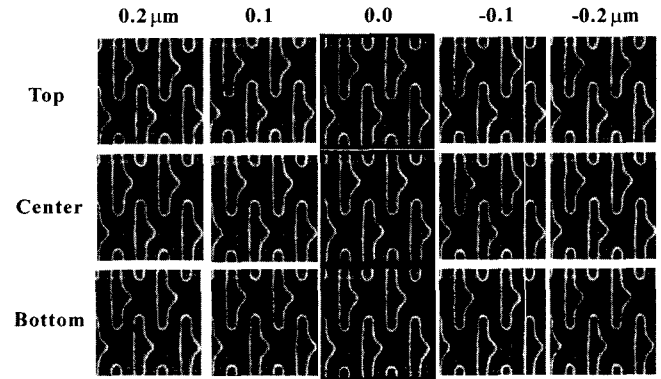


그림 13. 보정 후의 초점심도 마진.

×12 지점에 대해 자동 측정된 결과이다. CD 분포는 평균 144.6 nm, 3σ 24.0 nm, 변동 범위(range) 35.1 nm이었다. 전체적으로 볼 때, 아래방향으로 갈수록 CD가 커지고 있음을 알 수 있다. DL은 1.79 nm/Δ%dose로 측정되었다. 그림 10은 필드 내 적정 dose의 차이를 살펴 본 SEM 사진들이다. 적정 CD가 얻어지는 dose가 필드 내의 상단, 중앙, 하단 위치에 대해 각각 30, 28, 26 mJ로 서로 다른 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 11은 후면 위상 패턴을 이용한 투과율 조절 방법을 사용하여 CD 균일도 보정을 수행한 한 후의 필드 내 CD 균일도를 보여주고 있다. 보정을 위한 SIID 값은 그림 3에서 콘택홀 패턴의 크기 800 nm에 대한 곡선을 선형 맞춤형 기울기인 3.2를 사용하였다. CD 분포는 평균 140.0 nm, 3σ 10.7 nm, 변동 범위 18.0 nm이다. CD 분포가 3σ 값으로 24.0 nm에서 10.7 nm로 약 55% 개선되어 거의 완벽하게 보정 되었음을 알 수 있다. 그림 12는 보정 후 필드 내 적정 dose의 차이를 살펴본 것이다. 그림 10과 비교하여 볼 때, 필드 내의 위치에 상관없이 동일 dose(28 mJ)에서 적정 CD가 모두 얻

어지고 있음을 알 수 있다. 그림 13은 보정 후 초점심도 마진(DOF margin, depth of focus margin)을 살펴 본 것이다. 약 0.4 μm 정도의 초점심도 마진을 확보할 수 있었으며, 초점심도 마진측면에서 보정 전후 간의 유의차는 없었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 후면 위상 패턴을 이용하여 투과율 조절을 구현한 포토마스크와 이 투과율 조절 포토마스크를 사용하여 웨이퍼 상 CD 균일도를 개선한 실험적 결과에 대해 기술하였다. 투과율 조절을 위해 포토마스크 후면의 석영면을 콘택홀 형태로 식각하여 180°의 상대적 위상을 갖는 위상 패턴을 형성하였다. 위상 패턴의 크기와 패턴 조밀도에 따른 노광 광세기 및 조명 동공 형태 변화에 관한 이론적 연구를 수행하여 콘택홀 패턴의 크기가 작을수록 본래의 조명 동공 형태를 유지하게 되며, 동일한 패턴 조밀도에서 더욱 큰 노광 광세기 저하가 일어남을 알 수 있었다. 포토마스크 후면 패턴 형성 공정 조건을 감안하여 안정적으로 구현할 수 있는 가장 작은 크기인 800 nm 콘택홀 패턴을 이용하고, 콘택홀 패턴의 주기를 조절하여 패턴 조밀도를 위치별로 변화시켜 CD 균일도 개

선에 적합한 투과율 분포를 포토마스크 후면에 형성하였다. 투과율 조절 포토마스크를 140 nm 디자인 룰 DRAM의 한 주요 레이어에 적용하여 CD 균일도를 3σ 값으로 24.0 nm에서 10.7 nm로 개선할 수 있었다. 다양한 디자인 룰의 여러 DRAM 레이어에 본 투과율 조절 포토마스크를 적용하여 모든 경우에 대해 필드 내 CD 균일도 향상을 확인할 수 있었으며, 양산 공정 적용을 위해 모든 보정 과정을 자동화하였다. 현재 투과율 조절 포토마스크의 ArF(193 nm), F₂(157 nm) 공정 적용을 위한 연구 개발이 진행 중에 있다.

참고문헌

- [1] ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) 2002 Update: <http://public.itrs.net/>.
- [2] S. Y. Zinn, S. W. Lee, S. W. Choi, and J. M. Sohn, "Simulation of critical dimension error using Monte Carlo method and its experimental verification," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 20, no. 6, pp. 2606-2609, 2002.
- [3] Y. H. Choi, J. R. Park, M. G. Sung, S. H. Yang, S. H. Kim, H. J. Lee, J. Y. Lee, I. Y. Jang, Y. H. Kim, S. W. Choi, H. S. Yoon, and J. M. Sohn, "A simple method for separating and evaluating origins of a side error in mask CD uniformity: Photomask Blanks and Mask-making Processes," in *22nd Annual BACUS Symposium on Photomask Technology*, B. J. Grenon and K. R. Kimmel, Ed., Proc. SPIE, vol. 4889, pp. 819-825, 2002.
- [4] T. M. Jeong, S. W. Choi, W. S. Han, I. K. Shin, D. H. Chung, S. H. Kim, H. D. Kim, and J. M. Sohn, "Characteristics of the Linewidth Variation due to Flare and Its Dependency on Optical Parameters," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 41, no. 6B, pp. 4060-4064, 2002.
- [5] T. M. Jeong, S. W. Choi, J. R. Park, W. T. Ki, J. M. Sohn, S. W. Lee, H. J. Kang, S. G. Woo, and W. S. Han, "Flare in Microlithographic Exposure Tools," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 41, no. 8, pp. 5113-5119, 2002.
- [6] J. V. Schoot, O. Noordman, P. Vanoppen, F. Blok, D. Yim, C. H. Park, B. H. Cho, T. Theeuwes, and Y. H. Min, "CD Uniformity Improvement by Active Scanner Corrections," in *Optical Microlithography XV*, A. Yen, Ed., Proc. SPIE, vol. 4691, pp. 304-314, 2002.
- [7] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier optics* (McGraw-Hill, Singapore, 1996), pp. 96-125.
- [8] A. K. Wong, *Resolution Enhancement Techniques in Optical Lithography* (SPIE Press, Washington, USA. 2001), pp. 31-70.
- [9] J. R. Park, S. H. Kim, H. Lee, I. Y. Jang, Y. H. Choi, S. H. Yang, J. Y. Lee, Y. H. Kim, S. W. Choi, H. S. Yoon, and J. M. Sohn, "Analytical Approach to X-Phenomenon in Alternating Phase-Shifting Masks," in *22nd Annual BACUS Symposium on Photomask Technology*, B. J. Grenon and K. R. Kimmel, Ed., Proc. SPIE, vol. 4889, pp. 1209-1216, 2002.
- [10] H. J. Yoo, Y. H. Oh, B. S. Park, S. S. Choi, Y. J. Jeon, C. Lee, and S. C. Park, "Lithographic Performance Enhancement Using Dummy Diffraction Mask," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, no. 12B, pp. 5903-5908, 1993.
- [11] D. Yim, S. Lee, S. Lee, Y. H. Oh, H. B. Chung, and H. J. Yoo, "Effect of Degree of Coherence in Optical Lithography Using Dummy Diffraction Mask," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 35, no. 2A, pp. 780-785, 1996.

Transmittance controlled photomasks by use of backside phase patterns

Jong Rak Park[†]

Department of Photonic Engineering, Chosun University, 375 Seosuk-dong, Dong-gu, Gwangju 501-759, KOREA

[†]E-mail: ejrpark@chosun.ac.kr

Jin-Hong Park

Samsung Electronics Co., LTD., San #24 Nongseo-Ri, Giheung-Eup, Yongin, Kyunggi-Do 449-711, KOREA

(Received July 24, 2003, Revised manuscript December 12, 2003)

We report on a transmittance controlled photomask with phase patterns on the back quartz surface. Theoretical analysis for changes in illumination pupil shape with respect to the variation of size and density of backside phase patterns and experimental results for improvement of critical dimension uniformity on a wafer by using the transmittance controlled photomask are presented. As phase patterns for controlling transmittance of the photomask we used etched contact-hole type patterns with 180° relative phase with respect to the unetched region. It is shown that pattern size on the backside of the photomask must be made as small as possible in order to keep the illumination pupil shape as close as possible to the original pupil shape and to achieve as large an illumination intensity drop as possible at a same pattern density. The distribution of illumination intensity drop suitable for correcting critical dimension error was realized by controlling pattern density of the contact-hole type phase patterns. We applied this transmittance controlled photomask to a critical layer of DRAM (Dynamic Random Access Memory) having a 140-nm design rule and could achieve improvement of the critical dimension uniformity value from 24.0 nm to 10.7 nm in 3σ .

OCIS codes : 220.3740, 220.4000.