

論文94-31A-7-8

Optical Stepper의 이중노광에 의한 미세한 포토리저스트 패턴의 형성

(Very Fine Photoresist Pattern Formation using Double Exposure of Optical Wafer Stepper)

楊典旭*, 金鳳烈**, 朴喆淳*, 朴亨茂*.

(Jeon Wook Yang, Bong Ryul Kim, Chul Soon Park and Hyung Moo Park)

要約

본 연구에서는 광학 리소그래피 방법을 적용하여 기존의 노광방법에서 얻어지는 해상도보다 더 작은 패턴을 형성할 수 있는 이중노광에 의한 패턴 형성방법을 제안하였다. 패턴의 이동에 의한 이중노광방법은 보다 큰 패턴의 가장자리 contrast를 미세패턴의 가장자리로 옮겨 미세패턴의 contrast를 개선시키도록 한다. I-line 스텝퍼의 노광에 의한 포토리저스트막의 광강도분포를 모사한 결과 0.3um 패턴의 차단영역에서 단순노광의 경우 16.5%인 광투과도를 이중노광에서 9% 이하로 감소시키며 contrast의 증가를 나타내었다. 제안된 방법으로 패턴을 형성한 결과 0.2um와 0.3um의 미세한 패턴형성이 가능하였으며 이들 패턴은 감광막의 두께손실이 없고 수직인 측면형상을 나타내었다. 이 패턴의 초점이탈에 따른 형상의 변화를 관찰한 결과 0.3um 패턴의 경우 1.6um 이상의 공정의 여유도를 확인하였다. 이와 함께 형상반전공정에 활용하여 0.3um의 음각패턴도 구현하였다.

Abstract

A very fine pattern formation process using double exposure is investigated, which can overcome the resolution limit of optical wafer stepper. The very fine pattern can be obtained by moving the edge profile of large pattern by means of moving the stepper stage. The simulation results show that the light transmittance decrease below 9%, and the contrast increase to 16.6% for the 0.3um photoresist pattern exposed by the double exposure using i-line wafer stepper. And, the experimental results show that fine photoresist pattern as short as 0.2um can be obtained without a loss of photoresist thickness. Also, it proves that the depth of focus for 0.3um pattern is longer than 1.5um. And, the very fine negative photoresist pattern was formed by using the double exposure technique and the image reversal process.

*正會員, 韓國電子通信研究所
(Electronics and Telecommunications
Research Institute)

**正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)
接受日字: 1993年 10月 18日

1. 서론

GaAs MESFET의 특성은 게이트 길이에 의해 크게 좌우되기 때문에 게이트길이를 감소시키기 위해 여러가지 방법을 적용한다. 일반적으로 광학적 stepper의 적용은 0.5 μ m 게이트길이 MESFET의 제작이 가능하나 그 이하의 게이트 형성은 쉽지않다. 따라서 미세한 패턴의 제작을 위한 방법으로 stepper를 적용할 경우 excimer laser등과 같이 파장이 짧은 광원을 이용하거나^[1,2] 위상 shift 방법을 적용할수 있다.^[3,4] 이들 방법은 좀더 미세한 패턴의 형성이 가능하지만 근본적으로 극히 미세한 패턴의 형성은 광원의 파장 등에 의해 제한된다. 이와 달리 X-선이나^[5,6] E-beam을 광원으로 이용한 방법^[7,8]은 0.1 μ m 이하의 패턴 형성도 가능하지만 through-put 과 장비면에서 효율적이지 못하다.

일반적으로 stepper의 노광시 패턴 가장자리에서 빛의 contrast는 패턴의 크기가 커짐에 따라 크게 나타나므로 패턴의 정확한 정의가 가능하다. 본 연구에서는 이를 이용하여 패턴을 이중노광 하므로써 미세한 형상을 형성할수 있는 방법을 제안하고 빛의 분포를 모사하였으며 0.2 μ m 형상을 형성하였다.

II. 본론

1. 노광된 패턴의 이미지

레지스트막에 빛을 노광했을때 레지스트막이 감광되는 정도는 여러가지 조건에 영향을 받는다. 이들 조건은 레지스트막의 특성과 노광장치의 구성 및 광원의 종류 등 여러가지가 있는데 특히 노광장치와 광원은 광학적인 해상도를 결정한다.

일반적으로 stepper와 같은 광학계에서 상분해능(R: resolution)은 Rayleigh의 판정에 의해 다음과 같이 정의된다.^[9]

$$R = k (\lambda / NA)$$

여기에서 k는 일반적으로 평탄면에서 0.6으로 나타나는 공정에 따른 factor이며, λ 는 광원의 파장, NA는 lens의 개구수(neumerical aperture)이다. 따라서 광원의 파장이 작고 NA가 클수록 해상도는 개선될수 있으나 사용할수 있는 광원의 파장과 lens가 제한되어 있어 해상도를 임의로 줄일수는 없다.

광원을 노광했을때 레지스트막에 나타나는 빛의 contrast는 패턴의 가장자리에서 변화를 나타내게 되는데 패턴 형성을 정확하게 할수 있도록 하기 위해

서는 보다 큰 contrast가 필요하다. 이때 contrast는 최대의 image(I_{max})와 최소의 image값(I_{min})으로 부터 $((I_{max}-I_{min})/(I_{max}+I_{min}))$ 로 나타낼수 있는데 현상되는 레지스트막의 특성에 따라 달라질수 있으나 0.8 보다 작을 경우 현상이 어렵게되어 해상도를 결정하는 요인이 된다. Contrast는 독립형 상일 경우 같은 거리의 선과 간격이 반복되는 경우보다 더 크게 나타날수 있으나 모두 패턴의 크기가 감소함에 따라 매우 감소한다. (그림 1)은 광원이 i-line 이고 NA가 0.4인 광학적 stepper를 이용했을때 노광에 의해 마스크상의 패턴크기에 따라 레지스트막에서 나타나는 빛의 강도를 모사한 결과이다.

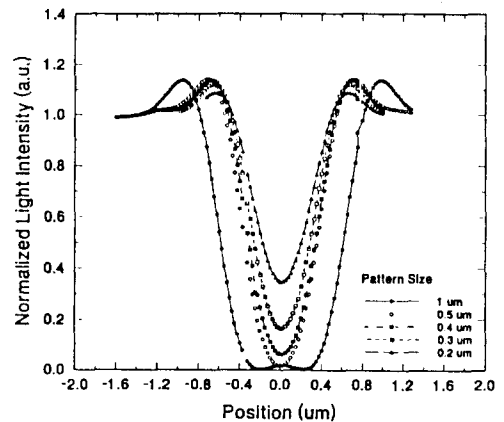


그림 1. I-line stepper(NA=0.4)를 이용했을때 노광에 의해 레지스트막에 나타나는 빛의 강도 모사결과

Fig. 1. Simulated light intensity profiles on resist when light was exposed using i-line wafer stepper(NA=0.4).

여기에서 보면 패턴의 크기가 작아짐에 따라 contrast가 작아지며 미세한 패턴에서는 contrast가 적어 현상할때 패턴의 형성이 쉽지 않음을 알수 있다. 특히 0.3 μ m의 패턴에서는 차단된 영역에서도 16.5%이상의 광투과율을 나타내고 있으며 0.2 μ m 패턴은 34.7%의 투과율을 보여 형상의 형성이 어렵다.

2. 이중노광에 의한 패턴의 형성

광학 리소그라피에 의해 미세한 패턴을 노광하면 패턴 가장자리의 contrast가 부족하게 되므로 미세형상의 형성이 쉽지않다. 그러나 형상이 클경우 contrast는 미세형상보다 크게되며 형상의 형성이 쉽고 현상된 레지스트 모양은 sharp한 가장자리 모양을

나타내게 된다. 이를 이용하여 다음과 같이 적용하면 극히 미세한 형상의 형성이 가능하다.

레지스트막은 노광에 의해 감광되기 때문에 감광되는 영역을 임의로 정의할수 있으면 패턴의 크기를 임의로 조절할수 있다.

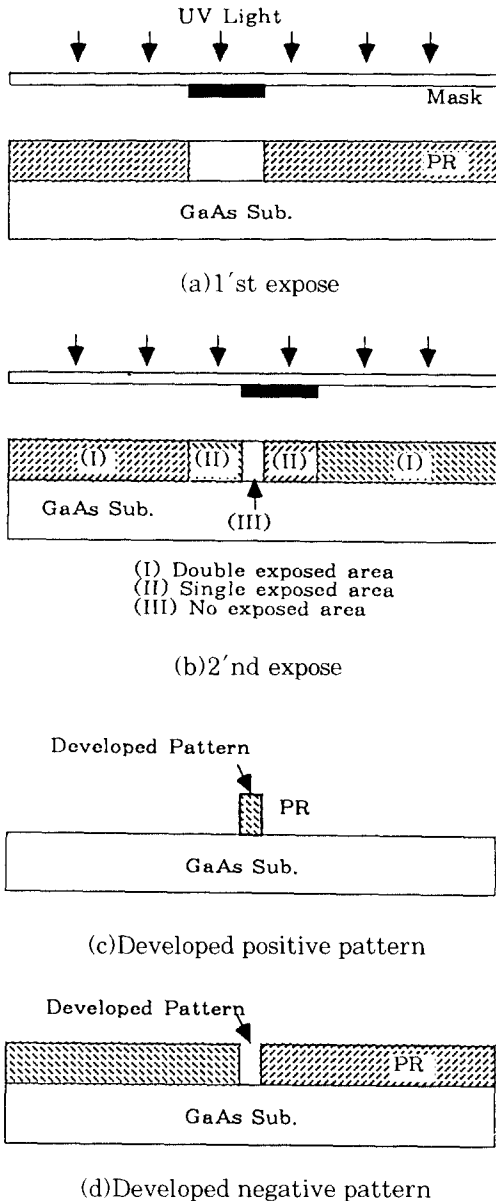


그림 2. 이중노광에 의해 구분되는 레지스트막의 세가지 다른 노광영역
Fig. 2. Three different exposed resist areas by double exposure process.

즉, 다음과 같은 이중노광에 의해 극히 미세한 패턴의 형성이 가능하다. 먼저 (그림 2)의 (a)와 같이 1차 노광에 의해 노광되는 영역을 한번 정의하고 노광영역을 이동시켜 (b)와 같이 다시 노광하면 두번 노광하는 동안 레지스트막은 두번 노광되는 부분과 한번 노광되는 부분. 노광이 안되는 부분의 세가지 영역이 나타나며 이를 현상하면 (c),(d)와 같이 된다. 여기에서 레지스트막의 비노광 영역은 이차노광시 이동하는 정도에 따라 정해진다. 위의 묘사된 contrast를 보면 0.3 μ m 이하의 형상을 광학 stepper의 노광에 의해 정의하기가 어렵지만 contrast와 edge slope이 좋은 패턴을 이동시켜 다시 노광하면 레지스트막에서 노광된 패턴의 가장자리 노광상태는 좋은 패턴의 노광상태와 같아져 매우 critical한 패턴의 형성이 가능하다.

이와같이 레지스트막을 노광시키면 패턴의 크기는 이차노광을 위해 이동시킨 거리에 의해서 정해지며 패턴의 가장자리 contrast는 마스크상의 패턴의 크기에 따라서 마스크에서 패턴의 크기를 크게하므로서 contrast를 강조하고 이차노광시 패턴의 크기보다 실제 형성하고자 하는 패턴의 크기를 감한 거리를 이동시켜 노광하므로서 극히 미세한 크기의 패턴 형성이 가능하다. (그림 3)은 1.2 μ m 패턴을 노광하고 0.9 μ m 이동시켜 다시 노광했을때와 1.0 μ m를 이동시켜 노광했을때 레지스트막에 나타나는 빛의 강도분포, 미세한 패턴을 단일노광했을때 강도를 나타낸 것이다.

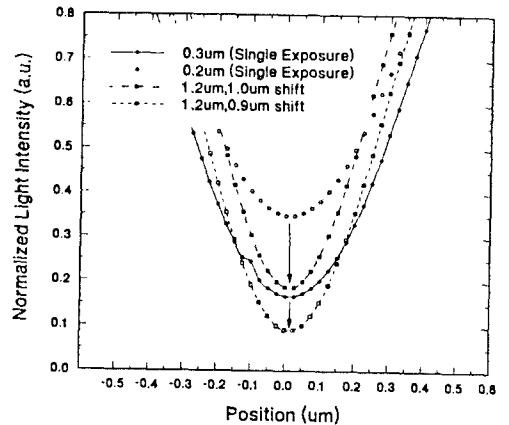


그림 3. 독립형상의 단일노광에 의한 레지스트막의 노광강도와 이중노광에 의한 레지스트막의 광강도 분포
Fig. 3. Light intensity profiles of single exposed and double exposed photoresists.

여기에서 패턴의 edge slope은 매우 개선되어 노광영역이 현저히 감소하였으며 최소강도가 매우 줄어들어 (그림 4)에 나타난 바와 같이 contrast가 0.3um 패턴의 경우 0.716에서 0.835로 증가하고 0.2um 패턴의 형성조건에서도 0.484에서 0.686으로 증가하여 보다 미세한 패턴형성이 가능한것으로 나타나고 있다.

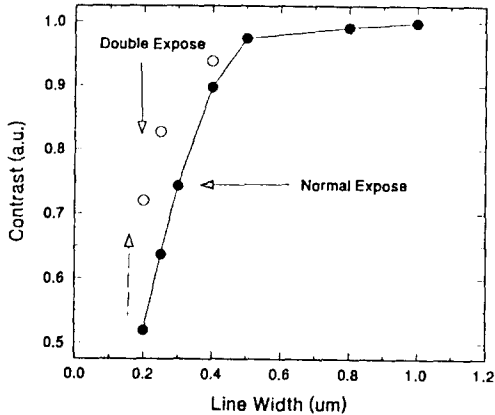


그림 4. 패턴의 크기에 따른 레지스트막의 contrast 변화

Fig. 4. Contrast variation of photoresist on pattern size.

3. Stepper의 기관정렬 운송 기구

빛의 강도분포로부터 이중노광방법을 적용하므로써 매우 미세한 패턴을 용이하게 형성할수 있음을 확인할수 있는데 여기에서 형성할수 있는 패턴의 크기는 이차노광시 위치이동에 의해 정의되므로 광원의 파장 등과 같은 광학적 요소에 대한 의존하는것 보다 위치이동의 정확도에 의존한다. 따라서 패턴 형상의 재현성을 위해서 매우 정교한 stepper의 이동이 필요하다. Stepper를 이용하여 패턴을 형성하는 과정은 (그림 5)와 같다. 먼저 기관과 레티클(마스크)을 각각의 정렬기구를 이용하여 스텝퍼의 노광 계통에 일치시킨다. 이때 레티클과 기관은 거시적으로 정렬되어 패턴의 위치를 정확히 찾을수 있도록 한다. 1차 정렬이 끝나면 기관은 다시 칩에 새겨진 미세정렬 마크를 이용하여 정밀한 정렬을 하도록 되어있다. 여기에서 정렬과정을 보면 기관에 새겨진 정렬마크에 레이저를 주사하고 반사된 신호로부터 위치를 인식하게된다. 이는 레티클과 비교되어 나타난 오차만큼 stage가 이동하므로써 패턴이 전사되는 위치로 정해지게 된다. 이때 stepper 각각의 기구를 보면 오차가 발생할수 있는 두 부분이

있는데 기관의 정렬에 따른오차와 stage의 이동 및 위치에 따른 정확도가 그것이다. 기관의 정렬에 따른 오차는 렌즈계의 전사에 따른 형상의 변형이나 기관의 왜곡된 상태 등에 따라 나타날수 있으며 일반적으로 $\pm 0.1\mu\text{m}$ 내외의 값을 나타낸다. 이와함께 노광 위치에 기관이 정확히 위치하도록 하기 위해서 stage의 위치를 정확히 하여야 하는데 stage의 이동에 따른 위치의 정확도는 레이저 간섭계 시스템에 의해 좌우된다. 레이저는 source에서 나온 두개의 레이저 빔이 split되어 reference mirror와 stage mirror에 입사되고 반사되는데 stage의 이동에 따른 dopler이동을 나타내 주파수변화를 보이며 이는 기준 주파수와 비교되어 위치를 인식하도록 되어있다.^[10] 따라서 정확한 위치를 찾기 위해서는 이들 계통이 정밀해야 한다. 특히 mirror의 평활도는 정확도를 좌우하며 보통 $\lambda/16 \sim \lambda/128$ 의 mirror를 이용한다. 본 연구에서 적용한 stepper laser 시스템의 resolution은 $0.04\mu\text{m}$ 이나, 최근에는 소자제작에 보다 정밀한 시스템이 이용되고 있으며 위치이동에 따른 광학적 stepper의 위치를 인식하는 분해능이 100\AA 이하이고 stage 운동 분해능이 250\AA 이하로 제작되어 발표된바 있다.^[11] 이러한 기계적인 장비의 정확도는 성능개선에 따라 좀더 개선될수 있을 것이다.

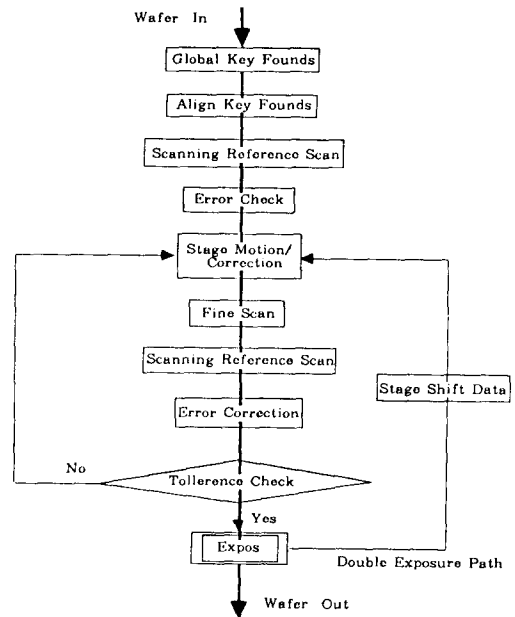


그림 5. Stepper에서 기관정렬 및 노광의 흐름도
Fig. 5. Flow chart of wafer alignment and exposure in stepper.

본 연구에서 제안한 노광은 이와같은 정렬과 stage의 움직임에 따른 노광과정중 기관의 정렬과 노광후 그림에서 나타난 또다른 경로를 통하여 기관의 위치를 옮긴후 다시 노광하는 단계를 지난다. 따라서 이차노광은 위치의 지정과 stage의 움직임에만 의존하므로 오차의 발생이 이들값 이내로 최소화 될수 있다.

4. 미세패턴의 형성

앞에서 논의된 이중노광방법에 의해 미세한 패턴을 형성하기 위하여 다음과 같이 실험하였다. 먼저 기관 위에 positive 포토레지스트를 회전도포하고 노광전 열처리를 한후 NA가 0.4인 i-line 스텝퍼를 이용하여 제안된 방법으로 노광하였다. 이때 단일 노광조건과 같이 168mJ/cm²의 에너지로 노광하였으며 노광후 NMD-W 현상액과 증류수를 혼합하여 85%로 희석한 용액으로 현상하고 단면형상을 전자현미경으로 관찰하였다.



(a)



(b)

그림 6. 이중노광에 의해 형성된 미세패턴의 전자현미경 사진 (a)1.2um 등간격 패턴 노광후 0.9 um. 이동하여 노광하므로써 형성된 패턴과, (b)1.2um 등간격 패턴 노광후 1.0 um 이동하여 노광하므로써 형성된 패턴

Fig. 6. Scanning electron micrograph of fine pattern formed by double exposure process. (a)2'nd exposed after 0.9um motion of equal line/spaced resist pattern of 1.2um. (b)2'nd exposed after 1.0um motion of equal line/spaced resist pattern of 1.2um.

(그림 6)은 1.2um의 등간격 선패턴을 노광한후

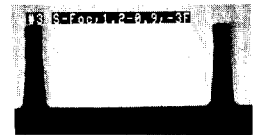
1um와 0.9um를 이동하여 다시노광하므로써 이중노광하여 현상된 레지스트 패턴의 단면 SEM사진이다. 이중노광에 의해 형성된 패턴은 박막두께의 손실 없이 0.2um와 0.3um 패턴이 잘 형성되어 있으며 패턴의 측면 형상도 매우 첨예한 형상으로 나타나 있다. 이와같은 패턴을 소자의 제작에 적용하기 위해서는 초점심도(depth of focus: DOF)가 커야하는데 스텝퍼의 DOF는 다음과 같이 나타낼수 있으며 이는 공정의 여유도와 같이 생각할수 있다. ^[12]

$$DOF = \pm \frac{k \cdot \lambda}{(2(NA)^2)}$$

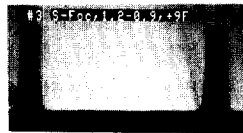
여기에서 나타낸 바와 같이 형상이 작아지면 DOF도 작아지며 스텝퍼의 해상도도 따르지 못한다. 본 연구에서 적용한 장비의 DOF는 0.7um 패턴에서 1.6um 이고 패턴의 크기가 작아지면 크게 감소한다. 따라서 미세패턴의 형성이 어려울뿐 아니라 응용이 현실적이지 못하다. (그림 7)은 -0.6um에서 +1.2um로 초점을 변화시켰을때 패턴의 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 0.3um 형상은 1.6um 이상의 초점범위에서 같은 형상을 나타내고 있어 패턴의 적용력이 뛰어난을 알수 있다. 이는 0.2um 패턴의 경우에서도 0.8um 이상의 범위를 나타낸다.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 초점이탈에 따른 0.3 um 레지스턴 패턴의 형상 변화 (a)Defocus: -0.6um, (b) Defocus: -0.3um, (c)Defocus: +0.9um, (d)Defocus : +1.2um

Fig. 7. Various shapes of resist pattern on defocus. (a)Defocus: -0.6um, (b) Defocus: -0.3um, (c)Defocus: +0.9um, (d)Defocus: +1.2um.

이와같은 패턴의 형상은 negative형상도 같은 결과를 보인다. (그림 8)은 AZ5214E 레지스트를 제안된 방법을 이용하여 형상반전공정으로 형성한 패턴인데 1um 패턴을 노광한후 0.7um shift하고 재 노광하여 형성한 것이다. 여기에서 보면 0.3um의 패턴이 측면 형상과 두께손실이 없이 형성되어있는 것을 알 수 있으며 이는 공정의 적용이 양각의 패턴뿐 아니라 음각의 패턴도 가능함을 나타낸다.

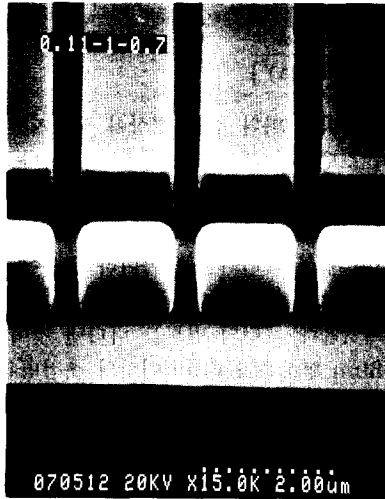


그림 8. 이중노광에 의해 형성된 음각의 0.3 um. 패턴

Fig. 8. Negative resist profile of 0.3 um pattern formed by double expose process.

본 공정의 결과는 제안된 방법을 이용하여 미세한 형상할수 있는 것을 보인 것으로 공정조건을 보다 정확히 설정함으로써 좀더 미세한 패턴을 형성할수 있을 것이다. 이와같은 패턴의 형성은 MESFET의 게이트 형상 또는 배선 등과 같은 미세형상의 형성시 적용이 가능하며 이는 또한 DOF가 큰 0.3um의 미세형상과 0.2um 패턴의 형성이 가능하기 때문에 여러가지 소자제작 공정에 적용될수 있을 것이다.

Ⅲ. 결 론

본 연구에서는 광학 스텝퍼의 이중노광에 의해 빛의 파장과 렌즈의 특성에 따라 얻어지는 해상도보다 더 작은 패턴을 형성할수 있는 방법을 제안하였다. NA가 0.4인 i-line 스텝퍼를 이용한 미세패턴의 노광시 레지스트막에서 나타날수 있는 빛의 분포에서

감광막에서 0.3um 패턴이 나타내는 16.5%의 차단 영역 광 투과도를 패턴의 이동에 의한 이중노광은 9% 이하로 감소시키며 contrast의 큰 증가를 나타내었다. 또한 제안된 방법을 적용하고 i-line stepper로 노광하여 패턴을 형성한 결과 박막의 두께손실이 없고 첨예한 측면형상을 갖는 0.2um와 0.3um 패턴을 형성할수 있었다. 이때 0.3um 패턴은 1.6um 이상의 초점변화에서도 형상의 변화를 거의 나타내지 않았다. 이와 함께 형상반전공정에 이중노광방법을 사용하여 미세한 음각의 패턴도 형성할 수 있었다.

参 考 文 献

- [1] N.G.Einspruch, VLSI Electronics Microstructure Science, vol.8, Academic Press Inc., p.140 (1984).
- [2] D.Arugu, K.Green, P.Nunan et al., "0.35um excimer DUV photolithography process", Proc. SPIE, vol.1927, Optical/Laser Lithography VI, p.287 (1993).
- [3] T. Kimura, et al, "Subhalf-um Gate GaAs MESFET Process using Phase-Shifting-Mask Technology", GaAs IC Symposium, 1991, p.281 (1991).
- [4] H.Jinbo and Y.Yamashita, "0.2 um or Less i-line Lithography by Phase-Shifting-Mask Technology", in IEDM Tech., Dig., 1990, p.825 (1990).
- [5] 한국전자통신연구소 "X-선 리소그래피에 관한 연구" 최종연구보고서, (1987).
- [6] K.L.Tan et al., "94 GHz 0.1um T-Gate Low Noise Pseudomorphic InGaAs HEMT's", IEEE Electron Device Letters, vol.11, no.12, p.585 (1990).
- [7] J.H.Han et al., "Ultra-submicrometer microwave GaAs MESFETs and HEMTs", Proc. SPIE vol.1288, High-Speed Electronics and Device Scaling, p.192 (1990).
- [8] P.A.Lamarre, "Developer Selection for T-Shaped gate FET's Using PMMA/P [MMA-co-MAA] /PMMA", IEEE Trans. on Electron Devices, vol.39, no.8, p.1844 (1992).

- [9] S.M.Sze, VLSI Technology, MacGraw-Hill Book Company, p.276, (1983).
 [10] GCA, 8500 DSW Service/Maintenance Manual, p.5-4, (1989).
 [11] T.Nomura, et al., "High precision alignment stage for micro lithograph," Proc. SPIE vol.922, p.136, (1988).
 [12] N.G. Einspruch, VLSI Electronics Microstructure Science, vol.1, p.41 (1981).

 著者紹介

楊典旭(正會員) 第23卷 第6號 參照

1958年 10月 23日生. 1981年, 2月 광운공대 전자공학과 학사. 1983.年 2月 연세대 대학원 전자공학과 석사. 1984年, 5月 ~ 현재 한국전자통신연구소 선임연구원, 주관심 분야는 화합물반도체 소자 관련 분야 등임.

朴哲淳(正會員)

1958年 2月 23日生. 1980年 2月 서울대학교 금속공학과 학사. 1982年 2月 한국과학기술원 재료공학과 석사. 1985年 2月 한국과학기술원 재료공학과 박사. 1985年 3月 ~ 현재 한국전자통신연구소 책임연구원, 화합물소자연구실장, 주관심 분야는 화합물반도체 소자 관련 분야 등임.

朴亨茂(正會員)

1955年 4月29日生. 1978年 2月 서울대학교 전자공학과 학사. 1980年 2月 한국과학기술원 전기.전자공학과 석사. 1981年 3月 ~ 1983年 7月 일본 동경대 전기.전자공학과 초빙연구원. 1984年 5月 ~ 1986年 3月 일본전기(NEC) 축탁연구원. 1984年 2月 한국과학기술원 전기.전자공학과 박사. 1984年 2月 ~ 현재 한국전자통신연구소 책임연구원, 화합물반도체 연구부장

金鳳烈(正會員) 第25卷 第11號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수