



차세대 리소그래피 기술에 대한 전자빔 리소그래피의 응용



김성찬
동국대
전자공학과 박사과정



신동훈
동국대
MINT 연구교수



이진구
동국대
MINT 소장

1. 서론

1970년대 초반 이후 반도체 산업의 비약적 발전은 다양한 응용으로 적용되어 여러 분야의 산업들의 성장을 촉진시키고, 번영시켰다. 이런 성장의 중심에서, 반도체 소자의 feature size의 감소는 초소형, 저전력, 고기능 특성을 갖는 소자의 생산을 가능하게 하였으며 이를 기반으로 소자의 재현성, 생산성 증가로 이어져 반도체 산업을 성공시킨 필수적인 요인이 되어 왔다. 실질적으로, 반도체 소자의 feature size는 매 3년마다 약 70%씩 감소해 왔다. 최근에는 반도체 기술 발전의 가속화가 이루어지고 있어 그 속도가 2년 주기로 단축되었다. 이런 현상은 Rayleigh equation으로 도출되었으며, 이것은 유명한 무어의 법칙(Moore's law)의 기본 원리이기도 하다. 이런 반도체 소자의 feature size 감소는 특정 패턴의 선폴에 대한 미세화가 필수적인 요건이며, 미세한 선폴을 형성시키기 위한 노광 기술은 feature size 감소의 핵심 기술로 대두되고 있다. 국내외적으로 반도체 산업은 차세대 반도체 노광 기술의 개발에 집중되고 있으며 현재까지의 노광 기술은 주로 광원의 파장을 최대한 줄임으로써 해상도를 향상시키는 방향으로 진행되어 왔다. 현재에도 유용하게 사용되는 G-선(436nm)과 I-선(365nm) 노광기

술, 단파장의 원자외선(deep UV:300nm 이하) 노광 기술은 물론 최근 각광받고 있는 엑시머 레이저(ArF:193nm, F₂:157nm) 노광 기술의 발전으로 미세 패턴에 대한 해상도는 sub-micron 급에 이르기 까지 계속적으로 향상되어 왔다. ArF 엑시머 레이저 노광기술을 사용할 경우 100nm 이하로, F₂ 엑시머 레이저 노광기술을 이용할 경우 70nm 까지 해상도를 향상시킬 수 있을 것으로 예측하고 있다. 그러나 feature size가 50nm 이하로 줄어들면서 나노(nano) 급으로 축소되어질 경우 적절하게 사용가능한 광원, 마스크 및 새로운 특성의 PR(Photo Resist)의 필요성으로 기존의 노광 기술은 그 한계에 도달할 것이다[1]. 따라서 원자외선, 극단파 자외선(extreme UV), X-선 등과 같이 단파장을 갖는 광원을 사용하지 않고 이온빔(ion beam)이나 전자빔(electron beam)등을 이용하여 노광하는 NGL(Next Generation Lithography) 장비에 대한 기술이 새롭게 주목 받고 있다. 전자빔리소그래피(Electron Beam Lithography) 기술은 기존의 광학적인 노광기술에 비하여 해상도는 물론 원하는 위치에 패턴을 정확하게 정렬(overlay accuracy)시킬 수 있는 장점을 가지고 있음에도 불구하고 낮은 생산성(throughput)으로 인하여 R & D 분야에서만 제한적으로 사용되어온 것이 사실이다. 그러나 한 번에 노광

할 수 있는 노광면적(field size)의 확대, 노광속도(frequency)의 향상, 다중빔(multi beam) 기술 등을 통하여 생산성을 증가시키기 위한 획기적인 접근이 연구되어지고 있다.

본 글에서는 여러 NGL 중에서 전자빔리소그래피 기술에 대하여 일반적인 장비시스템과 레지스트에 대한 간략한 설명을 하고, 생산성을 증가시킬 수 있는 최근의 기술동향을 포함한 전자빔리소그래피의 응용 발전 방향에 대하여 논의하고자 한다.

2. 전자빔 리소그래피

전자빔 리소그래피 기술은 마스크를 사용하지 않고 직접 감광막이 도포 되어있는 기판 상에 전자빔을 주사시켜 패턴을 형성하는 방법이다. 포토 리소그래피 공정에서 광원으로 사용되는 자외선보다 10,000 ~ 100,000 분의 1배 정도 짧은 파장을 갖고 있기 때문에 nm 급 극미세 패턴 형성시 분해능을 제한하는 요소인 회절에 의한 영향을 무시할 수 있다. 따라서 전자빔 리소그래피는 수십 nm에서 수 nm까지 극 미세 패턴의 구현에 적합하기 때문에 초고집적 회로의 제작이나 양자 효과 소자 등의 신기능 소자 구현에 널리 응용될 수 있을 것이다.

수 nm급 극 미세 패턴을 형성하기 위해서 필요한 전자빔 리소그래피 시스템과 리소그래피용 레지스트에 대해서 간략하게 설명하고, 현재 진행되고 있는 전자빔 리소그래피를 이용한 여러 가지 연구 테마에 대해 기술하기로 한다.

2.1 전자빔 리소그래피 장비 개요

CAD 작업에 의하여 만들어진 패턴 화일을 각 시스템에서 원하는 고유 포맷으로 변환시키고 이를 기본으로 전자전에서 방사된 전자빔을 column내의 전자렌즈로 집속, 편향시켜서 chamber내 스테이지위의 기판에 묘화시킨다. 그림 1에 전자빔리소그래피장비의 개요를 나타내었다. 전자빔 리소그래피 시스템은 전자총(electron beam gun), 전자 컬럼(electron column), 스테이지(mechanical stage), 제어 컴퓨터(control computer), 기타 외부 구성의 주요 장치들로

구성되어있다.

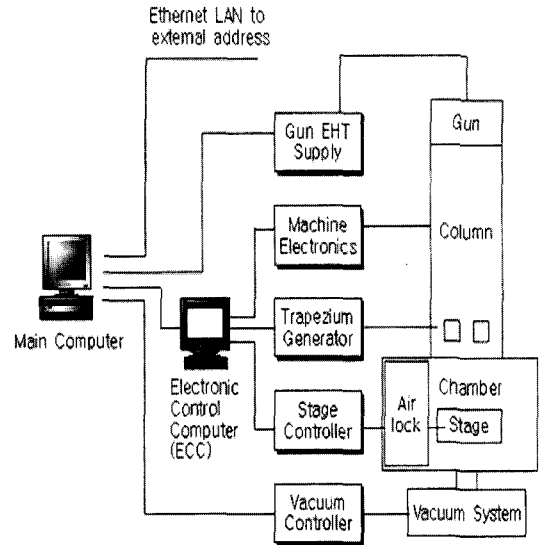


그림 1. 전자빔 리소그래피 장비 개요.

2.1.1 전자총

일반적으로 고체 표면에서 진공으로 전자를 방출시키는 원리는 크게 열전자방출, 전기장 방출, 2차 전자 방출의 3가지를 들 수 있다. 일반적으로 전자주사현미경 시스템에서는 전자장 방출 방식을 주로 이용하나 전자빔 리소그래피 장비에서는 short term noise와 long term drift에 의한 불안정성으로 인하여 열전자 방출 방식을 주로 사용한다. 표 1에 전자소스의 특성을 정리하였다.

표 1. 전자소스의 특성.

Source type	Brightness (A/cm ² /sr)	Source size	Energy spread(eV)	Vacuum Requirements (Torr)
Tungsten Thermionic	~ 10 ⁵	~ 25 μm	2 ~ 3	10 ⁻⁶
LaB ₆	~ 10 ⁶	~ 10 μm	2 ~ 3	10 ⁻⁶
Thermal FE	~ 10 ⁸	~ 20 nm	0.9	10 ⁻⁹
W & cold FE	~ 10 ⁹	~ 5 nm	0.22	10 ⁻¹⁰

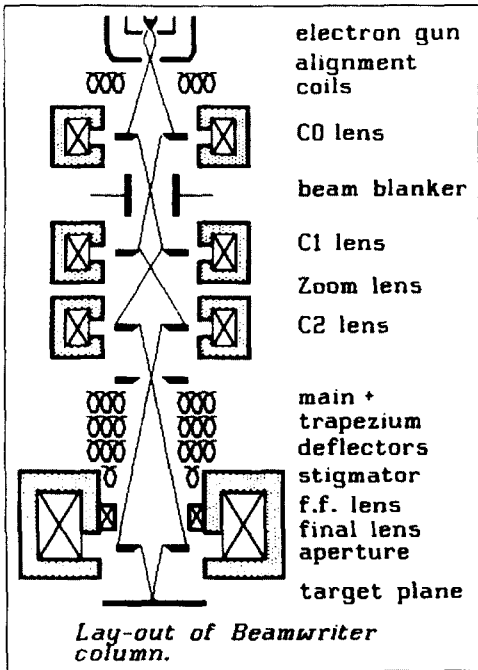


그림 2. 전자컬럼의 개략도.

2.1.2 전자컬럼

컬럼은 전자빔의 초점을 조절할 수 있도록 하기 위하여 빔의 크기를 확대하거나 축소시킬 수 있는 각종 전자기 렌즈들과 빔을 scanning 할 때 빔을 차단하거나 통과시킬 수 있는 blanke, 주사되는 빔의 위치를 변화시키도록 하는 편향 장치, 빔 전류를 측정할 수 있는 faraday cup 등으로 구성된다. 그림 2에 컬럼의 개략도를 나타내었다. 자기 렌즈는 코일이 감아진 원통형의 전자석으로 운동하는 전자가 자장에 의해 휘는 성질을 이용하여 전자를 한 곳으로 모으는 역할을 한다.

2.1.3 스테이지

전자빔의 편향범위가 적기 때문에 스테이지가 함께 움직여 시료의 전면을 묘화 하는데, 스테이지의 위치는 laser Interferometer를 이용하여 계측하고, 설정치와의 차이는 구동부와 전자빔 deflector의 feedback을 통하여 정밀한 위치 제어가 가능하다.

2.1.4 제어컴퓨터

패턴 데이터에 의한 전자빔의 주사(scan)는 컴퓨터 시스템에 의해서 조절 되는데 전자빔의 전류, 노광 시간(expose time), 도즈량(dosage), 전자빔간의 간격 (beamstep size), stage의 위치, 자동 정렬 등의 조건을 제어하게 된다. 이러한 노광 패턴 설계 및 시스템 제어를 위해서 각 시스템마다 별도의 제어 소프트웨어를 사용하고 있다.

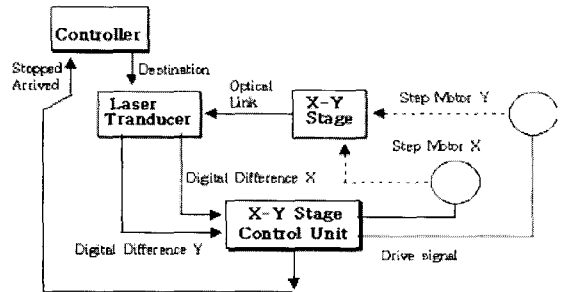


그림 3. 스테이지 controller.

2.2 전자빔 리소그래피 시스템 종류

전자빔 리소그래피 기술은 gaussian 전자빔 시스템, shaped 전자빔 시스템, 생산성의 향상을 위한 mask projection 시스템, massively-parallel 빔 시스템 등이 시스템 등의 다양한 종류의 시스템으로 구현된다.

가장 일반적인 시스템으로써 그림 2에 기술한 전자빔 리소그래피 장비의 개략도는 gaussian 전자빔 시스템을 기준으로 기술되었다. 전자빔 리소그래피 시스템은 크게 전자빔의 모형, 스캔방식, 스테이지이동 방식의 3가지로 구분되어진다. 전자총에서 발생된 전자빔의 모형에 따라서 gaussian 빔 시스템과 shaped 빔 시스템, 빔의 스캔 방식에 따라 vector 스캔 시스템과 raster 스캔 시스템, 스테이지의 움직임에 따라 step and go 방식 시스템과 continuous go 방식 시스템으로 나뉘어진다. Gaussian 빔 방식은 전자빔의 모양이 원형이며 shaped 빔은 이를 기본으로 빔의 형태가 바뀌어진 시스템이다. Vector 스캔 방식은 전자빔이 패턴이 있는 부분만 찾아가서 노광하는 방식이며 raster

스캔 방식은 전자빔이 편향 가능한 전지역을 스캔하면서 패턴이 있는 부분만 전자빔이 노광되는 방식이다. 초기의 vector 스캔방식은 생산성이 향상되나 stitching error가 발생하는 단점이 있었으나 보완기술의 발전으로 raster 수준의 정밀도를 갖게 되었고, raster 스캔 방식은 노광이 필요 없는 부분도 스캔하므로 시간 낭비가 많은 단점이 있으나 stitching error가 적다는 장점이 있다. 시편을 노광하기 위하여 전자빔이 편향 가능한 범위마다 스테이지를 정지시키고 노광하는 방식을 step and go 방식이라 하며 스테이지를 연속적으로 왕복 운동시키면서 순차적으로 노광시키는 방식을 continuous go 방식이라고 한다. Continuous go 방식의 경우 초점거리가 짧아도 문제 없기 때문에 전자빔의 전류밀도를 높일 수 있고, 외부 전자기장의 영향을 적게 받으므로 시스템이 간략화되기 때문에 최근 많이 사용되고 있다. Gaussian 빔 시스템에서 원형 모양의 gaussian 빔을 기본으로 특정 모양을 갖는 aperture를 사용하여 빔의 형태를 바꾸어 노광하는 방식이다. 주로 사각형으로 빔의 형태를 바꾸어 노광하는 경우가 많으며 빔의 형태뿐만 아니라 면적을 바꾸어 노광하는 Variable Shaped Beam (VSB) 형태로도 응용되고 있다. Gaussian 빔 방식은 상대적으로 높은 해상도가 필요할 때 사용되며 VSB 방식은 생산성을 높이기 위하여 사용한다.

Mask projection 시스템은 전자빔 리소그래피 시스템의 낮은 생산성을 높이기 위하여 광학 리소그래피 시스템의 mask 개념을 전자빔 시스템에 적용시킨 기술이다. 1980년대 Bell 연구소가 SCALPEL(Scattering with Angular Limitation in Projection Electron-beam Lithography) 시스템을 개발하였고, IBM은 이를 기반으로 variable-axis lens의 개발로 전자의 main optical axis를 변화시킴으로써 생산성을 좀 더 극대화할 수 있는 PREVAIL(Projection Reduction Exposure with Variable Axis Immersion Lens)의 기초를 마련하였다.

여러 projection 시스템의 많은 시도들과 분명한 차이를 갖는 SCALPEL의 강점은 scattering mask를 사용한다는 점이다. Scattering mask는 높은 원자상수를 가지는 물질(Au, W)을 scatterer로써 사용하고 낮은 원자상수 물질(SiN)을 membrane 으로 사용한다. SiN

을 통과하는 전자는 대부분 큰 산란없이 back focal plane aperture를 통과하여 wafer상에 focus 되지만 Au를 통과하는 대부분의 전자는 큰 각도로 산란되기 때문에 aperture를 통과하지 못한다. 결과적으로 이 방법은 사용되는 전자빔용 레지스트의 95%정도까지의 높은 해상도를 얻을 수 있다. 이 메카니즘을 그림 4에 나타내었다[2]. 또한 전자의 에너지가 마스크에 흡수되는 것이 아니라 통과 혹은 산란됨으로써 마스크에서 발생하는 열적 불안정성을 해결하였다. 아직까지는 projection 될수 있는 전자빔의 field size가 상대적으로 작고(1mm² order), 최종적으로 원하는 패턴은 field stitch error를 줄이기 위하여 빔이 연속적으로 노광되어 중첩 이미지로써 형성되기 때문에 생산성이 저하된다. 그러나 이 방식은 일반 광학 방식의 시스템과 비교할때 약 50% 정도 생산성이 떨어지는 수준이지만 일반 raster 스캔 방식의 시스템에 비하여 10배 이상 높은 생산성을 가지며, RET를 사용하는 광학 리소그래피 시스템에 비하여 가격경쟁력의 장점 때문에 향후 sub-micron 급의 리소그래피에 사용가능할 것이다. PREVAIL 시스템은 scattering mask를 사용하는 점에서 SCALPEL과 비슷하나 variable-axis lens를 사용해서 전자의 main optical axis를 변화시킴으로써 생산성을 좀 더 극대화할 수 있다. Variable-axis 시스템은 상대적으로 느린 스테이지의 이동 같은 기계적 요소를 감소시킴으로써 좀 더 빠르게 빔을 노광시킬 수 있다.

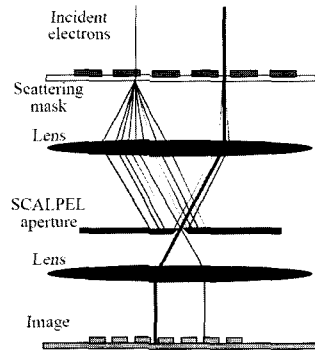


그림 4. SCALPEL의 기본원리.

Massively-Parallel 빔 시스템은 전자빔 리소그래피 시스템의 생산성을 증가시키기 위하여 현재 연구가



진행중인 차세대 방식이나 광학 리소그래피 시스템의 생산성을 증가하지 못하고 있으며 아직 해결해야 할 문제점들이 많은 시스템들이다. 대표적으로 mems array of electron source 방식의 시스템과 single beam multipath 방식의 시스템이 있다. Mems array of electron source 방식의 시스템은 많은 수의 작은 전자총을 이용함으로써 동시에 노광되는 면적을 늘려서 생산성을 증가시키는 방식이며[3], single beam multipath 방식의 시스템은 커다란 하나의 전자빔을 사용하나 여러 개의 렌즈와 aperture를 사용함으로써 작게 나뉘어진 전자빔을 동시에 노광하여 생산성을 증가시키는 방식이다[4].

3. 전자빔 리소그래피용 레지스트

일반적으로 전자빔 리소그래피용 레지스트는 높은 분자량을 가지는 중합체가 솔벤트에 녹아있는 형태이다. 전자빔이 레지스트에 조사되면 중합체에는 크게 chain-scission과 cross-linking의 2가지 화학적 반응이 일어난다. Chain-scission은 전자빔이 조사되면 중합체 내의 chain들이 작은 조각들로 분리되고, 가벼워진 중합체는 현상용액에 상대적으로 잘 녹게 된다. 그러므로 전자빔이 조사된 부분의 레지스트는 현상되어 없어지게 되며 이러한 중합체는 양성 레지스트에 사용된다. 반대로 cross-linking은 전자빔이 조사되면 중합체 사이에 chain들이 더욱 견고하게 연결되며 상대적으로 전자빔이 조사되지 않은 부분에 비하여 현상용액에 잘 녹지 않게 된다. 그러므로 전자빔이 조사된 부분의 레지스트는 현상되지 않게 되며 이러한 중합체는 음성 레지스트에 이용된다. 그림 5에 전자빔에 대한 중합체의 반응을 간략하게 나타내었다.

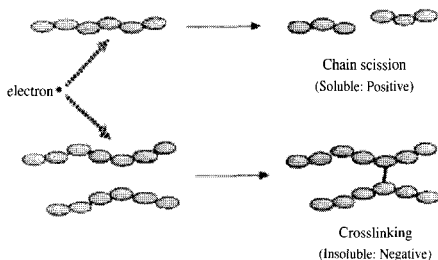


그림 5. 전자빔에 대한 중합체의 반응.

3.1 양성 레지스트 (positive resist)

양성 레지스트는 PMMA (Polymethylmethacrylate), EBR-9, PBS, ZEP등이 있으며 일반적으로 PMMA가 주로 많이 사용되고 있다. PMMA(Polymethylmethacrylate) 계열의 레지스트는 매우 높은 해상도(10nm)를 가지고 있으며 박막 형성 특성이 우수하며 공정 허용도가 높다는 장점이 있다. 그러나 PMMA 레지스트는 노광 감도(sensitivity:150~900uC/cm²)가 나쁘며 dry etch resistance가 좋지 않아 이를 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 양성 타입이므로 소자 제작에 사용할 경우 contact layer의 경우처럼 레지스트가 현상되어 제거되는 면적이 작은 경우에 사용된다. 또한 최근 일본의 ZEON사에서 개발한 ZEP 계열의 레지스트는 기존의 양성 레지스트에 비하여 매우 높은 해상도(5nm) 및 박막 형성 특성의 우수하며 공정 허용도가 높다는 장점 외에도 노광 감도(sensitivity)가 매우 좋으며 dry etch resistance가 PMMA보다 2.5배 정도 높아서 초미세 나노 패턴을 형성하기 위해서 많이 사용되고 있다.

3.2 음성 레지스트 (negative resist)

음성 레지스트는 SAL, CMS, COP 등이 있으며 일반적으로 SAL 계열의 레지스트가 주로 사용되고 있다. 현상의 원리상 양성 레지스트에 비하여 해상도는 떨어지나(50nm) 노광 감도(sensitivity:6~13uC/cm²)가 우수하며 현상 시에 모서리 부분이 부풀어 오르는 swelling 현상이 없으며, dry resistance가 좋다는 장점이 있다.

4. 나노 급 패턴 제작을 위한 전자빔 리소그래피의 응용

일반적으로 전자빔 리소그래피 기술은 크게 projection print과 direct writing의 2가지 방식으로 나누어진다. Project printing은 상대적으로 큰 사이즈의 전자빔 패턴이 동시에 마스크를 통하여 wafer로 노광되는 반면 direct writing은 작은 사이즈의 전자빔이 직접 wafer로 노광되는 방식이다. 전자의 방식이 mass product를 위한 것이라면 후자의 방식은 좀더 미세하고 정밀한 패턴의 형성에 사용된다.

초정밀, 극미세 특성을 갖는 line & space 구조물과 다각형 배열의 dot 패턴 구조물을 제작하기 위한 노광 기술의 확립은 여러 저차원 quantum device (SET: Single Electron Transistor, 레이저, 발광소자, display 소자)를 포함하여 다양한 광 저장장치와 광밴드갭 (photonic band gap) 구조를 갖는 광결정(photonic crystal)의 연구에 기여할 것이며 이것은 곧 다른 광소자 개발 기술로 이어져 향후 나노 레이저와 초소형 디스플레이 소자 분야 그리고 초소형 광도파로 구조를 이용한 광 집적 소자등과 같은 나노포토닉스의 발전 가능성이라는 측면에서 그 연구의 중요성을 부여할 수 있다. 이뿐만 아니라, 초고주파 통신 시스템에서 사용가능한 HEMT, HBT, MOSFET과 같은 초소형, 고집적, 고효율 특성을 지니는 소자의 미세한 gate 패턴 구현등 무선 통신 시스템 등과 관련된 소자 제작에도 폭 넓게 적용되고 있다. 그림 6에 전자빔 리소그래피의 응용 예를 나타내었다.

4.1 광 저장 장치에의 응용

초소형 광탐침은 현재 CD, DVD 등에 사용되고 있는 광 pick-up head의 성능을 반도체 칩 형태의 작고 가벼운 시스템으로 구현하는 것이다. 이런 시스템들은 FGC(focusing grating coupler)의 feature size에 많은 제약을 받으며, FGC는 line 간격이 균일하며 좁아질수록 우수한 특성을 나타내므로 이와같은 특성을 갖는 FGC의 제작에 많은 노력이 집중되어 왔다. FGC란 waveguide로 진행하는 도파광의 굴절률값을 조절하여 광을 밖으로 방출시켜 도판 면 위의 일정한 위치

에 모이도록 하는 소자이다. 도파광이 FGC에 의해 도파로의 수직방향으로부터 임의의 각도, 임의의 거리에 초점을 맺히게 되면 laser diode에서 나가는 광 신호는 광도파로(single mode)를 거쳐, FGC를 통과한 후 disc상의 한 점으로 초점을 맺고, disc 표면에서 다시 반사되는 광은 FGC에 의해 다시 도파로로 들어온다. 그 후 광은 두 갈래로 나뉘어져 각각 서로 다른 두 개의 photodiode 에서 검출되므로 disc의 위치정보와 기록정보를 알 수 있게 된다.

4.2. 광 결정에의 응용

결정 구조를 갖는 물질들은 그 물질을 구성하는 원자나 분자들의 규칙적인 배열로 인하여 주기적인 포텐셜(potential)이 생겨 전자들의 움직임(propagation)에 영향을 미치는 띠 간격(band gap)을 형성한다. 띠 간격은 특정한 에너지를 가진 전자의 진행을 막는 역할을 하며 격자(lattice)의 포텐셜 에너지가 충분히 크다면 모든 종류의 에너지를 가진 전자들의 진행을 완전히 막을 수도 있다. 1987년 Yablonovitch와 John은 빛에 대해서도 동일한 띠 간격 개념을 적용하여 빛에 대하여 포텐셜로 작용하는 유전체를 주기적으로 배열하면 광자 띠 간격(photonic band gap)이 생겨 특정한 파장을 가진 전자기파를 선택적으로 통과시킬 수 있다고 제안하였다. 이러한 제안은 1989년 Yablonovitch 그룹이 이차원 구조의 광자결정에서 광자 띠 간격이 존재한다는 것을 실험적으로 보임으로써 현실화되었으며, 1991년 마이크로파 영역에 해당하는 주파수 영역에서 띠 간격을 갖는 3차원 광자결정

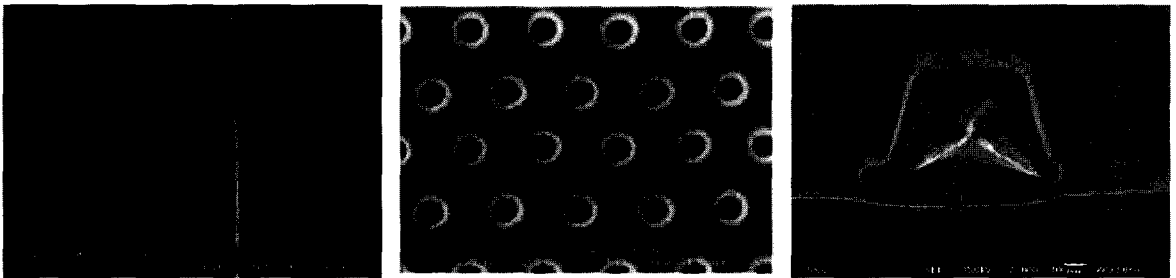


그림 6. 나노 패턴에 대한 전자빔 리소그래피의 응용 (a) 20nm line & space 패턴[5], (b) 100nm dot 패턴[6], (c) 50nm gate 패턴[7].



을 제작하여 광자결정이 실제 소자로 응용될 수 있는 가능성을 제시하였다. 이러한 사실은 광자결정이 광도파로(wave guide)에 사용될 수 있음을 보여주며 국부적으로 결정에 결함을 주면 특정 부분에 빛을 가두어 놓을 수 있기 때문에 레이저 공명기에도 응용할 수 있다.

4.3 초고주파 소자에의 응용

초고주파 대역에서 사용 가능한 HEMT 등의 단일 소자와 이를 이용한 MIMIC가 우수한 특성을 갖기 위해서는 소자 구조 및 제작 공정의 최적화가 이루어져야 한다. 그 중에서도 HEMT 소자의 고속 동작 특성을 평가하는 전류이득차단주파수를 결정하는 주된 요인은 소자의 게이트 길이이다. Sub-100nm 급의 게이트 공정은 구현에 어려움이 많으며 공정변화에 따라서 소자 특성 변화가 심하므로 안정된 게이트 공정의 확립이 무엇보다 중요하다. 초미세 게이트 패턴의 형성 공정은 HEMT 등의 소자에 직접 적용하여 밀리미터 파 대역에서 동작 가능한 고효율, 고신뢰성 특성을 갖는 능동소자를 개발할 수 있는 기반을 마련할 수 있으며 이를 통하여 초고속, 광대역 특성을 갖는 무선통신용 MIMIC를 개발할 수 있는 핵심 기술을 확보할 수 있다.

4.4 단일 전자 소자 트랜지스터(Single electron transistor:SET)에의 응용

1987년 Likharev에 의해 처음 제안된 단일 전자 소자 트랜지스터(single electron transistor : SET)는 초미세 양자 우물(quantum dot)에 소스와 드레인이 tunnel 접합에 의해 연결된 구조를 가지고 있으며 게이트 전압을 통해 전자 1개 각각의 움직임을 제어할 수 있는 전자 소자의 마지막 단계라고 볼 수 있다. SET는 전자 한 개의 변화가 논리 레벨을 결정하는 논리 회로나 기억 회로의 기본 소자가 될 수 있을 것으로 기대되어, 저전압, 고집적용 미래 소자의 후보로서 많은 주목을 받아왔다. 1990년대 이후 SET의 실질적인 소자 응용을 위한 고온 동작화에 대한 연구가 활발히 진행되어왔으나 현재까지의 연구결과를 보면 완벽한 공정 제어에 의한 재현성이 우수한 SET 소자의 제작은 매우 희귀하였다. SET의 상온 동작을 위해서는

quantum dot 및 tunnel junction의 크기를 10nm 정도로 매우 작게 만들어야 하는데 이를 위하여 재현성이 우수하면서도 해상도가 뛰어난 전자빔 리소그래피에 대한 응용이 절실하다.

5. 결론

리소그래피 기술은 반도체 산업의 발전과 더불어 엄청난 진보와 변화를 거듭해 왔다. 현재까지의 리소그래피 기술은 광원의 파장을 줄임으로써 해상도를 향상시켜왔으나 반도체 기술발전의 고속화로 인하여 향후 10년이내에 광을 이용한 미세 패턴 가공기술은 그 한계에 도달하게 될 것이다. 따라서 광노광의 한계를 극복할 여러 방법이 모색되어 왔으며 기술의 실현 가능성과 속성도에 의해 전자빔 리소그래피 기술이 대두되고 있다. Direct writing 방식의 전자빔 리소그래피는 이미 숙성되어 있는 기술이며 회절에 의한 영향을 무시할 수 있으므로 수십 nm에서 수 nm까지의 초미세 나노 패턴의 구현에 적합하다. 전자빔 리소그래피를 통한 나노 패턴 형성 노광기술의 확립이 갖는 의미는 매우 중요하다. 나노 패턴 형성은 초고집적 회로의 제작이나 양자 효과 소자 등의 신기능 소자 구현 등의 반도체 산업뿐만 아니라 21세기 모든 산업 전반에 걸쳐서 미래 혁신을 이끌어갈 핵심기술로서 혁명적인 효과를 가져다 줄 것이다. 또한 일반적인 광 리소그래피 공정에 비하여 생산성이 낮다는 전자빔 리소그래피 기술의 단점은 현재 지속적으로 연구 중인 projection printing 방식의 리소그래피 시스템으로써 어느 정도 해소될 수 있을 것으로 예상된다. 이와 같은 사실들을 종합해 볼 때 전자빔 리소그래피 기술은 향후 70nm 이하의 feature size를 갖는 노광공정의 NGL의 한 가지 대안으로 사용될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] International Technology Roadmap for Semiconductors, SIA, 1999.
- [2] A. Ampere, et al., "Electron Beam Lithography in Nanoscale Fabrication:Recent Development", IEEE Transactions on Electronics Packaging

- Manufacturing, Vol. 26, No. 2, 2003.
- [3] Noel C. MacDonald, et al., "Micromachined electron gun arrays (MEGA)", SPIE Proceedings Series, Vol. 2552, p. 220, 1995.
- [4] Nobuo Shimazu, et al., "An approach to a high-throughput e-beam writer with a single-gun multiple-path system", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 35(12B), p. 6689, 1995.
- [5] M. Peuker, et al., "Hydrogen Silsesquioxane, a high-resolution negative tone e-beam resist, investigated for its applicability in photon-based lithographies", Microelectronic Engineering, Vol. 61-62, p. 803, 2002.
- [6] 김해성, et al., "Fabrication technology for improving pattern quality in two-dimension photonic crystal manufacture" 전자 재료학회, Vol. 16, No. 6, p. 515, 2003.
- [7] S. C. Kim, et al., "50 nm InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMTs using double exposure without the dielectric support" 무주, 제11회 한국반도체학술대회, 제2권, p. 501, Feb. 2004.

성명 : 이진구

◆ 학력

- 1969년 항공대 전자공학과 공학사
- 1975년 서울대 대학원 전자공학과 공학석사
- 1982년 Oregon State Univ. 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1995년 - 현재 한국 전자파학회 이사
- 1985년 - 현재 동국대 전자공학과 교수
- 1996년 - 현재 한국산업인력관리공단 기술사 감정 심의위원
- 1999년 - 현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
- 2003년 - 현재 대한전자공학회 수석부회장

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 김성찬

◆ 학력

- 1999년 동국대 전자공학과 공학사
- 2001년 동국대 대학원 전자공학과 공학석사
- 2001년 - 현재 동국대 대학원 전자공학과 박사과정

성명 : 신동훈

◆ 학력

- 1982년 동국대 물리학과 이학사
- 1984년 동국대 대학원 물리학과 이학석사
- 1999년 런던대 전기전자공학과 공학박사

◆ 경력

- 1999년 - 현재 동국대 밀리미터파 신기술연구센터 연구교수

