

새도 마스크 증착을 이용한 마이크로/나노 패터닝

이 글에서는 새도 마스크의 구멍을 통해 물질을 국부적으로 증착하여 마이크로/나노 스케일 패턴을 만드는 새도 마스크링 방법을 소개하고, 새도 마스크의 제작방법과 이로 제작된 미세패턴의 응용에 대하여 소개한다.

마이크로 제작(micro-fabrication)이란 매우 작은 대상물을 제작함에 관한 기술 및 학문을 지칭한다. 작은 물건이 주는 신기함과 동경, 종교와 예술적, 기타 다양한 동기로 선대의 사람들은 일상적인 물건들을 작게 만들거나, 정성을 드려 쌀알에 불경을 적어 넣는 경우가 종종 있었다. 실제로, MEMS (Micro-Electro-Mechanical System)로 지칭되는 마이크로시스템은 소형화에 따른 관성효과의 감소, 빠른 열전달, 높은 고유진동수 등 기존의 시스템이 지니지 않는 다양한 특성을 예측할 수 있어서 지난 십 수년 전부터

매우 급속한 기술발전과 응용을 경험하였다. 또한 고집적화를 추구하는 IC 산업의 발전과 더불어 소형화 기술은 선포 100nm 이하의 패턴제작을 상용화할 수 있는 수준에 이르렀고, 이러한 IC 제작 관련 장비의 고성능화는 다시 마이크로 제작기술을 견인하는 선순환을 이루어왔다.

포토 리소그라피와 특수 마이크로/나노 패터닝 기술

IC 제조나 마이크로 제작은 모두 리소그라피(lithography)로부

터 시작된다. 리소그라피란 마스크 패턴을 고체(예로 실리콘 웨이퍼나 금속판)의 표면에 전사하는 기술이다. 예전에는 이러한 패턴 전사 기술과 관련하여 사용 물질(예로, 실리콘)이나 가공공정의 대부분을 IC 제조공정에서 의존하여 사용해왔다. 대표적인 IC 제조공정인 UV-포토 리소그라피(photo-lithography)는 패턴 이외의 부분을 제거하는 공정원리를 가진다. 즉, 먼저 패턴 물질을 전 영역에 증착한 후, 포토 리소그라피와 에칭공정을 통하여 원하는 패턴 형태로 물질을 제거하는데, 이를 위하여 패턴물질의 증착, 포토레지스트(photo-

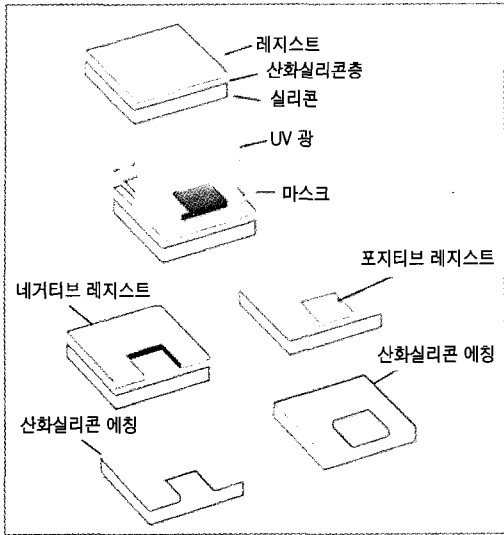


그림 1 UV-포토 리소그래피를 이용한 산화실리콘(SiO₂)막 패턴링 공정 : (a) oxidation, (b) photoresist(PPR) coating, (c) exposure, (d) development, (e) SiO₂ etching, (f) PR removing.

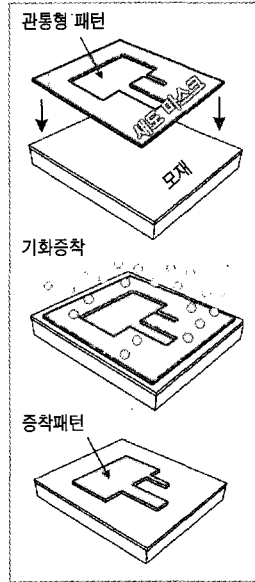


그림 2 새도 마스크링 공정의 원리

resist)의 도포, 마스터 패턴을 지닌 크롬 마스크를 얹어 자외선 광(UV-light)을 쬐는 노출(exposure), 노출된 포토 레지스트의 현상(development), 패턴물 질 제거를 위한 에칭(etching)과 마지막으로, 남은 포토 레지스트의 제거 등의 공정이 필요하다. 만약 패턴하고자 하는 물질이 에칭이 어렵거나 불가능한 경우에는 리프트 어프(lift-off)공정이 사용되는데, 우선 전술한 포토 리소그래피 공정으로 포토 레지스트 패턴을 기판(substrate) 위에 생성한 후에 패턴물질을 증착한다. 증착 물질은 포토 레지스트 표면과 포토 레지스트로 가려지지 않은 기판 표면에 전체적으로 증착되는데, 이후에 포토 레지스트를 녹여 패

턴 외의 원치 않는 부분은 제거된다.

물론 이러한 표준 리소그래피 공정이 IC 산업에서 대량 제조공정으로서 중요한 역할을 담당해 온 것은 사실이지만 최근 다양한 재료와 표면 특성, 형상을 요구하는 마이크로/나노 시스템 제작에 적용되는 데에는 한계를 보이고 있다. 최근에 생명공학의 중요성이 강조되고 기술 융합의 중요성이 강조되면서, 고기능 유기체층(organic layer)을 표면 처리하거나, 압력계의 멤브레인이나 필터 멤브레인, 스케닝 프로브나 빔 변형센서의 캔틸레버 등의 미세 구조물 표면 위로의 기능성 패턴 제작 등 다양한 제작이 요구되고 있다. 이러한 제작 공정들에서 일반 포토 리소그래피의 PR 코팅

이나 에칭공정이 적용될 수 없는 특수한 상황들이 많이 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위한 새로운 나노 패턴링 방법들이 최근 많이 연구되어 왔다. 폴리머 스탬프(polymer stamp)를 이용하여 분자층을 패턴링하는 micro-contact printing법, 미세 금형을 제작하고 폴리머 표면에 가열 가압하여 금형패턴을 전사하는 nano-imprint lithography법, scanning probe를 이용하여 분자를 표면에 전이하는 dip pen lithography와 전원을 인가하여 직접 표면의 성질을 변화시키는 scanning probe lithography 등을 예로 들 수 있는데, 이러한 새로운 특수 패턴링법들은 범용 포토 리소그래피를 보완하고 다양한 재료의 사용과 공정의 유연성을 지녀 보다 다양한 마이크로/나노 시스템의 구현을 가능하게 하고 있다.

새도 마스크 증착 원리

새도 마스크를 이용하여 원하는 물질의 패턴을 표면 위에 직접 증착하는 새도 마스크링법은 특수 마이크로/나노 패턴링법의 하나이다. 새도 마스크는 미리 정의된 패턴만이 개방되어 있고 그 나머지 부분은 막혀 있는 얇은 멤브레인(membrane)을 지니고 있다. 패턴을 만들고자 하는 표면

위에 새도 마스크를 올려 놓으면 개방 부위의 표면만이 노출되기 때문에 그 위에 패턴 물질을 물리적, 화학적으로 증착(deposition)하면, 새도 마스크에 정의된 개방 패턴을 통하여 국부적으로 증착되어 새도 마스크 패턴이 표면에 일대일로 전사된다.(그림 2)

이 방법은 포토 레지스트를 사용하지 않고 한 번의 증착 공정으로 원하는 물질을 표면위로 증착하기 때문에 모재와 증착물질 선택의 폭이 넓어 고기능 바이오/화학적 처리된 표면이나 기계적 강성이 약한 마이크로 구조물 위로의 패터닝에 사용될 수 있다. 일반 포토리 소그라피 공정 중 포토 레지스트의 코팅(spin coating), 현상(exposure) 및 습식 인화(development), 패턴 물질 증착(deposition)과 리프트 오프(lift-off) 공정이 한 공정으로 해결 될 수 있다. 또한 패터닝 공정이 진공 내에서 이루어지기 때문에, 화학처리된 표면의 변질이나 건조 시 표면장력으로 인한 구조물의 표면 점착, 파괴 등 습식공정에서 나타날 수 있는 문제점들을 예방할 수 있다.

새도 마스크의 제작

새도 마스크 제작 방법은 재질에 따라 다양하다. 기존에 많이 사용되어온 금속 새도 마스크는

일렉트로포밍(electroforming), 에칭(etching), 레이저 커팅(laser cutting) 등 다양한 방법으로 제작된다. 금속판의 두께가 $\sim 100\mu\text{m}$ 로 두껍기 때문에 아주 미세한 패턴 제작에는 한계를 지닌다. 새도 마스크를 폴리머로 제작할 수도 있는데, 유연한 폴리머를 사용하면 곡면으로의 패턴이 가능하다. 이 경우 멤브레인의 강성에 한계가 있어 제한된 응용범위에서 사용된다. 최근 들어 미세 패터닝용 새도 마스크 제작에 MEMS공정이 자주 사용되고 있는데, 멤브레인의 재질로는 Si, SiO_2 , SiN 등이 주를 이룬다. 이때 멤브레인은 제작 후 잔류응력의 문제가 존재하므로 패턴 형상과 멤브레인 두께의 선정에 유의해야 한다.

그림 3은 MEMS공정을 이용하여 새도 마스크를 제작하는 대표적인 공정을 보이고 있다. 우선 실리콘 웨이퍼상에 새도 마스크 멤브레인 물질(500nm 두께의 질화실리콘)을 증착한다. 이 층은 최종 멤브레인이 되므로 큰 스트레스가 발생하지 않도록 공정을 선택하여야 한다. 멤브레인에 개방형 패턴을 만들기 위해서는 웨이퍼 윗면에 일반 포토 리소그라피(photo-lithography)공정을 사용하고 질화실리콘층을 에칭한다. 질화실리콘층을 멤브레인으로 만들기 위하여 웨이퍼 아랫면에 동일한 공정(photo-litho-

graphy, etching)으로 멤브레인 영역을 패터닝하고, 마지막으로 KOH액 중에서 실리콘을 에칭하여 질화실리콘 멤브레인을 완성한다. 이때 제작된 스텐실은 질화실리콘 멤브레인에 포토 리소그라피로 제작된 개방형 패턴을 가지고, 그 크기는 최소 수 μm 이다.

만약, $1\mu\text{m}$ 이하의 패턴을 제작하기 위해서는 고분해능(high resolution) 가공방법을 사용해야 한다. 고분해능 방법으로는 전자빔(e-beam) 리소그라피와 이온집속빔(FIB : Focused Ion Beam) 밀링이 있다. FIB 밀링은 Ga 이온을 미리 정의된 영역에 집중적으로 조사하여 물질을 제

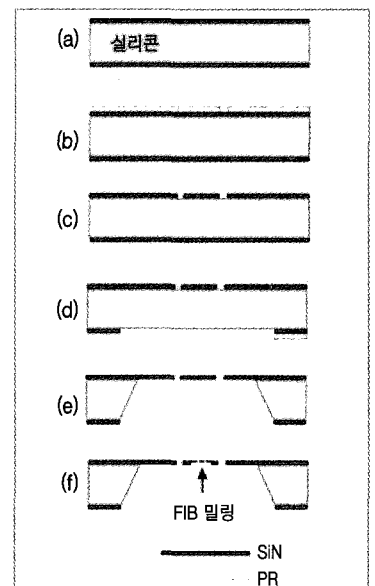


그림 3 나노스케일 새도 마스크 제작 공정(a) SiN 증착, (b) 포토리소그라피, (c) SiN 에칭, (d) 후면 포토리소그라피 및 SiN 에칭, (e) Si 에칭, (f) FIB 밀링

거하는 공정으로서, 최소 선폭 30nm 이하의 초미세 제거가공이 가능하다. 그림 3은 새도 마스크 멤브레인에 FIB 밀링을 이용한 나노 스케일 구멍패턴을 제작하는 공정을 보이고 있다. 한편, 가공하고자 하는 구멍의 크기에 비하여 멤브레인의 두께가 큰 경우에는 우선 두께를 얇게 만든 후, 얇아진 멤브레인에 구멍 패턴을 가공한다. 그림 4에 제작된 새도 마스크의 예를 나타내었다.

새도 마스크를 이용한 마이크로/나노 패턴

새도 마스크를 모재 표면 위에 얹고 스프링, 혹은 폴리머 테이프를 사용하여 고정한 후 원하는 물질을 증착한다. 이때 새도 마스크와 모재 표면간에 간극을 되도록 줄이도록 주의한다. 증착은 주로 전자빔 기화증착(e-beam evaporation)을 사용하는데 이는 진공상태에서 증착입자의 직진성이 좋기 때문에 미세 패턴링이 용이하기 때문이다. 그림 5에서 증착 후 모재 위에 놓여있는 새도 마스크의 SEM 이미지를 나타내었다. 새도 마스크와 표면의 거리는 약 $5\mu m$ 떨어진 상태(proximity)를 보이고 있다. 기화 증착을 수행하면 새도 마스크 표면과 모재 표면 모두 증착된다. 증착 후에 새도 마스크를 표면에서 제거하면 새도 마스크에 정의된 마이크로 패턴을 표면에 얻을

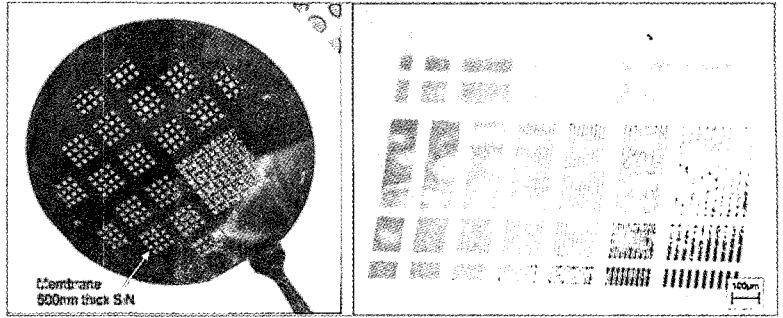


그림 4 제작된 새도 마스크

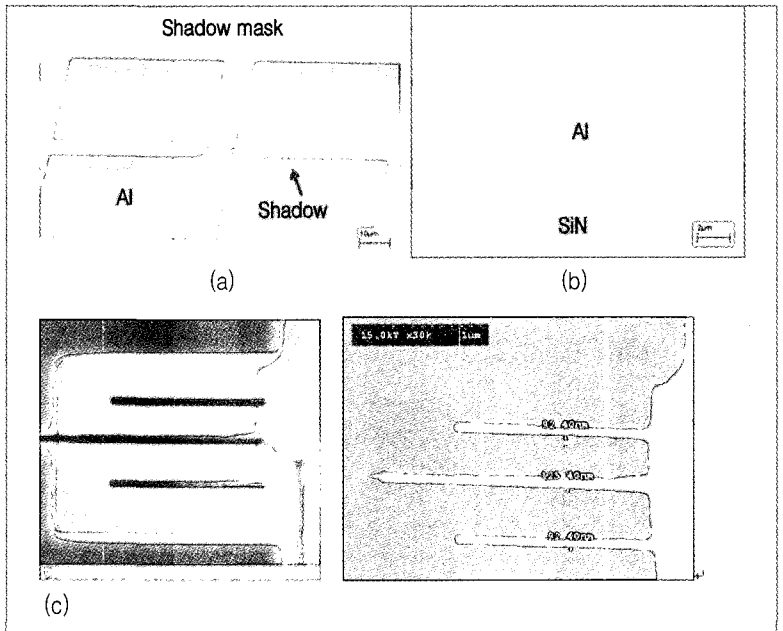


그림 5 증착 후 모재와 새도 마스크(a)와 증착된 마이크로 패턴(b)

수 있다(그림 5 (b)), 동일한 방법으로 최소 50nm의 나노패턴의 제작이 가능하다.(그림 5(c))

새도 마스크 증착의 응용

새도 마스크는 증착물질을 직접 표면에 증착하기 때문에 표면특성에 큰 영향을 받지 않는다. 예를

들어 표면의 가수성(hydrophobicity)을 높이기 위하여 자기조립단분자막(SAM : Self-Assembled Monolayer)처리를 한 표면은 포토 레지스트가 표면에 도포될 수 없고 또한 에칭으로 인한 SAM이 손상될 수 있으므로 그 위에 패턴 제작이 불가능하다. 새도 마스크는 이 경우

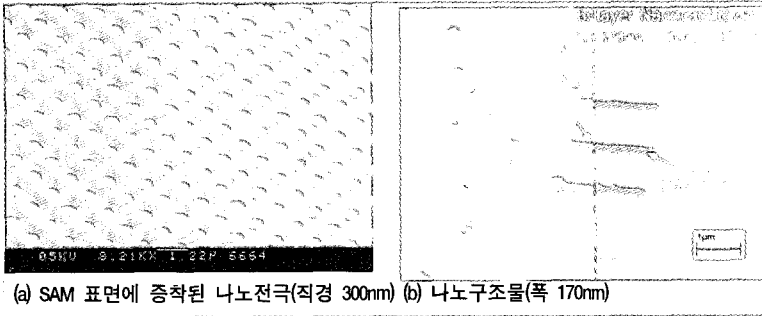


그림 6 새도 마스크의 응용 예

좋은 대체공정이 될 수 있다. 그림 6(a)는 SAM 처리된 표면 위에 나노 전극을 패터닝한 예를 보인다. 또한 증착된 패턴은 에칭공

정의 마스크로 사용되어 증착이 어려운 물질의 패터닝에 응용될 수 있다. 그림 6(b)는 증착된 패턴을 이용하여 여러 가지 에칭공

정을 통하여 제작된 나노 구조물의 예를 보인다. 새도 마스크는 포토 리소그래피를 완전히 대체할 수 있는 공정은 아니지만, 포토 리소그래피를 적용할 수 없는 특수한 경우에 적용 가능한 기술이라 하겠다. 그리고 마이크로 관련 기술이 발전하고 여러 기술들의 융합이 중요시 되는 요즘 시대에는 보다 다양한 재료와 공정 유연성이 강조되기 때문에 앞으로 더 많은 분야로 응용될 수 있는 기술이라 하겠다.

기계용어해설

슬라이드게이트(Slide Gate)

비교적 소형의 게이트로서 수위 밸런스 조작을 하는 경우에 많이 쓰이며 조작 저항이 크지만 구조가 간단하고 설치 비용이 작은 장점을 가진 게이트로서 상하로 슬라이드하는 특징을 가지는 게이트를 말한다.

보닛(Bonnet)

고압의 슬라이드게이트에서 보닛은 고압의 수압을 견디기 위해 게이트를 감싸는 구조물로서 수평거더와 수직거더 및 스킨으로 구성되어 있다.

코너강성(Corner Stiffness)

보닛에서 수평거더는 보닛의 스킨(skin)과 함께 H빔의 구조를 하고 있으며, 수평거더의 각코너지 부분에서 강성을 코너강성이라고 명시하였다.

나노 인덴테이션(Nano-indentation)

압입자를 수um 혹은 수 nm로 박막에 압입하여 박막을 나노미터 스케일로 변형시켜서 박막의 경도와 탄성계수등을 측정하는 방법

도금강판(Coated Steel Sheet)

자동차 내외판 재료로서 산화와 부식에 견디기 위해 냉연강판 표면에 10um 내외의 얇은 도금층을 형성시킨 강판

탄소성거동(Elasto-plastic Stress-strain Behavior)

재료의 탄소성 거동을 표현하는 방법 중 하나로 본 연구에서는 Hollman 식을 사용한다.

표준정규분포(Standard Normal Distribution)

도수분포곡선이 평균값을 중앙으로 하여 좌우대칭인 종 모양을 이루는 확률분포