

# 응집물질물리실험 예비보고서

## 실험주제 : Photo lithography

HuiJae-Lee<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Physics Department, Inha University  
(Dated: October 24, 2022)

Photo lithography 공정을 직접 진행해보고 공정의 과정과 photo mask, photoresist, etching, deposition 등 공정에 필요한 요소들을 알아본다.

## I. INTRODUCTION

Photo lithography는 반도체의 실제 회로를 만드는 과정이다. 반도체의 표면에 감광액을 바르고 자외선을 조사하여 감광액에 화학적 변화를 일으킨다. 이 때 조사하는 자외선은 포토마스크로 걸러지는데 이 포토마스크는 회로 패턴에 맞게 자외선을 걸러낸다. 포토마스크의 패턴에 맞게 자외선에 조사되어 감광액에 변화가 일어나면 더이상 필요하지 않은 감광액을 제거하여 반도체의 표면에 회로 패턴을 새기는 과정으로 진행한다(FIG. 1).

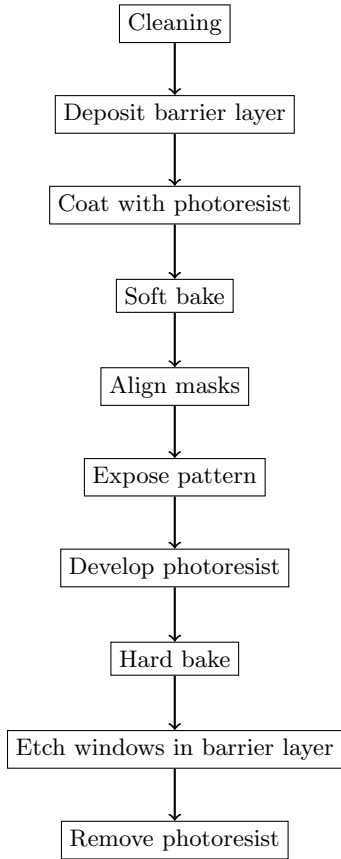


FIG. 1. Photo lithography 순서도

## II. EXPERIMENT

### A. Theory

#### 1. Cleaning

회로의 제작은 특정한 비저항을 가지는 웨이퍼 위에서 이루어진다. 웨이퍼는 미립자 수준의 작은 물질과 물질의 흔적을 제거하기 위해 화학적으로 세척된다. 이 때 불산 용액을 사용하며 웨이퍼 표면 위의 산화물을 모두 제거한다. 탈이온수 또한 사용하는데 이는 불산이 제거하지 못한 물질들을 제거한다(FIG. 2).

#### 2. Barrier layer formation

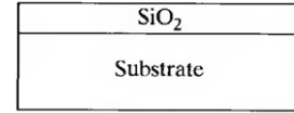


FIG. 2. SiO<sub>2</sub> 증착

Cleaning 과정 이후에 웨이퍼는 barrier layer로 덮인다. 이 때 주로 SiO<sub>2</sub> 혹은 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>를 이용한다.

#### 3. Photoresist application

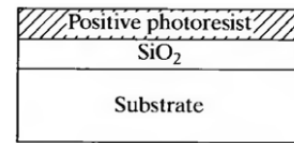


FIG. 3. 감광 물질은 SiO<sub>2</sub> layer 위에 코팅된다.

SiO<sub>2</sub> layer가 구성되면 웨이퍼는 다시 감광 물질로 덮인다. 감광 물질이 잘 부착되기 위해서는 표면이 깨끗하고 건조해야 하지만 이 감광 물질이 잘 붙지 않는 문제가 흔히 발생한다. 이를 해결하기 위해, 접착력을 높여주는 물질로 HMDS를 이용한다. 감광 물질은 주로 액체이기 때문에 웨이퍼를 진공에서 고속으로 회전시켜 감광 물질을 접착시킨다(FIG. 3).

\* hjlee6674@inha.edu

4. Soft baking

Soft baking은 감광 물질의 접착력을 높이고 접착되지 않은 감광 물질을 제거하기 위한 건조 과정이다. 5 30분 동안 60 100°C의 온도에서 진행한다.

5. Align masks

Photo mask에는 복잡한 패턴이 새겨져 있어 이를 웨이퍼에 옮기는 과정을 거쳐야 한다. Photo mask가 정확한 위치에 패턴을 옮겨야 하므로 mask들의 위치를 정렬하는 과정을 거친다.

6. Photoresist exposure and development

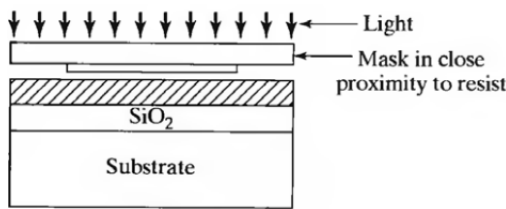


FIG. 4. 웨이퍼에 옮겨야 할 패턴이 mask에 새겨져 있으며 감광 물질의 종류에 따라 mask에 패턴이 새겨진 방식이 달라진다.

Mask를 정렬했다면 감광 물질들은 mask를 통해 강한 자외선에 노출된다. 감광 물질들이 자외선에 노출된 부분들은 SiO<sub>2</sub>가 추후에 제거될 부분들이다. 자외선에 노출된 감광 물질들은 아래층에 존재하는 SiO<sub>2</sub>가 노출되도록 씻겨 내려간다. 이렇게 씻겨 내려가는 감광 물질을 positive resist라고 부르며 이 종류의 감광 물질을 사용할 때 mask는 웨이퍼의 표면에 남아 있어야 할 패턴을 포함한다(FIG. 5).

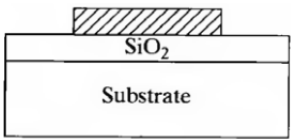


FIG. 5. Positive photoresist의 경우 자외선에 노출된 부분이 씻겨진다.

이와 반대로 작용하는 negative resist는 자외선에 노출되지 않은 부분이 씻겨 내려가며 이 종류의 감광 물질을 사용할 때 mask는 웨이퍼의 표면에서 제거되어야 할 패턴을 포함한다. Negative resist는 IC 회로를 구성하는데 주로 사용되며 positive resist는 비교적 작은 스케일의 구조를 다루기에 적합하다(FIG. 6).

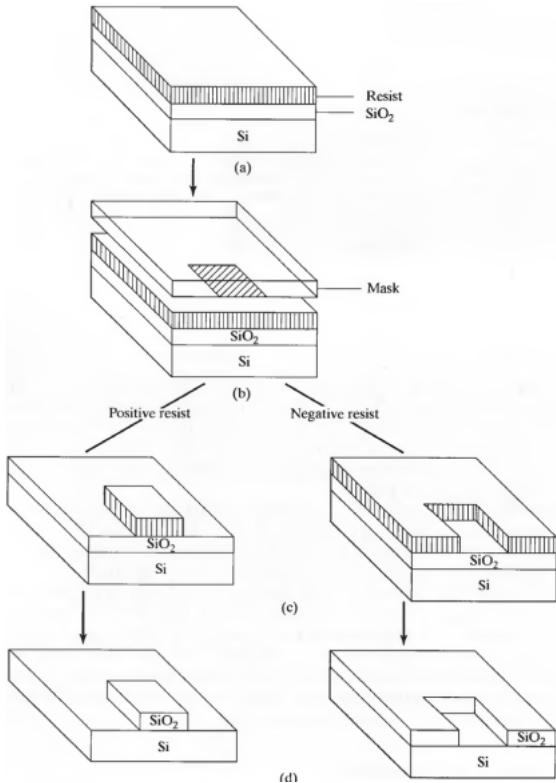


FIG. 6. Positive resist와 negative resist를 사용할 때 패턴을 새기는 과정

7. Hard baking

자외선에 감광 물질을 조사하고 SiO<sub>2</sub> layer를 노출시켰으면 감광 물질을 더 단단하게 하고 웨이퍼에 대한 접착력을 향상시키기 위해 다시 한번 건조, 가열 과정을 거친다. 20 30분 동안 120 180°C의 온도에서 진행한다.

8. Etch windows in barrier layer

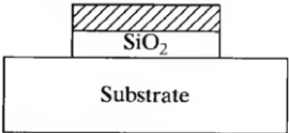


FIG. 7. Etching을 통해 노출된 SiO<sub>2</sub>는 제거된다.

Etching은 감광 물질에 덮여있지 않은 부분의 SiO<sub>2</sub>를 깎아내는 과정으로 wet chemical etching과 dry plasma etching이 있다(FIG. 7).

- A. Wet chemical etching은 웨이퍼를 용액에 담그는 방식으로 플루오린화 수소산(HF)가 포함된 용액을 사용한다. 실온에서 플루오린화 수소산이 감광 물질이나 웨이퍼를 깎는 속도보다 SiO<sub>2</sub>를 깎는 속도가 더 빠르다는 점이 이용한다. 물질을 깎는 비율이

온도에 의존하기 때문에 온도를 세밀하게 관리해야 한다. Wet chemical etching의 단점 중 하나는 모든 방향에서 동등하게 etching이 진행된다는 것이다. 이는 패턴의 선폭이 감광 물질의 두께와 유사한 길이일 때 중대한 문제가 될 수 있다(FIG. 8).

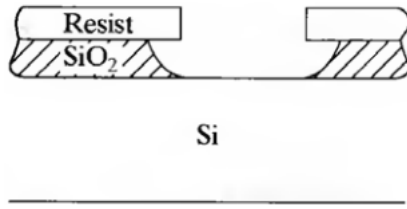


FIG. 8. Wet chemical etching에 의한 etching은 감광 물질이 씻겨나간 부분보다 더 많은 SiO<sub>2</sub>를 깎을 수도 있으며 이는 중대한 문제가 될 수 있다.

- B. Dry plasma etching은 적은 양의 반응 가스만을 필요로 하는 방법으로 플라즈마를 이용한다. Wet chemical etching과 달리 undercutting이 발생하는 문제를 피할 수 있다.

#### 9. Remove photoresist

감광 물질은 감광 물질의 접착력을 잃도록 하는 액체를 이용하여 제거한다(FIG. 9).

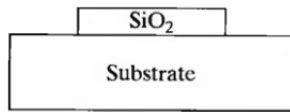


FIG. 9. Etching 이후 감광 물질을 제거한 모습

### B. Deposition

Deposition은 다양한 금속을 웨이퍼의 표면에 얇게 쌓는 과정이다.

#### 1. Sputtering

Sputtering은 목표지점에 이온을 강하게 충돌시켜 depositoin하는 방법이다. 주로 Ar<sup>+</sup>가 쓰인다. 이번 실험에서는 구리 이온을 이용한다. 이온은 충돌하며 deposition이 발생하는 물질로 운반된다. Sputtering으로 deposition하기 위해 넘어야 할 threshold energy가 존재하여 입사시키는 이온의 energy를 이 값보다 크게 해야 한다.

#### 2. Chemical vapor deposition

Chemical Vapor Deposition(CVD)은 기체 화합물의 반응이나 열을 이용해 표면에 얇게 쌓는 방법이다.

CVD reactor는 여러 종류가 있으며 APCVD, LPCVD, PECVD가 대표적이다(FIG. 12). APCVD(Atmospheric Pressure CVD)는 silicon dioxide passivation의 deposition에 사용되며 반응 기체의 높은 흐름율을 필요로 한다. LPCVD(Low-Pressure CVD)는 높은 온도와 낮은 압력을 필요로 하며 polysilicon, silicon dioxide, silicon nitride의 deposition에 사용된다. PECVD(Plasma-Enhanced CVD)는 plasma를 이용해 낮은 온도에서도 반응이 일어나도록 한다.

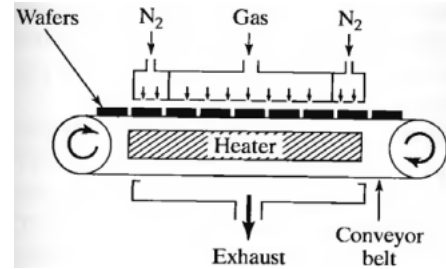


FIG. 10. APCVD reactor

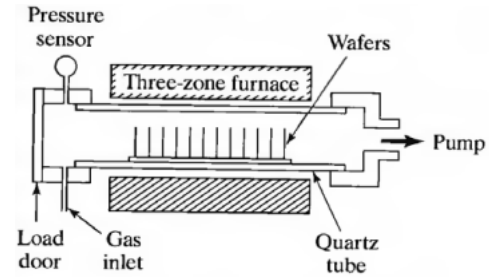


FIG. 11. LPCVD reactor

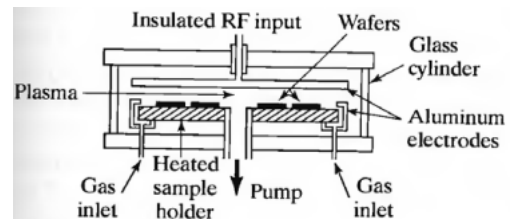


FIG. 12. PECVD reactor

### C. Experimental Methods

1. 먼저 실험에 필요한 장비들을 아세톤과 알코올로 세척한다. 세척 후 블로워를 이용하여 건조시킨다. 이번 실험의 장비 세척을 실험 결과에 많은 영향을 미치므로 보다 세심하게 세척해야 한다.
2. 웨이퍼에 감광 물질을 도포한다. 도포 과정은 스핀 코터를 이용하여 진행한다. 감광 물질은 자외선에 반응하기 때문에 옐로우룸에서 진행한다.
  - a. 스핀 코터는 1000RPM 부터 4000RPM까지 1000 단위로 높여가면서 진행하며 각 RPM에

- 대한 RamP와 Time 값은 모두 10으로 설정한다.
- b. 스핀 코터를 위 조건으로 세팅하고 Vacuum 버튼을 눌러 웨이퍼를 고정시킨다.
  - c. 웨이퍼가 고정되면 스포이드를 이용하여 감광 물질 도포를 시작한다. 이 때 기포가 발생하지 않도록 주의해야하며 도포 이후에도 옐로우룸 밖에서 자외선이 들어오지 않도록 한다.
3. 웨이퍼를 소프트 베이킹한다. 베이킹 온도는 130°C이다.
  4. 웨이퍼에 자외선을 노광한다.
    - a. UV 노광 장비의 본체, UV 램프, 노광 장비 순으로 전원을 인가한다. 컴퓨터의 프로그램을 켜면 UV 램프의 전원을 켤 수 있다. 전원을 켜 후 3.5 ~ 3.7A로 안정될 때 까지 대기한다. 안정화가 완료되면 stable 표시가 화면에 나타난다.
    - b. Mask Holder Lock 버튼을 눌러 잠금을 해제하고 마스크를 넣는다. 마스크를 고정하기 위해 Mask Vacuum 버튼을 눌러야 한다.
    - c. Sample stage에 웨이퍼를 올린다. 웨이퍼를 고정하기 위해 Sample Vacuum 버튼을 눌러야 한다.
    - d. Aligner 위 아래쪽에서  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 축 rotation을 조정할 수 있다. 이는 마스크의 위치를 조절하는데 사용한다.
  - e. 준비가 끝나면 position을 exposure로 바꾸어 주고 exposure 버튼을 눌러 노광을 진행한다. 노광이 끝나면 Sample Vacuum을 해제하고 웨이퍼를 꺼낸다.
  5. 노광이 끝나면 현상액으로 웨이퍼를 현상한다. 현상이 끝나면 증류수로 현상액을 제거하고 블로워로 건조시킨다.
  6. 웨이퍼를 하드 베이킹하여 밀착력을 높인다.
  7. 하드 베이킹이 끝나면 금속을 증착시킨다. 사용되는 금속은 구리이며 증착기를 이용한다.
    - a. 증착기 위에 웨이퍼를 올리고 테이프를 고정하고 증착기에 전원을 인가한다.
    - b. Cycle 버튼을 눌러 증착기를 작동시키면 금속 플레이트가 웨이퍼 위에 쌓인다. Cycle 버튼이 2번 깜박이면 버튼을 두번 눌러서 증착기를 켜다 켜다.
    - c. 증착이 완료되면 전원을 끄고 진공이 풀린 후에 웨이퍼를 꺼낸다.
  8. 박리 과정을 진행하여 감광 물질을 걷어낸다. 박리는 웨이퍼를 아세톤에 5분 가량 담구어 진행한다.

---

[1] R. C. Jaeger, *Introduction to Microelectronic Fabrication* (Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., USA, 1987).

[2] D. Neamen, *Semiconductor Physics And Devices*,

McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering (McGraw-Hill Education, 2003).

[3] C. Kittel, P. McEuen, and P. McEuen, *Introduction to solid state physics*, Vol. 8 (wiley New York, 1996).