

실리콘 선택적 기상 성장을 이용한 마이크로 센서에 응용되는 구조물 제조법

박정호^o, 김종관, 김상영, 성영권
고려대학교 전기공학과

Application of selective Epitaxial Growth of Silicon on MEMS Structure

J. Jungho Pak, Jong Kwan Kim, Sang Young Kim, Yung Kwon Sung
Dept. of Electrical Engineering, Korea University

Abstract

SEG(Selective Epitaxial Growth) and ELO(Epitaxial Lateral Growth) of Silicon offer new opportunities in the fabrication of MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems) structures. SEG of silicon enables the stacking of junctions in addition to those resulting from the standard bipolar process and this property was utilized for the fabrication of an improved-performance color sensor. When the crystalline growth takes place through the seed windows and proceeds over the dielectric, after reaching the surface, it form an ELO silicon layer and this ELO-Si can be modified into various structures for MEMS application such as cantilevers, beams, diaphragms.

1. 서론

실리콘 선택적 성장기술(SEG: Selective Epitaxial Growth; ELO: Epitaxial Lateral Overgrowth)은 마이크로 센서에 필요한 구조를 구현하는 동시에 IC 집적회로를 실리콘 기판 위에 실현시킬 수 있는 기술로서 다른 공정기술로서는 실현하기 어려운 독특한 구조 뿐만 아니라 불순물 농도의 3차원적 조절이 가능케 하는 기술이다. 선택적 실리콘 성장기술은 실리콘 표면을 산화막이나 질화막과 같은 유전체로 입힌 뒤 성장을 원하는 부분만 실리콘이 드러나도록 유전체를 식각하여 이 부분(seed area)에서만 실리콘 성장이 되도록 공정조건을 조절하여 실리콘을 선택적으로 성장시키는 기술이다.^[1]

이 기술은 초기에는 특수한 고속 소자의 제작에 응용하기 위하여 개발이 되어 여러가지 다양한 실리콘 반도체 소자의 제작에 기여하였다. 이 기술은 마이크로 센서 구조의 구현에도 응용되기 시작하여 실리콘 압력센서나 가속도 센서의 중심구조가 되는 얇은 막막이나^[2] 광변조 소자를 위한 공진기 구조의 제조에도^[3] 이용되었고, 최근에는 성장되는 실리콘에 불순물 농도의 수직적 조절이 가능한 것을 이용하여 색깔에 따른 다른 전기적 신호를 산출하여 색깔을 감지하는 센서의 제작에도 응용이 되었다.^[4] 본 논문에서는 이렇게 마이크로 센서의 구조물에 응용이 되고 있는 실리콘 선택적 성장 기술에 관한 설명과 몇 가지 마이크로 센서의 구조와 특성을 소개하겠다.

2. 실리콘 선택적 기상 성장 기술

실리콘 선택적 기상 성장은 주로 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 리액터에서 이루어지며 실리콘을 공급하는 기체로는 SiH₄, SiHCl₃, SiH₂Cl₂ 그리고 SiCl₄가 가장 널리 사용된다. 수소가 운반을 담당하는 기체로 사용되고, HCl은 유전체 위에서 중착되는 다결정 실리콘을 식각하는 작용을 하여 실리콘의 선택적 성장을 유지시킨다. 일반적인 성장온도는 850℃~1300℃정도이며 압력조건은 10~150 Torr 정도에서 이루어진다. 표 1은 실리콘 선택적 성장에 사용되는 가스의 반응식과 각각의 특징을 보여준다.

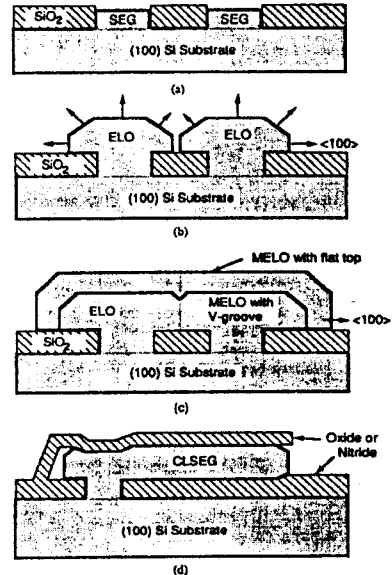


그림 1 실리콘 선택적 성장의 여러가지 형태
(a) Selective Epitaxial Growth(SEG)
(b) Epitaxial Lateral Overgrowth(ELO)
(c) Merged ELO(SEG)
(d) Confined Lateral SEG(CLSEG)

기체의 유량, 온도, 압력 등의 성장조건을 최적화시키면 그림 1(a)와 같이 실리콘의 선택적 성장(SEG-Si)이シリ

표 1. 실리콘 기상 성장에 사용되는 가스 및 그들의 반응식

Source Gas	Reaction	Comments
SiCl ₄	· SiCl ₄ +2H ₂ → Si+4HCl	chemically stable, high deposition temperature(1100~1300°C), lowest reaction efficiency
SiHCl ₃	· SiHCl ₃ → SiCl ₂ +HCl · SiCl ₂ +H ₂ → Si+HCl	lower deposition temperature (850~1100°C), reduced autodoping and diffusion
SiH ₂ Cl ₂	· SiH ₂ Cl ₂ → SiCl ₂ +H ₂ · SiCl ₂ +H ₂ → Si+HCl	lower deposition temperature (850~1100°C), highest reaction efficiency (deposited Si/necessary gas amount)
SiH ₄	· SiH ₄ → Si+2H ₂	lower deposition temperature, unstable gas, contamination of reactor wall & Si surface

론이 드러난 표면(seed area)에서만 이루어지고, 그러한 조건이 계속될 때 실리콘이 선택적 성장이 계속 진행이 되어서 유전체의 높이보다 높아지면서 그림 1(b)과 같이 측면으로도 성장을 하게 된다 (ELO). 이러한 ELO-Si이 절연체 마스크 양쪽에서 측면 성장을 하여 만나게 되면 (Merged ELO-Si or MELO-Si) 그림 1(c)과 같이 국부적인 SOI(Silicon-on-Insulator)구조를 이루게 된다. 그림 1(d)는 실리콘 선택적 성장의 한 가지 예로서, 유전체로 벽을 만들어서 실리콘 성장이 진행되는 공간을 제한하여 원하는 두께와 길이로 단결정 실리콘을 선택적으로 성장시키는 방법이다 (Confined Lateral SEG).

3. 마이크로 센서를 위한 실리콘 선택적 성장의 응용

3.1. 전기기계적 센서를 위한 얇은 박막 제조

그림 1(c)에서 보여진 것과 같이 MELO-Si로 국부적인 SOI구조를 구현하여 실리콘 웨이퍼 뒷면에서 이방성 식각으로 몸체 가공을 하면 SOI구조의 밑면에 위치한 SiO₂가 식각정지 역할을 하여 단결정 실리콘으로 이루어진 캔틸레버를 만들 수 있다 (그림 2(a)). 이러한 캔틸레버의 끝에 추의 역할을 하는 질량을 매달면 기본적인 가속도계의 구조가 된다. 그러나 실리콘 선택적 성장의 특성상 수직 성장도와 수평성장도가 거의 동일하기 때문에 그림 2(a)의 구조로는 얇고 넓은 캔틸레버를 구현하기가 어렵고 따라서 외부의 자극에 대한 민감도가 상대적으로 약해지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 그림 2(b)와 같이 다수의 국부적 SOI구조를 아주 가깝게 근접시켜서 뒷면에서 이방성 식각을 하게 되면 식각률이 가장 낮은 <111> 결정면과 SiO₂의 연합으로 식각정지가 이루어지고 넓고 얇은 단결정 실리콘 박막을 구현할 수 있게 된다. 이러한 박막은 가속도 센서의 질량을 지탱하는 민감도가 높은 브릿지의 역할을 할 수 있고 또한 압력센서의 박막에도 적용을 할 수 있게 된다. 이 기술에서는 박막의 두께 조절을 식각에 의해서 하지 않고 실리콘 성장율로 하게 되는데 성장율은 보통 0.1µm/min 정도로 조절한다.

그림 3은 이러한 박막을 가속도계에 적용시킨 구조의 SEM 사진이고 두께 10µm, 길이 420µm, 폭 170µm인 박막으로 제작한 4개의 다리로 가운데 질량을 지탱하는 bridge-type 가속도계를 제작하여 286.88 µV/V-g의 민감도와 2.026 kHz의 공진주파수의 특성을 구현하였다. 그 외에도 기계화학적 폴리싱 (CMP : Chemical Mechanical Polishing)을 실리콘 선택적 성장 기술과 합하게 되면 얇고 좁고 긴 단결정 실리콘 캔틸레버를 비롯하여 여러 가지 새로운 구조물을 구현할 수 있다.

3.2. 실리콘 선택적 성장을 이용한 색깔 감지 센서

실리콘 선택적 성장기술의 또 다른 큰 장점은 성장되는 실리콘의 불순물 농도의 수직적 조절이 가능한 것이고

그것을 이용하여 하나의 구조로 면적을 최소화한 빛의 삼원색 (적, 녹, 청색)을 감지하는 센서가 제작되었다.^[4] 일반적으로 색깔의 정보는 빛의 삼원색인 세 가지 색깔에 따라 다른 분광 반응을 나타내는 세 개의 광탐지기를 이용하여 나타나는 각각의 전기적 신호를 종합하여 재구성할 수 있는데 이러한 구조는 각 화소에 세 개의 광다이오드와 삼원색에 해당하는 폴리머 필터가 요구되므로 비효율적이다.^[5] 또한 광다이오드의 분광반응이 역방향 전압을 변화시킴으로 조절할 수가 있음을 이용하여 하나의 광다이오드를 각 화소의 색정보를 구할 수도 있으나 time-multiplexing이 필요한 단점이 있다.^[6]

SEG를 이용하게 되면 그림 4와 같이 여러개의 광다이오드를 수직적으로 제작할 수 있고, 또한 필요한 조건에 따라 불순물의 농도조절이 가능하기 때문에 효율이 높은 소형의 색깔 센서의 제작이 가능해진다. 그림 5는 실리콘에서 빛의 파장에 따른 빛의 흡수율을 표준화한 그림이다. 빛의 흡수율은 파장이 400nm일 때 10⁴ cm⁻¹ 인 것이 파장이 800nm일 때는 10² cm⁻¹로 떨어짐을 보여준다. 청색의 경우 실리콘의 표면에서 300nm정도로 내려가면서 70%가 흡수되나 적색의 경우 수µm까지 조금씩 흡수되면서 진행함을 볼 수 있다. 그림 5에 나타난 빛의 흡수율을 고려하여 최적의 반응을 나타내기 위하여 가장 위의 다이오드의 공핍층이 50~200nm에 위치하도록 하고, 중간 다이오드의 공핍층은 200~800nm에, 그리고 맨 밑의 다이오드의 공핍층은 1500~5000nm에 펼쳐지도록 불순물 농도와 p-n 접합부의 위치를 조정하였고 그 결과는 그림 6에 나타난 것과 같이 비슷하게 나타났다.

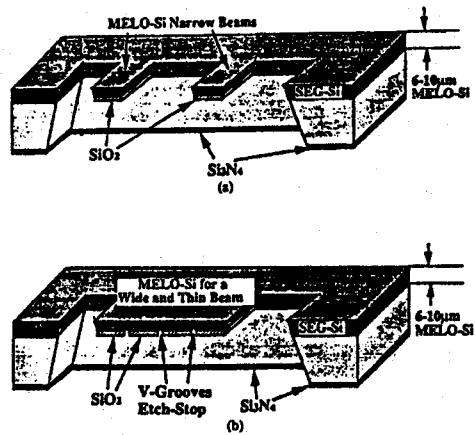


그림 2. MELO-Si을 이용하여 구현되는 단결정 실리콘 박막제조. (a) SiO₂ 식각정지만을 이용하여 만드는 폭이 좁은 실리콘 캔틸레버, (b) SiO₂ 식각정지와 식각율이 낮은 <111> 결정면의 연합으로 만드는 얇고 넓은 박막.

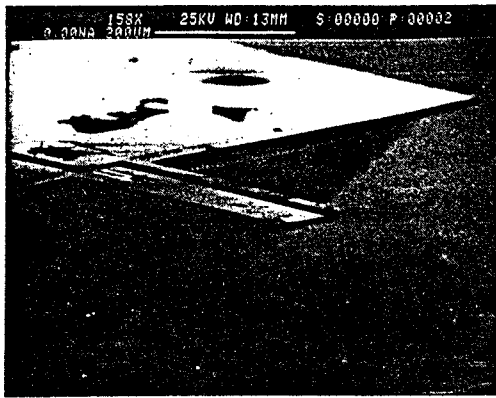


그림 3. MELO-Si을 이용하여 얇고 넓은 박막을 제조하여 bridge-type 가속도계의 다리부분으로 사용한 경우의 SEM 사진

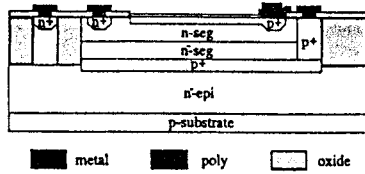


그림 4. 수직적으로 세 개의 광다이오드구조를 구현하여 제작된 색감지 센서의 구조도^[4]

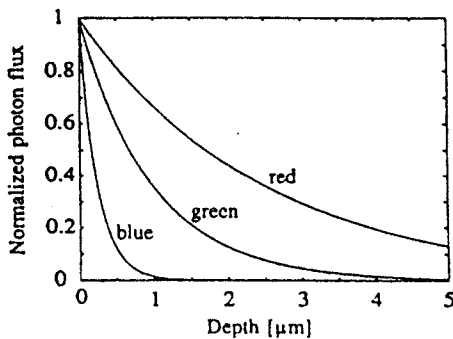


그림 5. 실리콘내에서 적색, 녹색, 청색의 흡수율을 계산하여 나타낸 그림^[4]

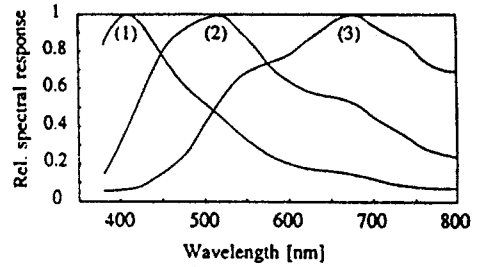


그림 6. 제작된 색감지 센서로부터 측정된 상대적인 분광 반응곡선^[4]. 감광면적은 500 μ m \times 500 μ m. 곡선 1: 맨 위 광다이오드, 곡선 2: 중간 광 다이오드, 곡선 3: 밑의 광 다이오드.

4. 결론

본 논문에서는 실리콘 선택적 성장기술을 이용하여 마이크로 실리콘 마이크로 센서에 필요한 구조물제작이 가능함과 다른 기술로는 성취하게 어려운 수직적인 불순물 농도의 조절을 하여 한 면적에 여러개의 광다이오드를 제작하여 광성분을 인지하는 센서를 제작할 수 있음을 보였다. 실리콘 선택적 성장기술은 아직은 비용이 많이 들기 때문에 비교적 많이 쓰이지는 않고 있으나 다른 기술로 성취하기 어려운 특수한 구조나 불순물 농도의 수직적 조절의 구현이 가능하기 때문에 마이크로 센서에 새로운 기술로 응용분야가 늘 전망이 있다.

5. 참고문헌

- [1] L. Jastrzebski, J.F. Corboy, J.M. McGinn and R. Pagliaro, "Growth Process of Silicon over SiO₂ by CVD: Epitaxial Lateral Overgrowth Technique", J. Electrochem. Soc., vol. 130, pp.1571~1587, 1983.
- [2] J.J. Pak and G.W. Neudeck, "MELO-Si Accelerometer Fabrication and Its Response Characteristics", 1995년도 대한 전기학회 MEMS 연구회 학술발표회 논문집, pp.93~104, 1995.
- [3] H-C. Chao and G.W. Neudeck, "High Finesse Fabry-Perot Cavity using MELO-Si Technique for Optical Intensity Modulator in Silicon", submitted for publication.
- [4] M. Bartek, P.T.J. Gennissen, P. Sarro, P.J. Freuch and R.F. Wolfenbittel, "An Integrated Silicon Colour Sensor Using Selective Epitaxial Growth", Sensors and Actuators, A41~A42, pp.123~128, 1994.
- [5] P.L.P. Dillon, A.T. Brault, J.R. Horak, E. Garcia, T.W. Martin and W.A. Light, "Fabrication and Performance of Color Filter Arrays for Solid State Images", IEEE Trans. Elect. Dev., ED-25, pp.97~101, 1984.
- [6] R.F. Wolfenbittel, "Photodiodes in Silicon with an Electrically-Programmable UV Response", Sensors and Actuators, A21~A23, pp.559~563, 1990.