

램프 가열 방식 LPCVD 장비의 설계 및 제작

하용민, 김태성, 김충기

한국과학기술원

Design and Implementation of Lamp-Heated LPCVD System

Ha, Yong-min Kim, Tae-sung Kim, Choong-ki

Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

A lamp heated LPCVD equipment has been made. Wafer is heated by an array of fifteen tungsten halogen lamps above the front side of a wafer and pyrometer views the back side of the wafer through CaF_2 window. Reactor which consists of a quartz window and a water cooled-stainless steel plate can be evacuated to 5×10^{-3} torr with a rotary vane pump.

By pyrolysis of SiH_4 at about 600°C , polysilicon has been formed on the silicon dioxide film. The measured results show that thickness nonuniformity is 15% and temperature nonuniformity is 1.1%. Because activation energy of pyrolysis of SiH_4 is very high, about 1.8eV, small temperature variation will induce large thickness nonuniformity. The main cause of temperature nonuniformity is unsymmetry of lamp power and an unbalanced cooling structure. Charls & Evans' SIMS result shows that the oxygen content in the deposited polysilicon is comparable to that of silicon substrate but carbon content is ten times higher.

I. 서론

반도체, 절연막, 금속, 실리콘사이드 등의 박막 형성은 VLSI 소자 제작에서 매우 중요한 공정이다. 현재 생산 라인에서는 주로 batch type의 LPCVD를 이용해서 한번에 수십장의 웨이퍼에 산화막이나 실리콘 박막을 형성하고 있지만 웨이퍼의 직경이 점점 커지고 소자가

점점 집적화되어 감에따라 새로운 구조의 CVD장비가 필요하게 되었다.

텅스텐 할로겐 램프를 열원으로하는 급속 열처리장치(RTP)가 최근 개발되어 불순물 이온주입(implantation) 후의 활성화 공정, 실리콘사이드 형성, 얇은 p-n접합 형성등에 널리 사용되고 있는데[1-5], 램프가열방식의 LPCVD는 기존의 RTP장치에 진공 장치와 반응기체 공급장치를 부가하여 CVD가 가능한 장치로서, 짧은 시간에 원하는 온도로 만들고 균일하게 가열하여 원하는 박막을 직경이 큰 웨이퍼 전면에서 균일하고 재현성있게 얻을 수 있는 장점을 지닌다. 최근들어 이 장치를 이용하여 반응기체와 온도를 바꾸어 줌으로써 두세층의 Si이나 Si-Ge 단결정 박막을 성장시키고 소자를 제작하는 연구가 활발하다[6-8].

본 논문에서는 텅스텐 할로겐 램프를 열원으로하는 램프가열 방식의 LPCVD 장치를 설계, 제작하고 다진경 실리콘 박막을 형성하는 실험을 통하여 문제점을 파악하고 해결책을 모색해본다.

II. 설계에서의 주요 고려사항

웨이퍼의 직경이 10인치 이상의 공정이나 ASIC 공정에서는 RTCVD와같은 single 웨이퍼 공정이 유리하지만, RTCVD가 생산라인에 도입되기에는 시기상조이며 그 이전에 해결해야 할 문제점이 몇가지 있다.

1) 온도감지

공정 웨이퍼의 온도를 일정하게 하기 위해서는

온도를 정확하게 측정하는 것이 필수적인데, 기존의 LPCVD 장치에서 많이 이용되는 일진쌍에 의한 측정 방법은 부식에 의한 오입, 웨이퍼와의 열적 접촉(thermal contact)의 불완전한 점 등의 문제점이 있기 때문에 웨이퍼에서 방출하는 복사열을 감지하는 optical pyrometer를 많이 사용하고 있다. 실리콘 웨이퍼 표면의 emissivity가 웨이퍼의 온도, 패턴의 형태, 표면 거칠기, 박막의 종류와 두께등에 따라 크게 변하기 때문에 단파장 대역의 pyrometer로 온도를 측정할 경우 오차가 매우 크다. 이 문제는 기존의 RTP에서도 존재해 왔지만 CVD공정에서는 박막이 증착되면서 웨이퍼의 emissivity가 지속적으로 변화하기 때문에 공정중의 온도도 지속적으로 변화하므로 더욱 심각하다고 할 수 있다.

2) 온도의 균일성

기존의 RTP에서도 웨이퍼 가장자리의 일손실 때문에 온도차이가 생기고 입응력에 의하여 슬립(slip)이 발생하는 문제가 있었다. LPCVD 공정에서는 박막의 균일도가 2도에 의하여 좌우되므로 더욱 온도의 균일성이 높아야한다. SiH₄를 일본해하여 나길점 실리콘을 형성할 경우 활성화 에너지를 1.6eV로 가정하고 박막 두께의 차이를 5%이내로 하려면 온도는 0.25% 이상 차이가 나서는 안된다. 그러므로 넓은 온도 범위에서 균일한 온도 분포를 갖는 구조의 가열 방식을 설계하고 제작하는 것이 가장 중요하고 어려운 일이다.

3) 반응 용기(reaction chamber) 설계

할로겐 램프의 빛이 부과되는 창은 석영으로 이루어져있고 반응 용기를 진공으로 만들때 기압차에 의한 힘을 견뎌만큼 두꺼워야한다. 동근 원판의 최대 bending stress는 (1)식으로 표시된다[9].

$$\sigma = k \left(\frac{d}{t} \right)^2 P \quad (1)$$

여기서 d는 원판의 직경, t는 석영판의 두께, p는 압력차이, 그리고 k는 stress factor를 나타낸다. 석영의 k는 0.1875정도이고 석영이 견딜 수 있는 응력은 1500~4000 psi정도이기 때문에 설계여유를 2로하면 직경 25cm의 석영판의 두께는 적어도 1.2cm는 되어야한다. 웨이퍼의 직경이 커지면 석영창의 직경도 커져야하고

그만큼 두께도 두꺼워져야함을 말해주는데, 석영창의 두께가 증가하면 웨이퍼의 복사열에 의해 가열된 창을 효율적으로 냉각하기가 어려워진다. 석영창이 가열되면 창에 박막이 형성되어 재현성을 저하시키게 된다.

반응 용기는 주로 석영창과 스테인레스 외벽과 고무오링으로 연결되어있는데 석영창이 과일되거나 오링이 직접 빛을 흡수할 경우는 외부로부터 공기가 유입되거나 오-링으로부터 불순물이 유입될 수 있기 때문에 냉각을 잘해야하며, 오-링이 직접 빛에 노출되지 않도록 설계해야한다.

4) 반응기체 흐름의 균일성

박막의 균일성에 영향을 끼치는 요소로서 온도 이외에 또 하나가 있는데 바로 기체의 흐름이다. 온도의 영향을 줄이기 위해 활성화 에너지가 낮은 반응 기체를 선택하거나, 확산제어 반응영역에서 박막을 증착하는 경우에는 기체의 흐름의 균일성이 상대적으로 중요해진다. 동근 링형 주입구를 사용하여 웨이퍼 전면에 기체를 분사하는 방법이 손쉬운 방법이고 shower식으로 분사하는 방법이 효율적이라 할 수 있다. 이상에서 언급한 것 이외에도 생산성 향상의 문제가 있으며, 증착하고자하는 박막의 종류에 따라 복수한 문제점들이 있을 수 있다.

III. 제작된 장비의 구조

15개의 텅스텐 할로겐 램프를 열원으로하는 LPCVD장비는 크게 네 부분으로 분류할 수 있다. 반응이 일어나는 반응용기(reaction chamber), 반응기체의 공급과 흐름을 조절하는 반응기체 공급계, 반응 용기를 진공으로 만들기 위한 펌프와 진공 조절장치로 이루어진 진공계, 그리고 진 시스템을 조절할 수 있는 컴퓨터와 제어회로들로 구성된 제어계의 네 부분으로 이루어져있다. 그림1에서 그림5는 제작된 장비의 구성을 나타낸다.

IV. 나길점 실리콘 박막 증착 실험

제작된 장비의 성능과 문제점을 활성화 에너지가 높은 100% SiH₄ 기체를 일본해하여 다결정 실리콘 박막을 형성함으로써 파악했다. 그림6은 웨이퍼의 온도에따른 박막의 증착되는 속도를 나타내는 그래프이다. 이로부터 SiH₄의 활성화 에너지를 구해보면 35kcal/mole임을 알 수 있다. 이 값은 증착반응을 (2)식의 Arrhenius관계식으로 표현할 수 있을 경우를 가정하여 구한 값이다.

$$G = G_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (2)$$

여기서 G는 증착속도, k는 Boltzman 상수, T는 공정 웨이퍼의 절대온도를 나타낸다. 이 식을 변형하면 박막의 두께를 측정함으로써 웨이퍼 내의 온도 분포를 구할 수 있다. 식(3)은 기준점의 온도(Tr)와 증착속도(Gr)로부터 원하는 지점의 증착속도(G)를 측정하여 그 지점의 온도를 환산하는 식이다.

$$T = \left(\frac{k}{E_a} \ln \frac{Gr}{G} + \frac{1}{Tr}\right)^{-1} \quad (3)$$

그림7은 625°C에서 다결정 실리콘 박막을 형성한 결과로부터 온도분포를 계산한 결과를 나타낸다. 식영창의 뒷면을 냉각시키기 위하여 냉각팬을 이용하는데 팬의 방향에따라 4인치 웨이퍼 내의 온도 분포가 크게 변화함을 나타내준다. 냉각의 효율이 떨어지서 식영창에 박막이 증착되지만 냉각팬의 방향을 바꾸었을 때 그림8과같이 균일도가 많이 개선됨을 알 수 있다. 약간의 온도차가 존재하는 이유는 막대형의 램프를 일렬로 배열했기 때문에 웨이퍼에 도달하는 빛이 균일하지 못하며, 웨이퍼 가장자리에서의 복사열 손실을 보상하기 위해 실리콘 링을 설치하였는데 균일하게 보상하지 못하기 때문인 것으로 생각된다. 그림9는 박막증착시 emissivity 변화를 보기 위하여 pyrometer의 출력이 일정하도록 램프 전력을 제한제어하면서 pyrometer가 보는 웨이퍼 뒷면에 산화막이 있을 경우와 산화막이 없을 경우에 시간별로 증착되는 박막의 두께를 측정한 결과이다. 산화막 500nm위에 다결정 실리콘이 증착된 경우는 emissivity가 크게 변하여 pyrometer의 출력이 일정하더라도

공정 온도는 크게 변함을 말해준다. 한 파장대역의 pyrometer를 이용하여 여러 박막을 증착한 경우 emissivity 변화를 보상할 수 없기 때문에 emissivity에 관계없이 정확한 온도를 측정할 수 있는 장치의 개발이 필수적임을 알 수 있다. 그림10은 실리콘 웨이퍼에 250nm의 산화막을 기르고 625°C에서 다결정 실리콘을 형성시킨 후의 성분을 SIMS로 분석한 결과이다. 장구화가 부적절하여 절대량은 정확하지않지만 실리콘 기관과 비교해볼 수 있는데 산소의 농도는 실리콘과 비슷하며 탄소의 농도는 실리콘에 비해 10배정도 높다. 이 결과로부터 진공 능력을 향상 시킬 필요성이 있음을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 텅스텐 할로겐 램프를 열원으로하는 LPCVD장비를 제작하고 실험을 통하여 성능과 문제점을 파악한 결과 냉각 장치의 구조에따라 웨이퍼의 온도가 다름을 알 수 있었고, 온도의 균일도를 증가시키기 위해서는 램프의 빛이 웨이퍼 전면에 고루 비칠 수 있도록 램프 배치를 개선해야하며, 진공 능력을 더욱 향상시켜야함을 알았다. 새로운 구조의 LPCVD장비는 높은 온도에서도 공기의 누설이 없도록 식영창과 스테인리스 벽의 scaling이 잘 이루어져야하며, 공정온도에 관계없이 온도 분포를 균일하게 하기 위해서는 램프 전력을 개별적으로 제어하는 구조를 가져야하며, emissivity에 관계없이 일정한 온도를 감지해야한다.

참 고 문 헌

- [1] C. M. Osburn, T. Brat, D. Sharma, N. Parikh, W. K. Chu, D. Griffins, S. Corcoran, and S. Lin, J. Electrochem. Soc., 135, 1988, p1490
- [2] Y. Sato and K. Kiuchi, J. Electrochem. Soc., 133, 1986, p653
- [3] M. Moshch and K. Saraswat, IEEE, Electron Devices ED-32, 1988, p106

- [4] Y. H. Ku, S. K. Lee, and D. L. Kwon, IEEE, Electron Devices Lett., EDL-9, 1988, p293
- [5] K. T. Kim, and C. K. Kim, IEEE, Electron Devices Lett., EDL-8, 1987, p567
- [6] M. L. Green, D. Brasen, and H. Luftman, J. Appl. Phys. 65, March 1989, p2558
- [7] J. F. Gibbons, C. M. Gronet, and K. E. Williams, Appl. Phys. Lett. 47, October 1985, p721
- [8] J. C. Sturn, E. J. Prinz, IEEE Electron Device Lett., vol.12, No.6, June 1991, P303
- [9] M. C. Ozturk, F. Y. Sorrell, J. J. Wortman, F. S. Jhonson, and D. T. Grider, IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing, Vol.4, No.2, 1991, p155

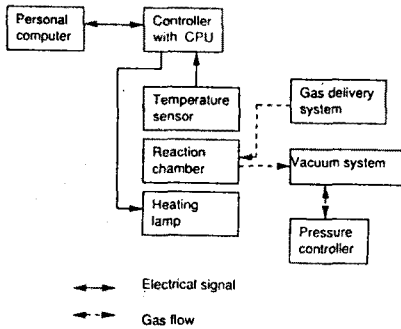
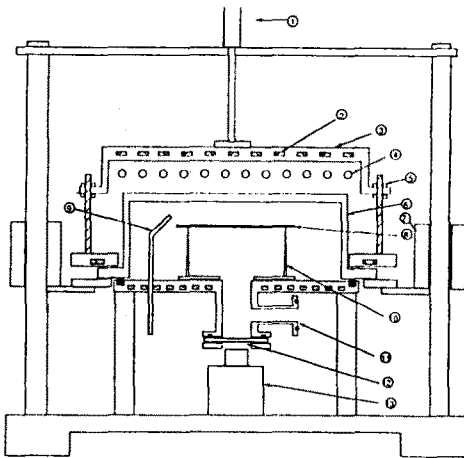


그림1 LPCVD 장비의 구성



- ① 수직이동 장치
- ② 가열 용기
- ③ 챔버가이
- ④ 챔버
- ⑤ 수직이동 제어부
- ⑥ CaF_2 창
- ⑦ 챔버 열선
- ⑧ 챔버 용접부
- ⑨ Pyrometer
- ⑩ 챔버 열선
- ⑪ 챔버 열선
- ⑫ 챔버 열선

그림2 반응용기 부분의 단면도

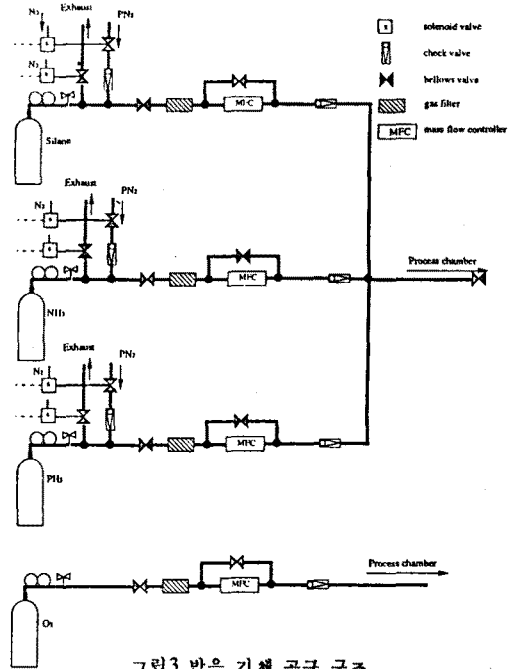


그림3 반응 기체 공급 구조

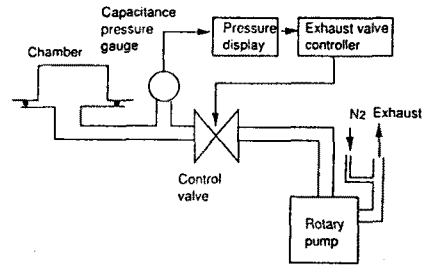


그림4 진공 시스템 구성

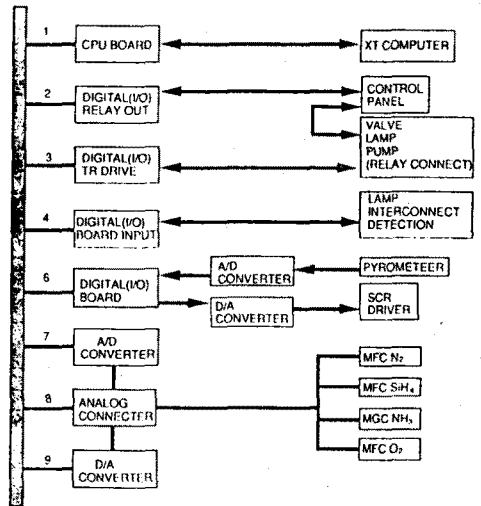


그림5 제어회로의 구성

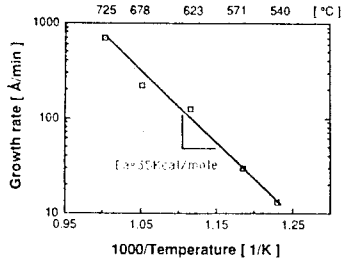
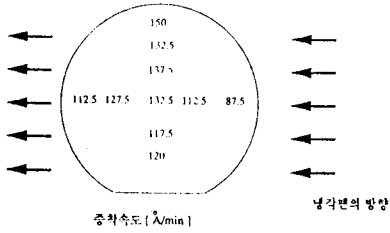
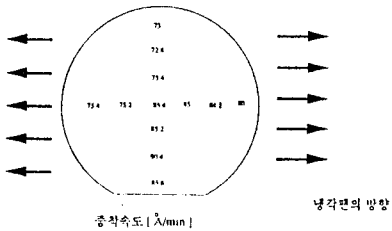


그림6 SiH4를 이용한 박막의 증착속도.



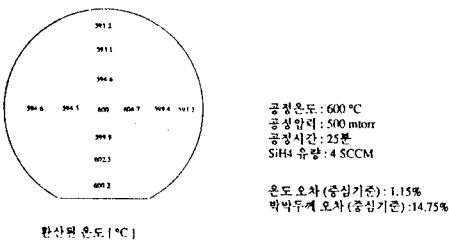
환산된 온도 [°C]

그림7 불균일한 냉각구조에서의 박막 두께와 온도 분포



환산된 온도 [°C]

그림8 균일한 냉각구조에서의 박막 두께와 온도 분포



공정 온도: 626 °C
 공정 압력: 600 mtorr
 공정 시간: 60분
 SiH4 유량: 4 SCCM
 온도 오차 (중심기준): 3.8%
 박막 두께 오차 (중심기준): 34%

공정 온도: 600 °C
 공정 압력: 500 mtorr
 공정 시간: 25분
 SiH4 유량: 4 SCCM
 온도 오차 (중심기준): 1.15%
 박막 두께 오차 (중심기준): 14.75%

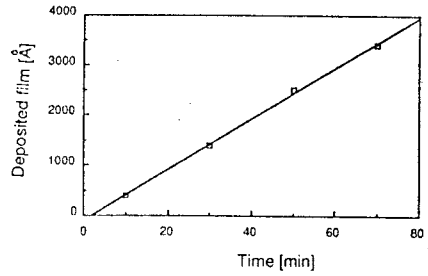
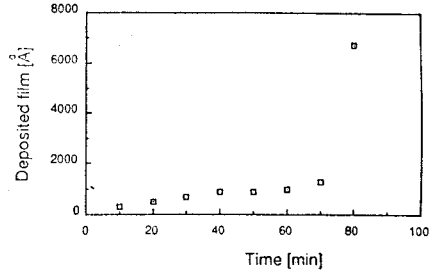


그림9 a) Back oxide가 있을 때의 박막 증착 변화

b) Back oxide가 없을 때의 박막 증착 변화

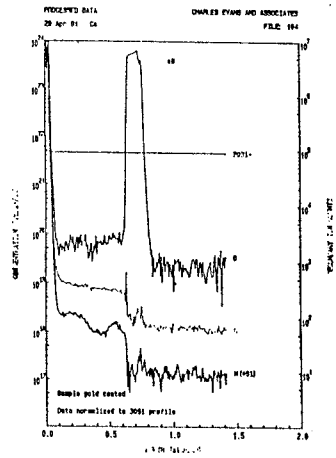


그림10 다결정 실리콘 내의 불순물 농도 SIMS 결과