

클로로포름(CHCl₃)을 첨가한 고농도 폴리실리콘 이방성 식각 기술

논문
11-2-4

Anisotropic Etching Technology of Highly Doped Polysilicon by Mixed Chloroform

이정환*, 서희돈**, 최세곤**

(Jung-Hwan Lee, Hee-Don Seo, Se-Gon Choi)

Abstract

This paper describes anisotropic etching technology of highly doped polysilicon. The main etching gases are Cl₂ and SiCl₄ for reactive ion etching of polysilicon. The mixed CHCl₃ to main etching gas makes polymer on etching side wall, so it prevents side etching of polysilicon. The etch rate of polysilicon is increased with increasing RF power. But the etching rate is decreased as the flow rate of CHCl₃ is increased with fixed RF power. The etch selectivity of polysilicon and SiO₂ is about 12:1. And that of polysilicon and Si₃N₄ is about 19:1. In the main etching gas condition, the slope of polysilicon is same as that of photoresist. But in the mixed CHCl₃ condition, the slope of polysilicon is larger than that of photoresist. This represents that the polymer made on side wall by added CHCl₃ prevents side etching, so anisotropic etching can be possible by polymer.

Key Words (중요용어) : Anisotropic etching(이방성 식각), Side Wall(측면), Reactive etching(반응 식각), Selectivity(선택비)

1. 서 론

MOSFET의 동작 특성이 채널 길이(channel length)에 의해 결정되기 때문에¹⁾ MOS IC 제작에 있어서 게이트 크기(dimension)의 정확한 제어가 필요하다. 특히 최근에는 VLSI 공정에서 sub-micron을 요구함으로써 고정도(high degree)의 게이트 길이 제어가 요구되고 있다. 이러한 고정도의 제어는 식각 기술(etching technology)의 한 방법인 플라즈마(plasma)를 이용하는 이방성 건식 식각(Anisotropic dry etch) 기술로 이루어진다.²⁾

그러나, 종래의 CF₄ 나 CF₄-O₂ 플라즈마를 사용하는 폴리실리콘 식각은 충분한 선택비를 얻을 수 있지만,³⁾ undercutting과 loading effect가 수반되기 때문에 완전한 이방성을 얻기가 어렵다.⁴⁾ 특히, 고농도

로 도핑된 폴리실리콘을 식각하는 종래의 방법으로는 CCl₄에 O₂를 혼합하여 식각하는 방식과 Cl₂(Chlorine)에 C₂F₆를 첨가하여 식각하는 방법 등이 사용되었다. 전자는 식각 선택비를 높일 수 있으나, 폴리실리콘의 식각과 동시에 포토레지스터가 식각되므로 포토레지스터의 모양에 따라 식각할 물질의 모양이 영향을 받는다.⁵⁾ 또, 후자는 이방성 형상은 이루어지나 과도 식각에서 측면이 계속적으로 식각이 일어나 선 손실(line loss)이 발생한다.⁶⁻⁷⁾

본 연구에서는 고농도 폴리실리콘을 건식 식각하는데 있어서 Cl₂에 CHCl₃를 첨가하여 측면에 폴리머(Polymer)를 형성시켜 선 손실이 발생되지 않는 이방성 식각방법을 제안한다.

2. 실험 방법

폴리실리콘 식각 방법 중에서 이방성 식각에는 Cl₂ 가스를 사용하며, 등방성 식각에는 불소(Fluorine) 가스를 사용한다.⁸⁾ 그러나, 고농도로 도핑된 n-형 폴리실리콘은 Cl₂ 가스를 사용하더라도 측면 식각(side etch)이 심하게 되므로 상당한 선 손실

* : 영남대학교 전자공학과
(경북 구미시 공단 1동 149, Fax:0546-467-3409)
** : 영남대학교 전산공학과/전기·전자공학부
1997년 8월 26일 접수, 1997년 12월 15일 심사완료

이 발생하게 된다. 따라서 이것을 방지하기 위해서 측면에 폴리머를 만들어 측면 식각이 일어나지 않도록 해야 한다.

그래서 고농도 폴리실리콘의 식각률, 식각 상태 및 식각 제어 정도 등을 검토하기 위하여 Cl₂에 CHCl₃를 첨가하지 않은 방법과 CHCl₃를 첨가한 방법으로 나누어 실험을 하였다.

첫째, 표1과 같이 CHCl₃를 첨가하지 않은 고농도 폴리실리콘 식각에는 SiCl₄ (30sccm)와 Cl₂ (7sccm) 가스만을 사용하였으며, RF Power를 150, 200과 250W로 가변하였다. 이때 챔버(chamber)의 온도는 35℃이었다. 이것은 다른 조건을 고정하고, RF Power의 변화에 대한 고농도 폴리실리콘의 식각률, 기판으로 사용되어지는 산화막(SiO₂)과 질화막(Si₃N₄)의 선택비와 마스크로 사용되어지는 포토레지스터(photo-resist)의 선택비를 구하기 위함이다.

이론적으로는 RF power가 증가하면 식각률이 증가하고, Cl₂가 증가하면 식각률은 증가하나 식각 프로파일(profile)은 나빠지게 된다.⁹⁾

표 1. CHCl₃를 첨가하지 않은 RIE 조건
Table 1. Condition of RIE without CHCl₃

Condition	GAS (SCCM)	PRESS-URE (mT)	RF(W)	TEMP (°C)	SUSCEPTOR
	SiCl ₄ =30 Cl ₂ =7 CHCl ₃ =0	30	150, 200, 250	35	Al ₂ O ₃

둘째, 표2와 같이 CHCl₃를 첨가한 고농도 폴리실리콘 식각의 경우는 RF power를 고정하고, SiCl₄ (30sccm)와 Cl₂ (7sccm)가스에 CHCl₃를 2, 5 및 8sccm으로 가변하면서 식각하였다. 이때 챔버의 온도는 35℃이었다. 이것은 CHCl₃ 양의 변화에 따른 식각률을 얻기 위함이다.

표 2. CHCl₃를 첨가한 RIE 조건
Table 2. Condition of RIE with CHCl₃

Condition	GAS (SCCM)	PRESS-URE (mT)	RF(W)	TEMP (°C)	SUSCEPTOR
	SiCl ₄ =30 Cl ₂ =7 CHCl ₃ =2, 5, 8	30	200	35	Al ₂ O ₃

시료(sample)는 실리콘 웨이퍼 위에 산화막을 성장시키고, 폴리실리콘을 4500~5000Å 증착하고, 고농도(Rs=2~3Ω/□)의 POCl₃을 도핑하여 제작되었다.

이때, 폴리실리콘은 온도 620℃, 압력은 0.3Torr 환경 하에서 SiH₄ 가스를 이용하여 LPCVD로 증착하였다. 제작된 시료에 대한 식각 실험은 RIE를 이용하였다.

공정에서 생성된 폴리실리콘, 산화막, 질화막 및 포토레지스터의 두께는 ellipsometer를 이용해 측정을 하였으며, 식각된 면은 SEM을 이용하여 관찰하였다.

그림 1은 식각 실험 공정 순서이다.

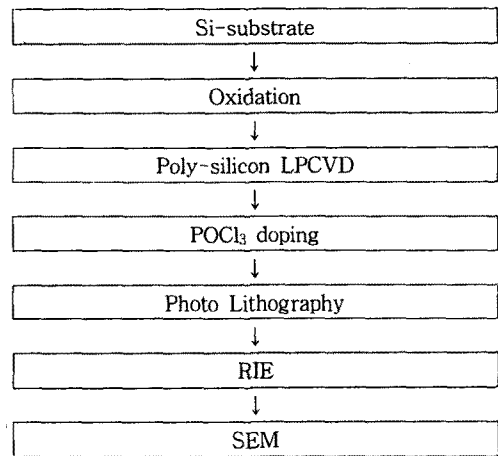


그림 1. 식각 실험 공정 순서

Fig. 1. Process Sequence for Etching Experimentation

3. 실험 결과 및 고찰

고농도 폴리실리콘 식각 실험에 있어서 CHCl₃를 첨가한 경우와 첨가하지 아니한 경우는 폴리실리콘의 식각률과 식각 기울기를 비교하기 위한 것이다.

폴리실리콘의 식각 조건인 RF power의 변화에 대한 식각률을 구할 때, 폴리실리콘, 산화막, 질화막 및 포토레지스터를 폴리실리콘 식각 조건과 동일한 조건으로 식각 실험을 함으로 폴리실리콘 아래에 형성되는 산화막과 질화막의 선택비를 알 수 있으며, 마스크(masking) 물질로 사용되는 포토레지스터와의 선택비를 알 수 있다.

폴리실리콘 식각 조건에서의 각종 막의 식각률은 그림 2에 나타난 것 같이 폴리실리콘과 포토레지스터에서는 RF power의 증가에 따라 식각률이 상당히 증가하는 반면, 산화막과 질화막은 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 또, 기판이 산화막인 경우의 선택비는 150W에서 12.5:1, 200W에서 10.4:1, 250W에서

11.6:1로 RF power가 증가하면 다소 감소하다가 증가한다. 질화막인 경우의 선택비는 RF power가 150W에서 19.6:1, 200W에서 15.8:1, 250W에서 16.6:1로 RF power가 증가하면 조금 나빠지다가 증가되었다.

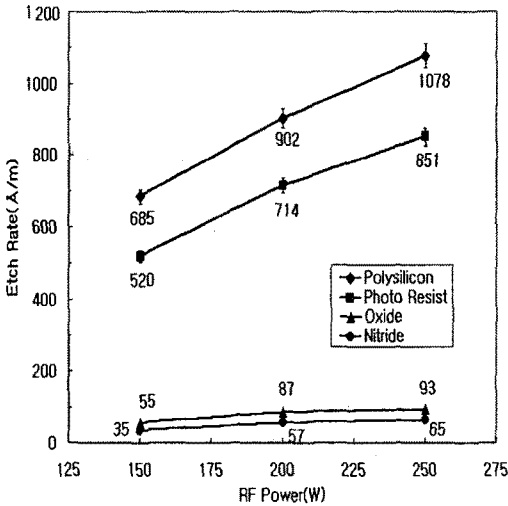


그림 2. RF Power에 대한 식각률
Fig. 2. Etch Rate for RF Power

CHCl₃를 첨가한 고농도 폴리실리콘 식각 실험은 앞의 실험에서 RF power를 200W로 고정하고, CHCl₃ 가스를 첨가하였으며, 다른 조건은 동일하게 하였다. 일반적으로 고농도의 폴리실리콘이 식각될 때 빠른 속도로 측면이 식각되는 현상이 발생하게 되는데, CHCl₃를 첨가함으로써 측면에 폴리머가 형성되어, 플라즈마에 의한 측면 식각이 발생하지 않게 된다.

그림 3에는 CHCl₃의 양의 변화에 대한 폴리실리콘의 식각률이 나타나 있다. CHCl₃의 양을 증가시키면 식각률은 줄어들게 된다. 이것은 측면에 폴리머가 형성되면서 표면에도 폴리머가 형성되어서 식각을 지연시키는 역할을 하게 된다. 그러나 표면에서는 식각률이 재결합률 보다 더 크므로, 폴리머가 쌓이지 않고 식각이 진행된다.

또, SEM 측정 결과 CHCl₃의 양의 변화에 대한 식각 기울기는 거의 달라지지 않았다.

고농도 폴리실리콘의 최적 식각 조건은 식각 시간이 감소되면서도 좋은 프로파일을 얻을 수 있는 조건이다. 이 실험에서는 CHCl₃의 양이 2 sccm일 때

가 적합함을 알 수 있다

그림 4는 고농도 폴리실리콘에 포토레지스터를 코팅 (coating)하고, 현상을 하여, UV curing을 한 후 포토레지스터의 모양이다. 포토레지스터의 기울기가 약 75°로 나타났다. 또한 상단부가 상당히 둥글게 되어있다. 이 경우 식각을 하면, 포토레지스터의 기울기에 따라 식각되는 물질의 기울기도 동일한 모양이 되어진다.

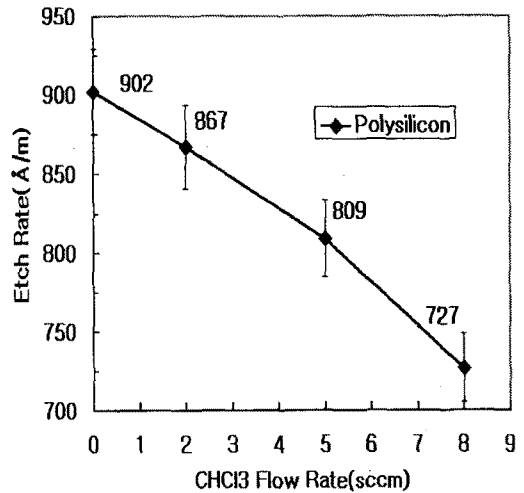


그림 3 CHCl₃ Flow Rate에 대한 식각률
Fig. 3. Etch Rate for CHCl₃ Flow Rate

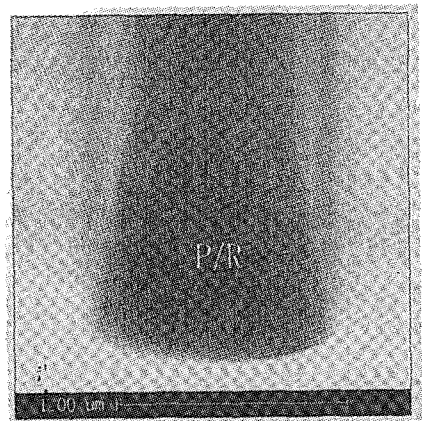


그림 4. 식각 전 포토레지스터의 SEM 사진

Fig. 4. SEM Photograph of Photoresist before Etch

그림 5는 CHCl₃를 첨가하지 않은 공정에서의 RIE로 고농도 폴리실리콘을 식각한 후, 포토레지스터와

클로로포름(CHCl_3)을 첨가한 고농도 이정한, 서회전, 최세곤

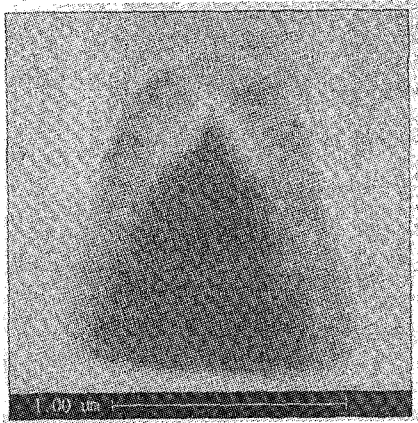


그림 5 CHCl_3 를 첨가하지 않은 RIE 후의 포토레지스터와 폴리실리콘의 SEM 사진

Fig. 5. SEM Photograph of Photoresist and Polysilicon formed after RIE without CHCl_3 Gas.

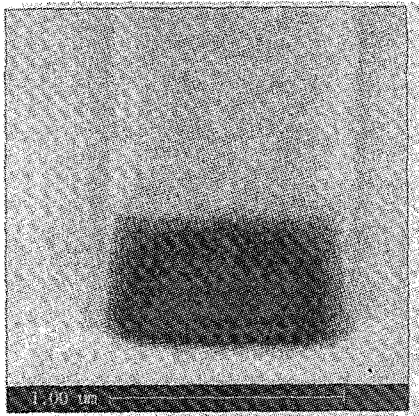


그림 6. CHCl_3 를 첨가하지 않은 RIE 후의 폴리실리콘의 SEM 사진

Fig. 6. SEM Photograph of Polysilicon formed after RIE without CHCl_3 Gas

폴리실리콘의 모양이다. 폴리실리콘의 식각된 모양은 그림 4의 포토레지스터의 형상을 그대로 가진다. 이것은 폴리실리콘이 식각되면서 포토레지스터도 동시에 식각되기 때문에, 그 식각 기울기가 마스크 물질인 포토레지스터의 기울기를 따라가게 되는 것이다. 포토레지스터의 가장자리 부분이 식각되는 현상

은 식각이 진행되는 중 가장자리 부분이 취약하여 심하게 식각되기 때문이다.

그림 6은 그림 5에서 포토레지스터를 제거한 모양이며, 포토레지스터가 갖고 있는 기울기를 그대로 나타내고 있다. 또한, 폴리실리콘의 모서리 부분이 식각되어 둥글게 나타나고 있다.

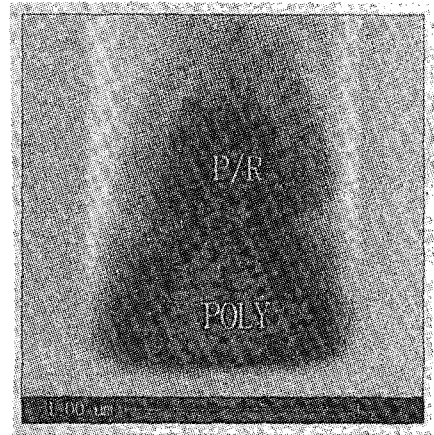


그림 7. CHCl_3 를 첨가한 RIE 후의 포토레지스터와 폴리실리콘의 SEM 사진

Fig. 7. SEM Photograph of Photoresist and Polysilicon formed after RIE with CHCl_3 Gas

그림 7은 CHCl_3 를 2sccm 첨가한 조건에서 RIE로 고농도 폴리실리콘을 식각한 후, 포토레지스터와 폴리실리콘의 모양이다. 폴리실리콘의 식각된 모양은 그림 4의 포토레지스터의 형상과는 다르게 식각 기울기가 상당히 개선된 것을 알 수 있다. 이것은 측벽에 폴리머가 형성되어 측면으로 식각되는 것을 방지함으로써 기울기가 개선된 것으로 볼 수 있다. 포토레지스터의 형상은 전혀 변화가 없었다. 이것은 폴리머가 포토레지스터에 증착되면서 보호하기 때문이다.

그림 8은 그림 7에서 포토레지스터를 제거한 모양이며, 폴리실리콘의 기울기가 85° 를 나타내고 있다. 이것은 측벽에 폴리머가 형성되어 측벽으로 플라즈마 이온들이 침입하는 것을 막았기 때문이다.

이것을 이론적으로 살펴보면, 그림 9와 같이 표면에서는 식각물이 폴리머 형성물보다 더 커서 식각이 일어나지만, 측벽에는 폴리머 형성물이 식각물보다 더 커서 폴리머가 형성되어 식각제(etchant)가 침투되지 못하게 된다. 따라서 이방성 식각이 된다. 이때 Cl_2 는 식각 가스이다.

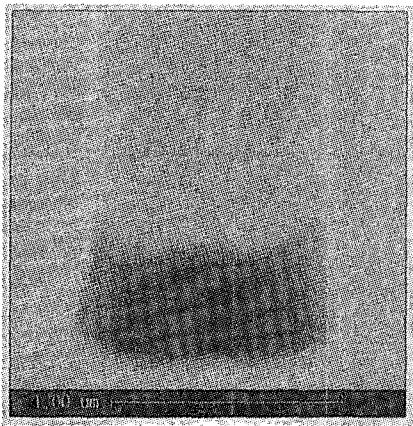


그림 8. CHCl₃를 첨가한 RIE 후의 폴리실리콘의 SEM 사진
 Fig. 8. SEM Photograph of Polysilicon formed after RIE with CHCl₃ Gas

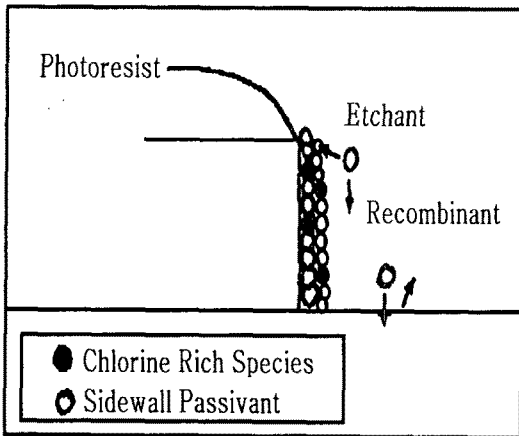


그림 9. 측벽 폴리머 패시베이션 모델의 구조
 Fig. 9. Schematic Illustration of the Sidewall Polymer Passivation Model

4. 결 론

본 논문은 고농도로 도핑된 폴리실리콘 식각에 있어서 식각 가스인 Cl₂에 CHCl₃를 첨가하여, 식각되는 측면에 폴리머를 형성시켜, 측면으로 침입하는 식각제를 막아 측면이 식각되는 것을 방지하도록 하는 이방성 식각 기술이다.

CHCl₃를 첨가하지 않은 상태의 실험에서 폴리실리콘의 식각률은 RF power가 증가함에 따라 증가하였고, RF power를 고정한 상태에서 CHCl₃를 첨가하

면 식각률은 감소하였다. 또, 폴리실리콘의 선택비는 질화막과 산화막에서 약 10:1 이상으로 나타났으며, 질화막의 경우가 더 높게 나타났다. 이것은 하부에 형성된 막에 영향을 적게 줌으로 소자를 제작하기 위한 공정 능력이 우수하다고 할 수 있다. Cl₂에 CHCl₃를 첨가하지 않은 조건에서의 식각은 PR의 기울기가 초기 상태와 같이 나타났으며, 가장자리 부분이 더 심하게 식각되었다. 반면, Cl₂에 CHCl₃를 첨가한 조건에서의 식각은 처음 형성된 포토레지스터의 기울기 보다 식각 공정을 거치고 난 폴리실리콘의 기울기가 더 크게 나타났다. 이것은 측면에 폴리머가 형성되어 측면으로 식각되는 것이 방지되어 이방성 식각이 된 것을 의미한다.

참 고 문 헌

1. W. M. Penney and L. Lau, MOS Integrated Circuits, Van Nostand, New York, pp.48-69, 1972.
2. J. L. Vossen and W. Kern, Thin Film Processes, Academic, pp.497-556, 1978
3. G. C. Schwartz, L. B. Rothman, T. J. Schopen, "Competitive Mechanisms in Reactive Ion Etching in a CF₄ Plasma", J. Electrochem. Soc., pp.464-469, march 1979.
4. C. J. Mogab, "The Loading Effect in Plasma Etching", J. Electrochem. Soc. 124, 1262~1268, 1977.
5. C. S. Korman, "Polysilicon etching and profile control in a CCl₄-O₂ plasma", J. Vac. Sci Technol., 20(3), pp.476-479, 1982.
6. A. C. Adams and C. D. Capio, Bell Laboratories, "Edge Profiles in Plasma Etching of Polycrystalline Silicon," J. Electrochem. Soc. 128(2), pp.366-370, 1981.
7. C. J. Mogab and H. J. Levinstein, "Anisotropic Plasma Etching of Polysilicon," J. Vac. Sci. Technol. 17(3), pp.721-730, 1980.
8. Jeff Herrmann, "Chlorine-based Anisotropic Polysilicon Etch. Process", Lam Research Coporation.
9. Sung Ho Park and Youn Tae Kim, "Etch Rate Dependence of Differently Doped Poly-Si Films on the Plasma Parameters," 전자공학회 논문지 제25권 제 11호 pp.69-76, 1988.