

VLSI를 위한 플라즈마 熱的 窒酸化膜의 形成

(Plasma Enhanced Thermal Nitridation of SiO₂ for VLSI)

李 在 成*, 李 龍 鉉*, 崔 時 永*, 李 德 東*

(Jae Sung Lee, Yong Hyun Lee, Sie Young Choi, and Duk Dong Lee)

要 約

乾式 酸化法으로 성장시킨 약300Å의 SiO₂막을 0.2-2torr NH₃ plasma 雰圍氣에서 900-1100°C로 熱的 窒化시켜 그 막의 특성을 I-V 및 C-V 測定, 그리고 AES 및 SIMS分析을 통하여 調査하였다. 1.5torr이하의 낮은 기압의 plasma공정에서는 막의 etching현상이 나타났고 그 이상의 기압에서는 SiO₂막이 SiO_xNy막으로 되었다. NH₃에 CF₄를 6% 첨가한 plasma열적 질화의 경우 막의 表面에서 N의 濃度가 높게 나타났다. 질화시간 및 질화온도가 증가함에 따라 비유전율은 증가하나 막내에서 固定電荷의 변화에 의해 V_{FB}의 변화가 일어났다. 제조된 SiO_xNy막의 傳導 特性은 Fowler-Nordheim tunneling 모델로 설명된다. SIMS 분석을 통해 저기압상태인 plasma공정이 대기압에서의 공정보다 不純物로 부터 汚染이 적다는 것을 밝혔다.

Abstract

Nitridation of about 300Å SiO₂ films thermally grown on Si was performed in NH₃ plasma ambient (0.2-2 torr) at 900°C-1100°C for 15-20 minutes. The properties of those films have been investigated by analyzing the AES and the SIMS data, and the results of the I-V and the C-V measurements.

At the plasma ambient of less than 1.5 torr pressure, etching of the films have been shown. Above the 1.5 torr pressure, however, SiO₂ films were nitrided as SiO_xNy. Plasma thermal nitridation of SiO₂ by addition of small amount (6%) of CF₄ to the NH₃ showed higher pile-up N concentration in the surface region of SiO_xNy film. The higher the nitridation temperature is and the longer the nitridation time is, the larger the dielectric constant is. The plasma thermal nitridation of silicon dioxide on silicon causes the flat-band voltage shift based on the formation of the positive charges. The conduction mechanism for SiO_xNy films could be elucidated by Fowler-Nordheim tunneling model. By SIMS analysis, surface of the film nitrided in plasma process has less contamination than that of the film nitrided in open-tube process.

1. 서 론

VLSI에서 MOSFET의 채널길이가 1미크론 이하로 製造될 경우 게이트 絶緣膜의 두께는 약100-200 Å으로 유지되어야 한다^[1] 기존의 실리콘 산화막을 超薄膜으로 사용할 경우 金屬 및 不純物에 대한 障壁 役割이 어렵고 缺陷密度등의 문제점에 있어 VLSI에 의 응용이 어렵다.^[1,2]

*正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1989年 7月 14日

(※이 論文은 1987년도 문교부 자유공모과제 학술 연구 조성비에 의하여 연구되었음.)

超薄膜실리콘 산화막의 이러한 亂點을 극복하는 방법으로 실리콘 질화막(Si₃N₄) 및 실리콘 질산화막(SiOxNy : nitroxide)에 대하여 관심을 가지게 되었다.^{1,2,3} 특히 실리콘 산화막을 熱的 窒化시켰을 경우, 즉 실리콘 질산화막은 실리콘 산화막에 비하여 alkali 등의 여러가지 이온에 대한 障壁役割이 우수하며, 높은 誘電強度 및 낮은 radiation damage 등의 효과가 있으며, CVD法에 의한 Si₃N₄막에 비해 아주 우수한 Si과의 界面狀態를 유지하게 된다.^{4,7} 그러므로 실리콘 질산화막은 실리콘 산화막과 실리콘 질화막의 중간적 성질을 나타낸다.⁵ 이러한 실리콘 질산화막은 터널링 絶緣體로서 E²PROM과 같은 記憶素子에 응용되기도 한다.⁶ 또한 불순물 확산에 대한 障壁役割이 우수하여 self-align공정에 이용될 수 있고, LOCOS 공정에서 側面산화막 성장을 방지하여 bird's beak를 감소시키는데 이용될 수 있다.^{9,10}

균질한 非晶質 실리콘 질화막의 성장에 대한 연구는 1960년대부터 시작되었다.³ 1970년대에는 Raider 등¹¹에 의해 실리콘 산화막을 N₂분위에서 熱處理하는 동안 실리콘과 실리콘 산화막의 界面 부근에서 실리콘 질화막이 형성됨을 발견하였다. 그 이후 Ito 등¹²은 암모니아 가스를 이용하여 대기압 및 plasma 상태에서 실리콘 산화막의 열적 질화를 행함으로써 실리콘 질산화막을 형성시켰다. 최근에는 CF₄ 및 SF₆ 등과 같은 가스를 사용하여 fluorine가스를 암모니아 가스에 첨가시킨 혼합가스 plasma열적 질화를 행하여 질화막의 특성을 개선시키는 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{4,13-16} plasma열적 질화공정은 대기압 상태에서의 열적질화 공정에 비해 不純物로부터의 汚染이 적기때문에 생성된 막의 界面 特性을 개선할 수 있다고 알려져 있다.¹⁶

본 연구에서는 실리콘 산화막의 plasma열적질화에 대한 효과를 조사하기 위해 乾式 酸化法으로 300Å의 실리콘 산화막을 성장시킨 후 암모니아 plasma 및 암모니아와 CF₄의 혼합가스 plasma열적 질화 공정의 最適條件을 각각 구하였다. 그 후 이 두가지 공정에서 얻은 실리콘 질산화막의 특성을 AES分析과 C-V 및 I-V 測定을 통해 調査하였으며, 또한 SIMS 분석을 통하여 膜의 汚染정도를 調査하였다.

II. 實 驗

結晶面이 (100)이고 비저항이 6-8Ω.cm인 p형Si기판을 사용하였다. 950°C에서 건식 산화법으로 약 300Å의 SiO₂막을 성장시켰다. 성장된 SiO₂막을 N₂분위 기에서 450°C로 열처리를 한 후 1.8torr의 분위기압

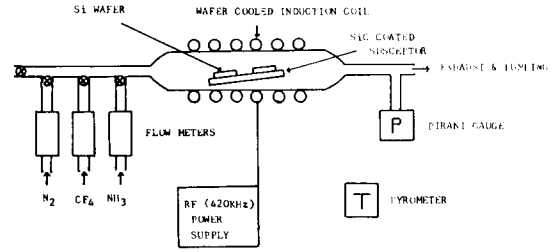


그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of the equipment for plasma enhanced thermal nitridation.

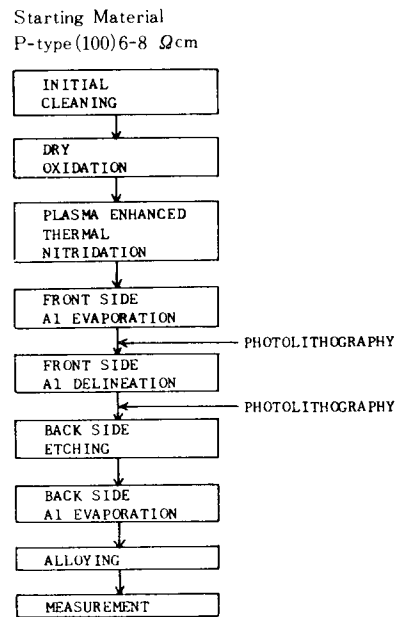


그림 2. 실리콘 질산화막을 게이트 절연막으로 하는 MIS커패시터의 제조 공정도
Fig. 2. Fabrication process of MIS capacitor with nitroxide film insulator.

력에서 질화시간 및 질화온도를 각각 다르게하여 NH₃ plasma열적 질화를 행하였다. 그리고 fluorine가스첨가에 따른 질산화막의 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 NH₃와 CF₄의 혼합가스 플라즈마 열적 질화를 행하였다. 이때 CF₄가스의 농도비는 전체가스의 6%로 고정시켰다.

이렇게 해서 얻은 실리콘 질산화막의 C-V, 및 I-V 測定을 위하여 MIS素子를 製造하였다. MIS

커패시터의 게이트 면적은 $33.18 \times 10^{-4} \text{cm}^2$ 이며, 形態는 圓形이다. 질산화막의 厚薄을 ellipsometer로 측정되었으며 物性的構造는 AES 및 SIMS분석을 통해 조사되었다. 그림1은 고주파(420kHz)유도가열을 이용한 플라즈마 발생장치의 概略圖이다. 반응기(reactor) 내부 초기 분위기 압력을 0.07torr로 한 후 반응가스를 주입하여 0.2-2.0torr로 하면서 RF power를 인가하여 플라즈마를 발생시켰다. 이때 반응기 내부의 SiC코팅된 graphite가 가열되어 기관의 加熱體가 된다. 그림2는 MIS커패시터의 製造工程을 나타내고 있다.

III. 結果 및 考察

Si-N-O系에 있어서 Si, SiO₂, Si₂N₂O와 Si₃N₄의 固相이 안정하다고 알려졌다.³⁾



NH₃에서 解離된 수소기는 고온에서 SiO₂막 내의 Si-O결합을 분리시켜 질소가 Si원자들과 결합할 수 있게 하여 SiO₂막이 SiO_xN_y막으로 된다.^{17,18)}

본 실험 장치에서 낮은 기압에 의하여 발생된 plasma 분위기에서 SiO₂ 薄膜을 열적질화 시켰을 경우 SiO₂막이 etching되었다. 그림3은 0.5torr의 기압을 유지시킨 plasma분위기에서 기관온도를 1100°C로 하여 두께가 340Å인 SiO₂막을 열적질화시켰을 때 질화시간에 따른 etching현상을 AES분석으로 나타내었다. 본 그림에서 편의상 질소성분은 나타내지 않았다. 질화시간이 길어짐에 따라 Si 및 O의 分布에 의하여 예상되는 SiO₂-Si계면이 짧은 sputter time에서 나타나

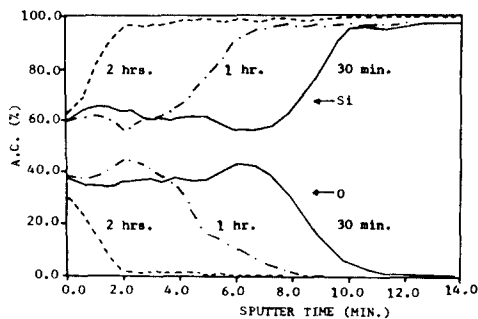


그림 3. 0.5torr 및 1100°C 조건에서 30분, 1시간 및 2시간의 질화시간 동안 300Å의 SiO₂막을 NH₃ plasma 열적질화한 후 생성된 질산화막의 AES depth profile

Fig. 3. AES depth profile of 300Å initial SiO₂, nitrided at 1100°C in 0.5 torr NH₃ plasma ambient for various nitridation times.

는 것으로 미루어 보아 SiO₂막이 etching되어 얇아지고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 낮은 plasma 분위기 기압에서 解離된 입자들의 평균 운동 에너지가 증가되어 원소들이 SiO₂막으로 확산되는 것보다는 SiO₂막을 물리적으로 etching시키는 것으로 생각된다.

기압을 다르게한 plasma분위기에서 340Å의 SiO₂막을 1100°C에서 열적질화시킨 후 막의 두께를 ellipsometer로 측정하여 기압의 변화에 따른 막의 두께 변화를 그림4에 나타내었다. 낮은 기압에서는 막의 etching현상이 심하게 일어나고 기압이 증가할수록 etching현상이 적게 나타나서 1.5torr 이상에서는 거의 질화시키기 전의 막의 두께로 되었다. 따라서 본 실험의 plasma발생을 위한 기압조건을 1.8torr로 정하였다.

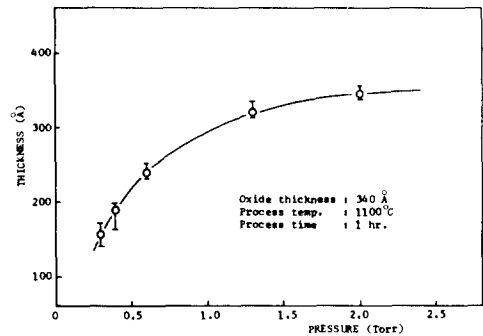


그림 4. 340Å의 SiO₂막을 1100°C에서 1시간동안 분위기 압력을 다르게하여 열적질화하였을 때의 질산화막의 두께 변화

Fig. 4. Thickness of nitroxide vs. background pressure of NH₃ plasma thermal nitridation at 1100°C for 1hr.

그림5는 300Å의 SiO₂막을 1000°C 및 1100°C에서 1시간동안 NH₃ plasma분위기에서 열적질화시킨 질산화막의 AES depth profile이다. 질화온도가 높아짐에 따라 N의 농도는 증가함을 보이고 있다. 그리고 막의 표면과 SiO_xN_y/Si계면에서 N의 성분이 높게 나타나고 있는데 이것은 SiO₂막의 표면과 계면에 존재하는 Si원자들의 dangling bond나 格子不整合에 의한 다.¹⁹⁾

그림6은 CF₄가스의 첨가에 따른 질산화막의 성질을 조사하기 위해, NH₃에 혼합되는 CF₄의 비율을 다르게하여 질산화막의 厚薄을 나타내었다. CF₄

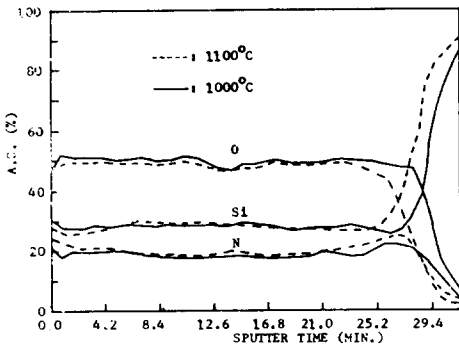


그림 5. 1000°C와 1100°C의 질화온도에서 1시간동안 NH₃ plasma에서 질화된 질산화막의 AES depth profile
Fig. 5. AES depth profile for nitroxide films prepared by the nitridation at 1000°C and 1100°C in NH₃ plasma ambient for 1hr.

를 6% 혼합한 경우 질산화막의 屈折率이 가장 높음을 알 수 있다. 또한 8% 이상에서는 질산화막의 etching 현상이 나타나기 시작하였으므로 본 실험에서 CF₄와 NH₃의 혼합비는 6%로 일정하게 고정하고 NH₃+CF₄ plasma 열적질화 실험을 행하였다.

가장 작은 이온반경을 갖는 fluorine 원소는 절연막의 특성을 개선시키는 觸媒作用을 한다고 알려져 있다.¹⁴ SiO₂ 막에 확산되어 들어간 fluorine 분자는 SiO_{2-x}F_{2x}의 결합을 갖게 된다. Si의 가전자(valence electron)가 fluorine으로 전하이동함으로써 Si-O의 결합력을 약하게하여 Si와 N의 결합이 쉽게 일어나도록 한다.¹⁴ 그림 7은 SiO₂ 막을 NH₃와 CF₄의 혼합가스 plasma 상태에서 1000°C와 1100°C에서 각각 1시간

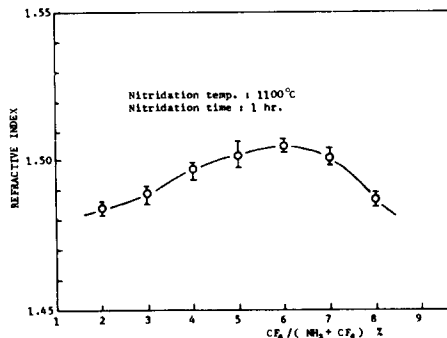


그림 6. CF₄의 혼합비에 따른 질산화막의 굴절율 변화
Fig. 6. Refractive indices of SiO_xN_y film vs. mixing ratio of CF₄ gas to NH₃ gas.

동안 열적질화시킨 질산화막의 AES depth profile을 나타낸 것이다. 그림 5와 비교하여 보면, CF₄ 가스를 첨가하였을 때 막의 표면에서 N의 농도가 훨씬 높아져서 성분이 Si₂N₂O에 가까운 조성으로 변화된다는 것을 나타낸다.

그림 8은 NH₃ plasma 및 NH₃+CF₄ plasma 공정에서 열적질화를 행하였을 경우 질화시간에 따른 질화막의 比誘電率의 변화를 나타내었다. NH₃ plasma 공정에서 질화온도와 시간이 증가함에 따라 각각 증가하여 1000°C 및 1100°C에서 2시간씩 각각 질화하였

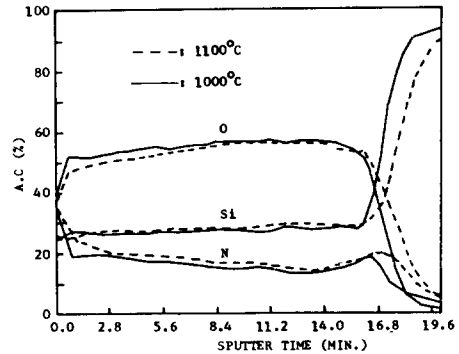


그림 7. 1000°C 및 1100°C에서 1시간동안 NH₃+CF₄ (6%) plasma 분위기에서 질화된 질산화막의 AES depth profile
Fig. 7. AES depth profile of nitroxide films prepared by the nitridation at 1000°C and 1100°C in NH₃+CF₄ (6%) plasma ambient for 1hr.

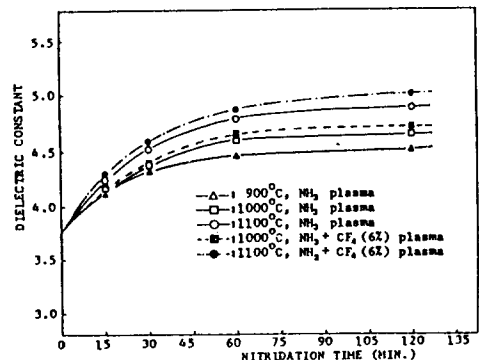


그림 8. NH₃ plasma 및 NH₃+CF₄ (6%) plasma 분위기에서 900°C - 1100°C의 온도로 질화된 질산화막의 질화시간에 따른 비유전율의 변화
Fig. 8. Dependence of relative dielectric constants on nitridation time for various nitridation time in NH₃ plasma and in NH₃+CF₄ (6%) plasma.

을 때 비유전율이 4.65 및 4.90을 나타내었다. $NH_3 + CF_4$ plasma공정에서도 같은 현상을 나타내며 1000°C 및 1100°C에서 2시간씩 각각 질화시킨 경우 비유전율은 4.72와 5.02로 되어 NH_3 plasma 공정보다 다소 높은 값을 나타내었다.

그림9는 그림8에서와 같은 조건으로 제조했던 질산화막의 flatband voltage의 변화를 나타내고 있다. V_{FB} 의 변화는 질화온도 및 질화시간에 따라 변함을 알수 있다. NH_3 plasma공정으로 1000°C에서 질화시켰을 경우, 최대 $|V_{FB}|$ 가 되는 시간(t_{max})은 약 35분이며, 여기서 최대 V_{FB} 는 약 1.85V이고 1100°C의 경우 t_{max} 가 약 25분에서 최대 $|V_{FB}|$ 는 약 1.61V 정도를 나타내었다. 질화온도가 높을수록 t_{max} 가 짧고 $|V_{FB}|$ 는 감소한다. 900°C에서 제조된 막의 경우는 2시간의 질화공정이 경과하여도 최대 $|V_{FB}|$ 값이 나타나지 않았다. $NH_3 + CF_4$ plasma공정에 비해 t_{max} 가 크게 되었으며 최대 $|V_{FB}|$ 도 큰 값을 가졌다. 負방향의 V_{FB} 변화는 막 내의 陽電荷의 존재를 암시하며 이러한 Si dangling bond나 파괴된 Si-O bond에 H가 결합되어 생성되거나 O-H基의 및 N-H基가 형성되어 생성되기도 한다.^{20,21} CF_4 가스를 사용하였을 경우 fluorine원자에 의해 더 많은 Si-O결합이 파괴되므로 NH_3 plasma공정의 경우보다 더 많은 양전하가막속에 존재하여 큰 V_{FB} 변화를 나타내게 된다.

그림10은 전식산화법에 의하여 제조된 질화시키기 이전의 산화막, NH_3 plasma공정 및 $NH_3 + CF_4$ plasma

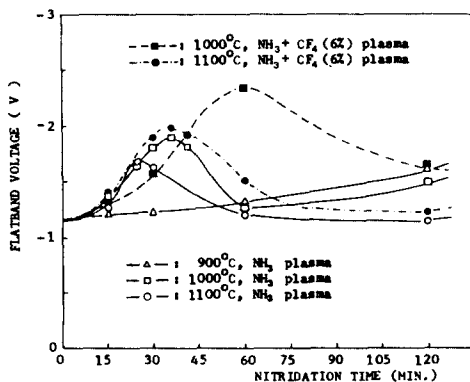


그림 9. NH_3 plasma 및 $NH_3 + CF_4$ (6%) plasma분위기에서 900°C - 1100°C의 온도로 질화된 질산화막의 질화시간에 따른 flatband전압

Fig. 9. Flatband voltage as a function of nitridation time for various nitridation temperature in NH_3 plasma and in $NH_3 + CF_4$ (6%) plasma ambient.

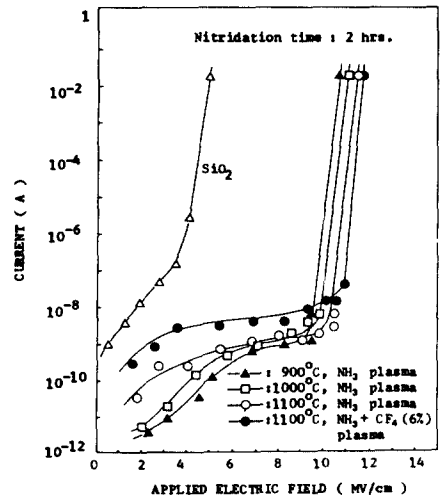


그림10. 질화 전의 SiO_2 막, NH_3 plasma에 의한 질산화막 및 $NH_3 + CF_4$ (6%) plasma에 의한 질산화막의 I - V 특성

Fig. 10. Current vs. applied electric field for as-grown SiO_2 , thermally nitrided films in NH_3 plasma and thermally nitrided film in $NH_3 + CF_4$ (6%) plasma.

공정에서의 질산화막의 I - V 특성을 비교하였다. 본 실험에서 제조한 300Å의 SiO_2 막은 질산화막에 비해 많은 漏泄電流와 낮은 破壞電壓을 나타내고 있다. 질산화막의 경우 질화온도가 높을수록 누설전류가 증가하고 또한 파괴전압도 높아짐을 보이고 있다. CF_4 를 첨가하여 제조한 질산화막은 더욱 많은 누설전류를 나타내고 절연 파괴전압도 높게 나타난다. 질화가 증가됨에 따라 표면의 질소농도가 많아져 금속과 절연막 계면의 電位 障壁 (barrier height)이 낮아지고, 또한 bulk 및 SiO_xNy/Si 의 계면에서의 질소가 부분적으로 전위장벽을 낮추기 때문에 누설전류가 많이 흐르게 된다. 이러한 현상은 Fowler-Nordheim 전도 특성으로 설명될 수 있다.^{20,21} 그리고 질화온도가 증가할 경우 질화에 의한 비유전율 증가로 파괴전압이 증가하리라 생각된다.

그림11은 대기압 분위기에서 열적질화시킨 질산화막과 plasma분위기에서 열적질화시킨 질산화막의 표면의 성분분석을 각각 조사하기 위한 SIMS분석이다. 그림 (a)는 대기압 분위기에서 질화온도를 1100°C로 유지하면서 1시간 동안 열적질화한 질산화막의 분석이며 그림 (b)는 NH_3 plasma분위기에서 질화온도를 1100°C로 유지하면서 1시간동안 열적질화한 질산화막

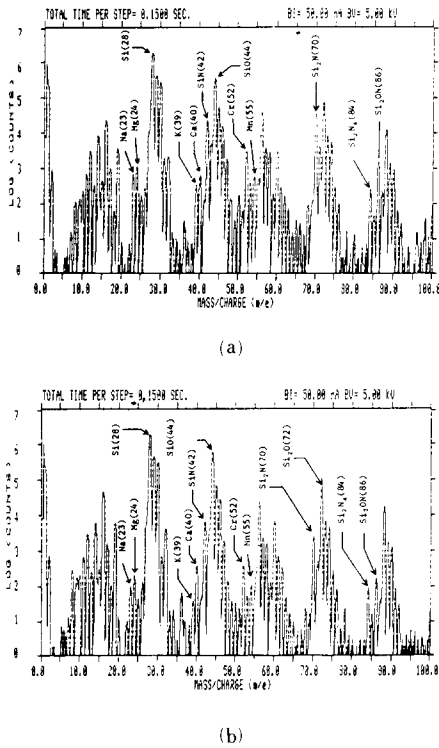


그림 11. NH_3 분위기에서 열적 질산화된 질산화막(a)과 1.8torr의 NH_3 plasma분위기에서 열적 질산화된 질산화막(b)의 SIMS분석.

Fig. 11. SIMS surface survey for SiO_2 film thermally nitrided in NH_3 gas (a), and in NH_3 gas plasma at 1.8torr (b).

의 분석이다. 이 두 그림을 비교하면 plasma를 이용한 저기압 공정이 Na, Mg, K, Ca, Cr 및 Mn과 같은 금속 불순물로부터 오염이 적게됨을 알 수 있다. 그러므로 저기압에서의 plasma공정이 대기압에서의 공정보다 불순물로부터의 오염이 적은 막을 얻을 수 있다.

IV. 結 論

SiO_2 막막을 1.5torr이하의 낮은 기압의 NH_3 plasma 분위기에서 열적질화시킨 후 막막의 AES분석 및 ellipsometer 두께 측정 결과에 의하면 etching 현상이 크게 나타났다. 그러나 1.8torr 정도의 NH_3 plasma 분위기에서는 SiO_2 막이 etching되지 않고 질화가 되어 질산화막이 형성되었음을 알 수 있었다. 즉 막전체를 통하여 고르게 N의 성분이 분포되어 있으며 또한 막의 표면과 SiO_2/Si 界面에는 N의 성분이 약간 높게 나타남을 보이고 있다. 그리고 질화온도가 높

을수록 막 내에 질소가 많이 존재하고 따라서 比誘電率도 크게 증가한다. SiO_2 막의 plasma 열적질화시 SiO_xNy 막내에는 固定電荷 및 捕獲電荷들이 형성되어 V_{FB} 의 변화가 일어난다. 질화가 계속 진행됨에 따라 $|V_{\text{FB}}|$ 의 크기가 점점 커져서 최대값을 보이다가 다시 서서히 감소하는 경향을 보인다. 그리고 질화온도가 높을수록 $|V_{\text{FB}}|$ 가 최대로 변화하는 시간이 빨리 일어났다.

6%의 CF_4 를 첨가한 NH_3 plasma 열적질화 공정에 의하여 막의 表面에 높은 질소의 농도를 갖는 질산화막을 얻을 수 있다. CF_4 가스를 혼합함으로써 비유전율은 증가하나 더욱 더 많은 Si-O결합의 破壞로 인해 陽電荷의 형성이 많아져 V_{FB} 의 변화가 매우 크게 나타난다.

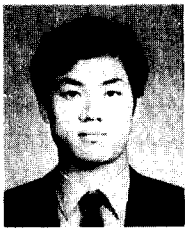
이러한 두가지 공정에서 제조된 질산화막은 F-N 傳導 특성을 나타내었다. 그리고 저기압 plasma공정이 대기압 공정에서보다 不純物의 汚染이 적다는 것을 SIMS분석을 통해 확인하였다.

參 考 文 獻

- [1] S.S. Wrong, and C.G. Sodini, T.W. Ekastedt, H.R. Grinolds, K.H. Jackson, and S.H. Kwan "Low pressure nitrided-oxide as a thin gate dielectric for MOSFET's," J. Electrochem. Soc., vol. 130, no. 5, pp. 1139-1144, May, 1983.
- [2] M. Moslehi "Thermal nitridation of Si and SiO_2 for VLSI," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-32, no. 2, pp. 106-123, Feb. 1985.
- [3] Y. Hayafuji and K. Kajiwaru "Nitridation of silicon and oxidized-silicon," J. Electrochem Soc., vol. 129, no. 9, pp. 2102-2108, Sept. 1982.
- [4] S. Aritome, M. Morita, T. Tanaka, and N. Hirose "Low-Temperature nitridation of Fluorinated Silicon Dioxide Films in Ammonia Gas" Appl. Phys. Lett., vol. 51, no. 13, pp. 981-983, Sept. 1987.
- [5] Giridhar, R. "Thermal Nitridation of Silicon in Active Nitrogen," Doctor of philosophy thesis in electrical engineering. Rensselaer Polytechnic Institute May. 1985.
- [6] F.L. Terry, J.R. R.J. Aucoin, M.L. Naiman "Radiation effects in nitrided oxides," IEEE Electron Device Letters, vol. ED1-4, no. 6, June 1983.

- [7] P. Fazan, M. Dutoit, and M. Ilegems "Nitridation of thin SiO₂ films in N₂ and NH₃ Plasma," *Applied Surface Science* 30, pp. 224-228, Apr. 1987.
- [8] X.R. Cheng, B.Y. Liu and Y.C. Cheng "Electrical conduction in thin thermally nitrided SiO₂ (Nitroxide)," *Applied Surface Science* 30, pp. 237-243, Jun. 1987.
- [9] J.C. Hui, T.Y. Chiu, S.S. Wong and W.G. Oldham "Sealed-Interface local oxidation technology," *IEEE Journal of solid-state circuits*, vol. sc-17, no. 2, pp. 184-191, Apr. 1982.
- [10] M.A. Schmidt, J.I. Raffel, F.L. Terry et al. "A metal-gate self-aligned MOSFET using nitrided oxide," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. ED-32, no. 3, pp. 643-648, 1985.
- [11] S.I. Raider, R.A. Gdula, and J.R. Petrack "Nitrogen reation at a silicon-silicon dioxide interface," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 27, no. 3, pp. 150-152, Aug. 1975.
- [12] T. Ito, I. Kato, T. Nozaki, T. Nakamura and H. Ishikawa "Plasma-enhanced thermal nitridation of silicon," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 38, no. 5, 1, pp. 370-372, Mar. 1981.
- [13] M. Morita, T. Ishihara and M. Hirose "Heating silicon dioxide at 950-1050°C in the presence of an NH₃ + CF₄ plasma," *J. Appl. Phys.*, vol. 56, no. 2, pp. 342-346, July 1984.
- [14] R.P.H. Chang, C.C. Chang and S. Darack "Fluorine-enhanced plasma growth of native layers on silicon," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 36, no. 12, 15, pp. 999-1002, Jun. 1980.
- [15] R.V. Gridhar and K. Rose "SF₆ enhanced nitridation of silicon in active nitrogen," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 45, no. 5, pp. 578-968, Sept. 1984.
- [16] M. Hirayama, T. Matsukawa, H. Arima, Y. Ohno, N. Tsubouchi and H. Nakata "Plasma anodic nitridation of silicon in N-H system," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 131, no. 3, pp. 663-666, Mar. 1984.
- [17] F.H.P.M. Habraken, A.E.T. Kuiper, and Y. Tamminga "Thermal nitridation of silicon dioxide films," *J. Appl. Phys.*, vol. 53, no. 10, pp. 6996-7002, Oct. 1982.
- [18] Takashi Ito, Takao Nozaki, and Hajime Ishikawa "Direct thermal nitridation of silicon dioxide films in anhydrous ammonia Gas," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 9, pp. 2053-2057, Sept. 1980.
- [19] Paihung Pan, "Characteristics of thermal SiO₂ films during nitridation," *J. Appl. Phys.*, vol. 61, no. 1, pp. 284-293. Jan. 1987.
- [20] B. Balland, J.C. Bureau, A. Benamar, A. Ronda and A. Glachant "High and low thermal nitridation of SiO₂ thin Films," *Applied Surface Science*, vol. 30, pp. 216-223. 1987.
- [21] M. El-Sayed and J. Camargo da costa. "High field phenomena in thin plasma nitrided SiO₂ films," *Applied Surface Science*, vol. 30, pp. 229-336, 1987.

 著 者 紹 介



李 在 成 (正會員)

1964년 6월 9일생. 1983년 3월 ~ 1987년 2월 경북대학교 공대 전자공학과 학사학위취득. 1989년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 석사 학위취득. 1989년 3월 경북대학교 대학원 전자공학과 박사 과정 입학. 1989년 8월 ~ 현재 군 북부.

주관심 분야는 VLSI제조공정, plasma응용기술, 전자 재료 개발, CVD 등임.

李 龍 鉉 (正會員) 第25卷 第11號 參照
현재 경북대학교 공과대학 전자공학과 부교수

崔 時 永 (正會員) 第14卷 第5號 參照
현재 경북대학교 공과대학 전자공학과 부교수

李 德 東 (正會員) 第25卷 第11號 參照
현재 경북대학교 공과대학 전자공학과 교수