

다결정 박막 트랜지스터 적용을 위한 SiNx 박막 연구

A Study on the Silicon Nitride for the poly-Si Thin Film Transistor

김도영, 김치형, 고재경, 이준신*

(Do-Young Kim, Chi-Hyung Kim, Jae-Kyung Ko, and Junsin Yi)

Abstract

Transformer Coupled Plasma Chemical Vapor Deposited (TCP-CVD) silicon nitride (SiNx) is widely used as a gate dielectric material for thin film transistors (TFT). This paper reports the SiNx films, grown by TCP-CVD at the low temperature (300°C). Experimental investigations were carried out for the optimization of SiNx film as a function of N₂/SiH₄ flow ratio varying 3 to 50 keeping rf power of 200 W. This paper presents the dielectric studies of SiNx gate in terms of deposition rate, hydrogen content, etch rate and leakage current density characteristics for the thin film transistor applications. And also, this work investigated means to decrease the leakage current of SiNx film by employing N₂ plasma treatment. The insulator layers were prepared by two step process: the N₂ plasma treatment and then PECVD SiNx deposition with SiH₄, N₂ gases.

Key Words : Polycrystalline thin film transistor, SiNx, TCP-CVD, N₂ plasma treatment, Leakage current

1. 서론

미래는 첨단 디지털 정보통신 시대로서 경량, 박형 및 일체화된 전자시스템을 구현하기 위한 새로운 기술이 요구되고 있다[1]. 이러한 새로운 기술의 요구에 따라 고품위의 다결정 실리콘(poly-Si) 박막트랜지스터(Thin Film Transistor, TFT)를 이용하여 기존의 비정질 실리콘(a-Si) TFT를 대체하려는 연구들이 활발하게 진행되고 있다[2]. 다결정 실리콘 TFT의 경우 국내의 연구 개발은 이미 수년 전부터 착수하여 개발제품으로 7" CNS용, 5" PDA/항공용으로 응용되고 있으며, 최근에는 2"급의 IMT-2000 형의 반사형 poly-Si TFT 제품이 발표되고 있다[3]. 향후 기술 발전의 진보가 이루어져 양질의 디스플레이 구동소자의

핵심인 다결정 실리콘 TFT를 제작할 수 있다면, 고정세화, 저소비 전력화, 고속 동작, 구동전류를 가지는 디스플레이소자를 제작할 수 있을 것이다. 그러나 다결정 실리콘 TFT의 경우 다결정 실리콘의 결정화외에도 해결해야 할 과제가 많다. 첫째로 다결정 실리콘으로 active layer로 사용할 경우 비정질 실리콘에 비하여 이동도가 증가하고 on 전류가 증가하게 된다. 상대적으로 off 상태에서의 전류도 증가하게 되어 문제를 야기하게 된다[4]. 둘째로 다결정실리콘의 결정입계(grain boundary)의 존재가 그 중 하나이다. 채널 영역에 결정입계가 존재할 경우 poly-Si 박막의 에너지 밴드갭 내부의 금지 대역 내에 많은 국지준위들이 분포하며 이것이 게이트 절연층과의 계면에서 전하가 포획되어 작용함으로써 다결정 실리콘 TFT의 이동도나 on 전류를 낮추는 원인으로 작용한다[5]. TFT 동작에 있어서 게이트전압 인가시 전기장은 대부분 절연층이나 Si 계면에 걸리게 되고 이로 인해 유도된 전하는 거의 모두 계면에 모인다. 따라서 절연층과 다결정 실리콘의 내부뿐만 아니라 계면의 국재상

* : 성균관대학교 정보통신공학부
(경기도 수원시 장안구 천천동 300,
Fax: 031-290-7159)

Corresponding Author : amorp@skku.edu)

2003년 7월 29일 접수, 2003년 8월 21일 1차 심사완료,
2003년 9월 22일 최종 심사완료

태가 TFT의 동작에 미치는 영향성도 크게 된다. 그러므로 다결정 실리콘 활성층으로 사용할 경우 게이트 절연층은 다결정 실리콘과 계면상태를 우수하게 할 수 있는 절연층이 필수적으로 필요하게 된다. 본 연구에서는 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 적용하기 위해 우수한 절연특성을 갖는 SiNx 박막을 연구하였다. 본 연구에서는 N₂와 SiH₄의 가스비를 조절하여 최적의 SiNx의 절연층 성장조건을 통하여 박막을 성장시켰으며, Si 계면과 SiNx 간의 플라즈마 처리로 계면의 상태를 향상시킬 수 있는 N₂ plasma 처리의 효과에 대하여 연구하였다.

2. 실험

본 연구에서는 SiNx 박막을 성장하는 장치로 평형 코일형의 transformer coupled plasma를 이용한 CVD를 이용하였다. 평형 코일로부터 샘플까지의 거리는 14 cm를 유지하였다. 아래의 그림 1(a)에 본 연구에서 사용된 반응기의 모식도를 나타내었다. 실험에 사용된 실리콘 기판(p-type, <100>, 25.5~40 Ω-cm)은 메탄올, 아세톤, 탈 이온수(D.I water)에서 각각 10 min간 초음파 세척을 한 후 N₂ 가스로 건조하였다. SiNx 박막을 성장하기 전 실리콘 기판의 상부의 자연 산화막을 제거하기 위해 시료를 BHF(buffered HF)에 담가 자연 산화막을 제거 하였다. SiNx 박막 증착시 N₂/SiH₄의 가스비율을 3~50으로 가변 하면서 증착하였다. 가스비율이 가변될때 내부압력은 20 mTorr로 일정하게 유지되었으며, 13.56MHz의 rf power 전력과 기판온도는 각각 200 W와 300 °C로 고정하였다. 가스비율 가변에 따른 SiNx 박막내의 Si-N, Si-H 결합을 정성, 정량적으로 평가하기 위해 Fourier Transformation Infrared spectroscopy(FT-IR)를 통해 분석하였으며, 박막의 두께와 굴절률을 측정하기 위하여 고정 파장(632.8nm) ellipsometer를 이용하여 측정하였다. 식각속도를 평가하기 위해 시료를 10:1 (H₂O:HF)의 희석된 HF에서 식각시간을 측정하여 구하였다. 누설전류와 유전율을 측정하기 위해 제작된 MIS 구조를 제작하였다. 플라즈마 처리의 유무에 따른 계면특성을 비교하기 위하여 SiNx 박막을 성장하기 전에 N₂ 플라즈마 처리를 하였다. 표면의 polishing 되지 않은 후면에 열 기상증착법을 이용하여 후면에 1500 Å 두께의 Al 박막을 증착하였고, 음성접합을 위해 급속열처리법(RTA)으로 550 °C로 15분간 열처리를 하였다. 상

부 전극은 dot형의 전극이 SiNx를 성장시킨 후 하부전극과 동일한 방법으로 성장되었다. 그림 1(b)는 MIS 구조로 제작된 SiNx의 단면 모식도이다. 전기적 측정을 위하여 Keithley 617 multimeter와 Fluke 5100B voltage source를 사용하여 누설전류를 구하였고, 1MHz의 Boonton 7200 C-V meter와 Fluke 5100B voltage source를 이용한 C-V측정을 통하여 유전상수를 결정하였다.

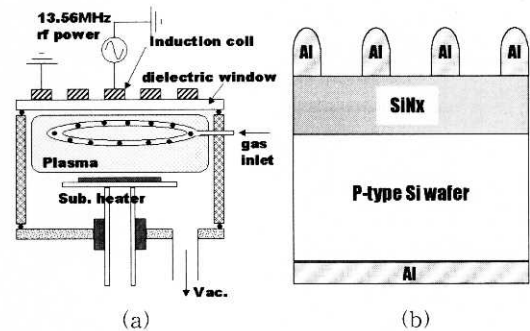


그림 1. SiNx를 성장을 위한 transformer coupled plasma CVD 시스템 모식도(a)와 전기적 특성분석을 위하여 제작된 MIS구조의 단면 모식도(b).

Fig. 1. Schematic diagram for deposited silicon nitride (SiNx) of the transformer coupled plasma chemical vapor deposition system(a) and the cross-sectional view of MIS structure in order to electrical characteristics.

3. 결과 및 고찰

3.1 SiNx 박막특성 평가

그림 2는 N₂/SiH₄ 가스비율을 3에서 50까지 변화시키면서 증착시킨 SiNx 박막의 유전상수, 증착속도, 굴절률의 그래프이다. 가스비율이 증가함에 따라 SiNx 박막의 굴절률의 변화는 2.04에서 1.74까지 감소하였다. 박막 트랜지스터를 제작 할 경우 threshold voltage가 가장 낮게 나타나는 SiNx의 굴절률은 일반적으로 1.85에서 1.9의 낮은 값을 요구한다[6]. 실험을 통해 얻어진 결과 중 굴절률 1.85~1.9에 가장 접근한 N₂/SiH₄ 가스비율은 10일 때 1.84의 굴절률을 나타낸다. 이러한 원인은 가스비율이 증가함에 따라 낮은 가스비율에서 보다 N₂가 플라즈마에 의하여 분해되는 양이 증가하여 작

은 값의 굴절률을 갖는 nitrogen-rich한 박막이 형성되어진 것으로 사료된다. 또한 N_2/SiH_4 의 가스비율이 증가함에 따라 증착속도가 11.34 nm/min에서 4.02 nm/min으로 감소한다. 이것은 SiH_4 에 대한 N_2 의 희석률의 증가에 따라 성장속도의 감소를 의미한다. 가스비율 변화에 따른 유전상수 ϵ_r 은 약 5.1에서 6.4까지 변화되었으며 N_2 의 양이 증가함에 따라서 감소하는 경향을 나타내었으며, 일정 가스비율(N_2/SiH_4 의 가스비율 20)이하에서는 일반적으로 TCP-CVD를 이용하여 300 °C에서 증착할 때 얻어질 수 있는 유전상수($\epsilon_r \approx 6 \sim 9$)의 범위[7] 안에 속하는 박막임을 확인할 수 있었다.

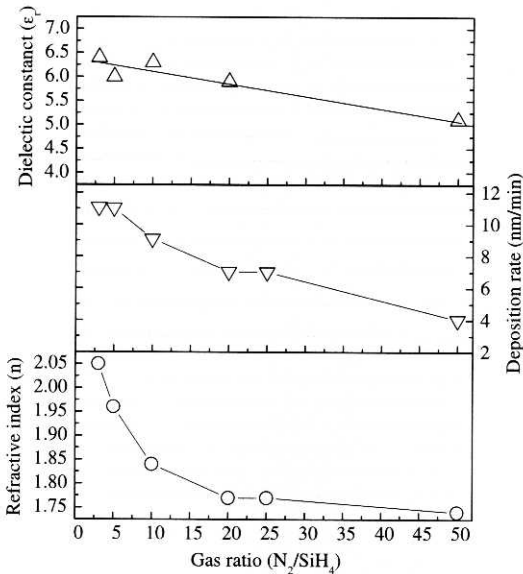


그림 2. 가스비율(N_2/SiH_4)에 따른 유전상수 (ϵ_r), 식각속도, 성장속도, 굴절률(n).

Fig. 2. Dielectric constant (ϵ_r), etching rate(nm/min), deposition rate(nm/min), refractive index as a function of gas ratio (N_2/SiH_4).

그림 3은 굴절률에 따른 습식 식각속도를 나타내는데, 굴절률이 증가함에 따라 식각속도가 감소한다. 일반적으로 박막 트랜지스터에 적용하기에 적합한 식각속도는 buffered HF에서 120 nm/min로 보고되고 있다[8]. 본 연구에서는 굴절률이 1.74에서 110 nm/min의 근사한 값을 보였다. 굴절률이 증가함에 따라 식각속도가 급격히 감소하다가 굴절률 1.84 이상이 되면서 식각속도가 일정해지는

경향을 보이고 있다. 이것은 굴절률이 증가함에 따라 박막이 치밀하여짐을 알려주며 굴절률의 증가는 silicon-rich한 박막이 되어짐의 증거이므로 굴절률의 증가는 치밀한 박막의 형성에 영향이 있음을 알 수 있었다.

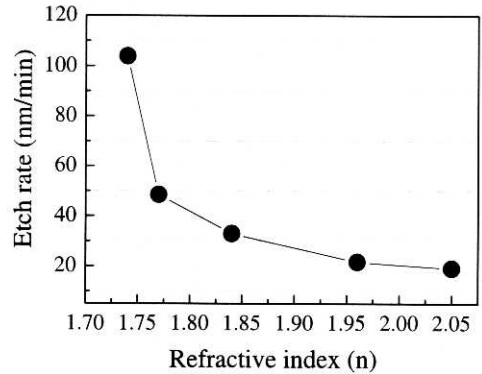


그림 3. 굴절률과 식각속도의 관계.

Fig. 3. The relationship of refractive index and etching rate.

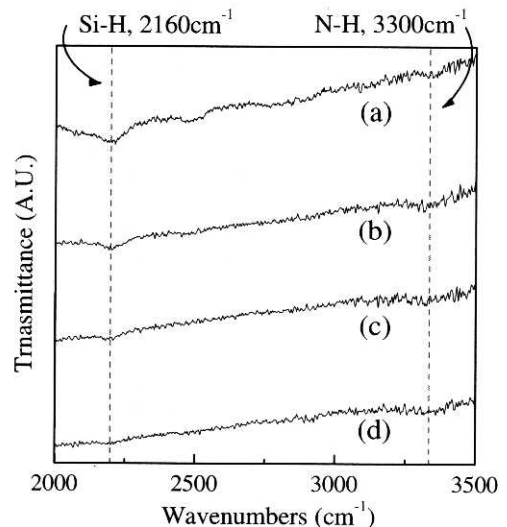


그림 4. 가스비율 변화에 따른 FT-IR 분석결과, N_2/SiH_4 비율 (a) 5, (b) 10, (c) 20, (d) 50.

Fig. 4. FT-IR spectroscopy as a function of N_2/SiH_4 gas ratio (a) 5, (b) 10, (c) 20, (d) 50.

그림 4는 N_2/SiH_4 의 가스비율을 5에서 50까지 가변하면서 증착한 SiN_x 박막의 FT-IR 스펙트럼을 보여주고 있다. Si-H와 N-H의 결합 여부는 약 2160 cm^{-1} 과 3300 cm^{-1} 의 과정에서 진동하는 Si-H와 N-H bond의 흡수 강도로부터 얻어지며, 그 양은 흡수 peak 위치에서의 흡수도와 Si-H bond의 분자 흡수 계수 $5.7 \times 10^{20}\text{ cm}^2$ 와 N-H bond의 분자 흡수 계수 $4.8 \times 10^{20}\text{ cm}^2$ 를 이용하여 결합 비율을 알 수 있다[9]. N_2/SiH_4 의 가스비율이 증가함에 따라 Si-H bond의 peak는 감소하고 N-H bond의 peak는 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 N_2 의 양이 증가함에 따라 상대적인 N의 반응비율이 증가함에 따라 박막 SiN_x 와 결합되는 H의 양이 감소함을 알 수 있으며 N-H bond의 빈도는 플라즈마에 의해서 분해되는 양이 일정함을 알 수 있다.

표 1. N_2/SiH_4 가스비율에 따른 Si-H, N-H bond 내에 수소농도.

Table 1. Hydrogen contents in related to Si-H and N-H bond as a function of N_2/SiH_4 gas ratio.

N_2/SiH_4 gas ratio	Si-H bond (cm^{-3})	N-H bond (cm^{-3})	Total H content (cm^{-3})
3	8.55×10^{21}	1.32×10^{22}	2.18×10^{22}
5	7.77×10^{21}	1.53×10^{22}	2.31×10^{22}
10	3.20×10^{21}	1.68×10^{22}	2.00×10^{22}
20	1.47×10^{21}	1.76×10^{22}	1.91×10^{22}
50	1.20×10^{21}	1.44×10^{22}	1.56×10^{22}

표 1.은 FT-IR 스펙트럼을 통해 N_2/SiH_4 가스비율이 3에서 50까지 변화시킬 때 Si-H, N-H bond에서의 수소농도와 SiN_x 박막에 포함된 전체 수소농도를 나타내었다. 박막 내에 존재하는 수소의 양은 SiN_x 의 전기적 특성에 있어서 중요한 역할을 하는데, 박막의 bulk와 계면에 존재하는 dangling bond를 억제하는 역할을 한다[10]. 하지만 N-H bond와 Si-H bond 등은 절연막 내부에서 계면 준위 밀도를 증가시켜, 에너지 밴드갭 내에 국부적인 에너지 준위를 형성하게 되어 절연막의 전기적 성질을 악화시키는 원인이 되기도 한다. N_2/SiH_4 의 가스비가 증가함에 따라 Si-H bond에서의 수소 농도가 감소하고 있으며, N_2/SiH_4 의 가스비가 10부터는 Si-H bond에서의 수소 농도가

크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면 N-H bond에서 수소 농도는 증가한다. 이러한 결과는 가스비율이 증가함에 따라 박막내부의 N의 비율이 증가하게 되고 결과적으로 H와 결합할 확률이 증가함에 따른 것이다.

그림 5는 가스 비율이 5, 10, 20, 50 일 때 SiN_x 박막의 누설전류 측정 결과이다. 가스 비율이 10일 때 -3 V 에 대한 누설전류는 $2.12 \times 10^{11}\text{ A}$ 로 가장 낮은 값을 보이고, 5일 때는 $4.77 \times 10^{11}\text{ A}$ 의 값으로 약간 증가하고 있다. 가스 비율이 20과 50으로 증가함에 따라 대해서 누설전류가 각각 $7.41 \times 10^{11}\text{ A}$, $2.45 \times 10^{10}\text{ A}$ 로 증가한다. 이러한 경향을 그림 4에 나타낸 FT-IR 스펙트럼 분석결과를 통해 해석할 수 있는데, 가스 비율이 증가함에 따라 Si-H bond가 줄어들고 N-H 결합은 상대적으로 증가함에 따라 누설전류도 감소한다. 하지만 가스비율이 20을 넘어서면서부터 Si-N 결합을 이루지 못한 질소와 수소가 결합하고, 가스비율 10이하에서 보이지 않던 불안정한 N-H 결합도 증가하게 된다. 이러한 불안정한 결합은 절연막의 계면 준위밀도를 증가로 인한 에너지 밴드갭 내의 국부 에너지 준위를 형성하는 원인이 되고, 절연막의 전기적 성질을 악화시키는 원인이라고 사료된다.

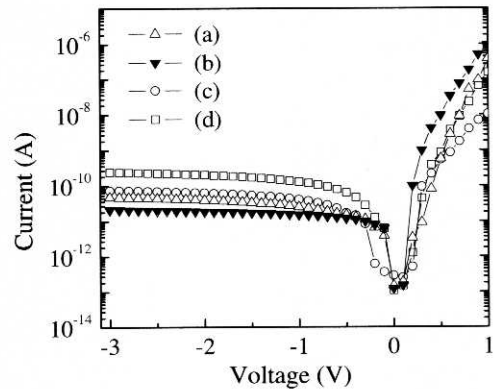


그림 5. 가스비율에 따른 I-V 특성, N_2/SiH_4 비율 (a) 5, (b) 10, (c) 20, (d) 50.

Fig. 5. The current-voltage properties as a function of N_2/SiH_4 the gas ratio (a) 5, (b) 10, (c) 20, (d) 50.

3.2 N_2 플라즈마 처리에 따른 계면 특성 평가

박막 SiN_x 성장전 N_2 플라즈마를 이용한 표면

처리에 따른 영향성을 규명하기 위해 SiNx 박막을 증착하기 전에 N₂ 플라즈마를 이용하여 표면처리 후 기판온도 300 ℃에서 N₂/SiH₄의 가스비율을 3에서 50까지 가변하면서 시료를 제작하였다. 그림 6은 N₂ 플라즈마 표면처리 유무에 따른 굴절률과 성장속도의 비교 곡선을 보여주고 있다. N₂ 플라즈마 표면 처리유무에 따라 굴절률은 유사한 경향을 나타내고 있으나 전체적으로 표면처리에 의하여 굴절률이 감소함을 알 수 있다. 반면에 증착률은 유사한 경향을 가지면서 미소증가하는 특성을 가지고 있었다. 이는 N₂ 플라즈마 처리시 박막의 표면에 플라즈마 식각작용과 동시에 얇은 두께의 질화막이 형성됨으로 인한 결과로 사료된다.

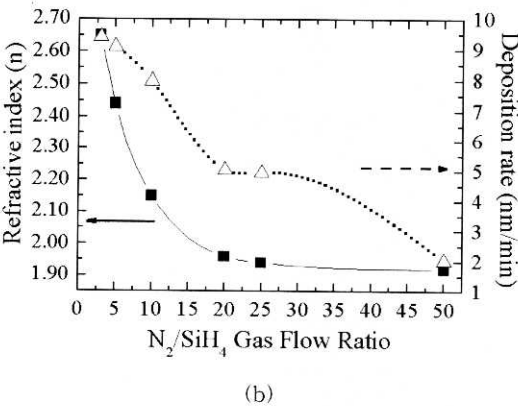
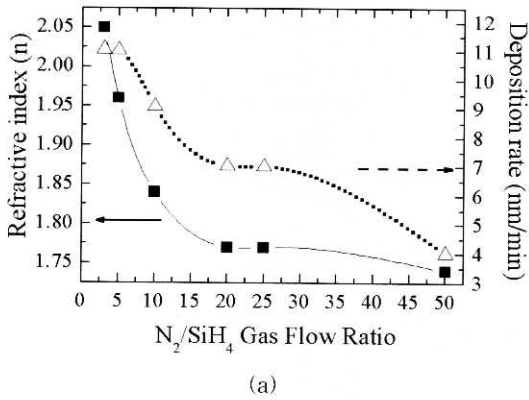


그림 6. N₂ 플라즈마 표면처리 유(a), 무(b)에 따른 굴절률과 증착속도의 특성곡선.

Fig. 6. The refractive index and deposition rate curves with and without N₂ plasma treatment.

그림 7은 N₂ 플라즈마 표면처리 유무에 따른 C-V 곡선을 보여주고 있다. 그림 7에서 보듯이 C-V 곡선은 전체적으로 음의 방향으로 이동되어져 있다. 이는 절연막의 고정전하가 양전하임을 알 수 있는 것으로 SiNx/Si 계면에 존재하는 결함들로부터 생긴 불균형적인 전하와 SiNx 박막내부에 존재하는 양전하들이 C-V 곡선을 음전압 방향으로 이동시킨 원인이 된 것으로 생각되어진다. 특히 N₂ 플라즈마 표면처리를 하였을 경우 음의 방향으로의 이동이 더욱 크게 나타났다. 이는 N₂ 플라즈마를 통한 실리콘 표면의 질화로 인하여 양전하 밀도가 높아졌기 때문으로 사료된다. 이와는 다르게 N₂ 플라즈마 표면처리를 하지 않았을 경우에는 이력특성이 크게 나타났으나, N₂ 플라즈마 표면처리 후에는 이력특성이 감소하였다. 이는 박막 내에 전하를 띄는 트랩되어 있는 전기적상태인 유동전하가 크게 감소함을 알 수 있다.

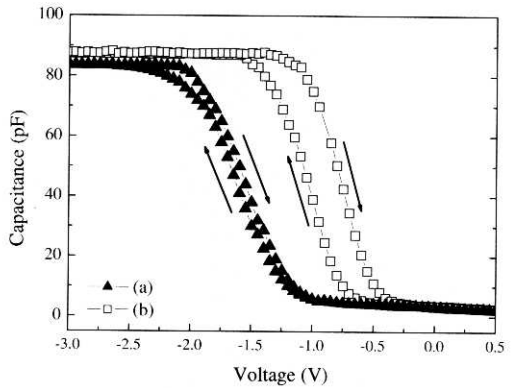


그림 7. N₂ 플라즈마처리 유(a), 무(b)에 따른 C-V 특성곡선.

Fig. 7. The capacitance-voltage characteristics with and without N₂ plasma treatment.

4. 결론

박막 트랜지스터의 게이트 절연막으로 사용하기에 적합한 전기적 특성을 갖는 조건은 가스비가 10일 때 약간의 질소가 풍부한 1.84의 굴절률을 가지며, 32.9 nm/min의 식각속도를 가진다. 또한, FT-IR 스펙트럼 분석을 통해 표 1에서 보였듯이 박막내부의 수소 농도는 $2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 의 값을 나타내고 있다. 이때 누설 전류는 -3 V의 전압을 인

가할 때 2.12×10^{11} A의 측정값을 보인다. 이처럼 300 °C의 저온 공정에서도 N_2 와 SiH_4 의 가스비율을 조절함으로써 우수한 절연특성을 갖는 절연막을 얻을 수 있었다. N_2 플라즈마 표면 처리 시 박막의 표면에 플라즈마 식각 작용과 동시에 얇은 두께로 질화막이 형성됨을 볼 수 있었다. SiN_x/Si 계면에 존재하는 불균형적인 전하와 양전하들이 N_2 플라즈마 표면처리를 하였을 경우 음의 방향으로의 이동을 더욱 크게 하는 것으로 나타났다. 또한 이력특성의 감소됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술재단의 지역협력연구센터(RRC)인 성균관대학교 정보통신용 신기능성 소재 및 공정 연구센터의 지원 (과제번호 : R12-2002-057-02003-0)으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Hiroaki Kitahara, Mitsutaka Morimoto, Hidehiko Katoh, and Masaya Hijikigawa, "Long term roadmap for products and technology of TFT-LCD toward 2010", Proc. 2002 IDW conf., SID, p. 291, 2002.
- [2] Kenji Nakazawa, "Recrystallization of amorphous silicon films deposited by low-pressure chemical vapor deposition from Si_2H_6 gas", J. Appl. Phys., Vol. 69, No. 3, p. 1703, 1991.
- [3] 이준신, 이호, 도이미, 정창오, 유진태, 강해성, 박영복, 임동우, 김관식, "2002 신기술동향조사 보고서 - 박막트랜지스터", 2002.
- [4] A. Pecora, M. Schillizzi, G. Tallarida, G. Fortunato, C. Reita, and P. Migliorato, "Off-current in polycrystalline silicon thin film transistors: an analysis of the thermally generated component", Solid State Elect., Vol. 38, Issue 4, p. 845, 1995.
- [5] H. Gleskova, S. Wagner, V. Gasparik, and P. Kovac, "Low-temperature silicon nitride for thin-film electronics on polyimide foil substrates", Applied Surface Science, Vol. 175-176, p. 12, 2001.
- [6] Luis da Silva Zambom, Ronaldo Domingues Mansano, and Rogerio Furlan, "Silicon nitride deposited by inductively coupled plasma using silane and nitrogen", Vaccum, Vol. 65, p. 213, 2002.
- [7] Joong whan Lee, Ryong Ryoo, Mu Shik Jhon, and Kyoung-Ik Cho, "Bond density and physicochemical properties of a hydrogenated silicon nitride film", J. Phys. Chem. Solids, Vol. 56, No. 2, p. 293, 1995.
- [8] John L. Vossen, "Thin Film Processes", Academic press, p. 344, 1978.
- [9] W. Lanford and M. J. Rand, "Hydrogen content of plasma-deposited silicon nitride", J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 4, p. 2473, 1978.
- [10] Yue Kuo, "Plasma enhanced chemical vapor deposited silicon nitride as a gate dielectric film for amorphous silicon thin film transistors -a critical review", Vaccum, Vol. 51, No. 4, p. 741, 1998.