

실리콘 산화막에서 스트레스 전류의 두께 의존성 Thickness Dependence of Stress Currents in Silicon Oxide

강창수 유한전문대학 전자과
이형옥 오산전문대학 전자과
이성배 광운대학교 전자재료공학과
서광열 광운대학교 전자재료공학과

Chang-Soo Kang Dept. of Electronic Engineering, Yuhan College
Hyung-Ok Lee Dept. of Electronic Engineering, Osan College
Sung-Bae Lee Dept. of Electronic Material Engineering, Kwangwoon University
Kwang-Yeol Seo Dept. of Electronic Material Engineering, Kwangwoon University

Abstract

The thickness dependence of stress voltage oxide currents has been measured in oxides with thicknesses between 10nm and 80nm. The oxide currents were shown to be composed of stress current and transient current. The stress current was caused by trap assisted tunneling through the oxide. The transient current was caused by the tunneling charging and discharging of the trap in the interfaces. The stress current was used to estimate the limitations on oxide thicknesses. The transient current was used to the data retention in memory devices.

I. 序論

半導體 産業의 急速한 伸張에 따라 金屬酸化물半導體 素子は 高信賴性 실리콘 酸化물을 要求한다. 실리콘 酸化膜은 스위칭, 絶緣, 記憶機能에 重要な 役割을 한다. 高品質의 얇은 실리콘 酸化膜은 高集積度 改善에 必須의 要素이다.¹⁾²⁾

高品質 酸化膜을 爲한 얇은 실리콘 酸化膜에 對한 스트레스 電流, 스트레스 誘起 漏泄電流(SILC:Stress Induced Leakage Current) 그리고 轉移電流에 關한 研究가 集中되고 있다.³⁾ 酸化膜에 引加되는 스트레스 電壓은 스트레스 電流, 스트레스 誘起 漏泄電流 그리고 轉移電流를 誘發한다. 스트레스 電流는 얇은 酸化膜의 限界를 評價할 수 있다.⁴⁾ 스트레스 誘起 漏泄電流는 얇은 酸化膜에서 低電壓 破壞現象을 나타낸다.⁵⁾ 그리고 酸化膜 두께가 減少할수록 增加함을 보여주고 있다.⁶⁾ 스트레스 誘起 漏泄電流와 轉移電流는 界面에서 發生된 트랩의 트래핑과 디트래핑에 의한 터널링 現象에 依해 發生한다.⁷⁾ 스트레스 電壓을 引加하고 난 後, 發生된 轉移電流는 記憶素子の 記憶維持 特性에 影響을 준다.⁸⁾ 스트레스 電流와 轉移電流는 引

加 電壓이 增加함에 따라 增加한다.⁹⁾

本 研究에서는 酸化膜 두께를 다르게 製作한 素子에서 酸化膜 電流와 轉移電流를 測定 調査하였다. 酸化膜에 흐르는 酸化膜 電流와 轉移電流는 스트레스 電壓, 스트레스 極性, 酸化膜 두께 그리고 時間의 函數으로써 스트레스 電壓 前後에 測定하고 메모리 素子에 應用 可能性을 調査하였다.

II. 實驗

素子は 比抵抗 $1\sim 2 \Omega\text{cm}$ 인 n과 p形 基板에 LOCOS 過程과 n+ 폴리실리콘 게이트를 使用하여 850°C 乾式 酸化法으로 製作하였다. 酸化膜 두께는 各各 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å 이고, 素子の 게이트 面積은 各各 10^{-3}cm^2 이었다. 스트레스 電壓에 따른 電壓 電流特性은 휴렛 팩커드 HP4140B, 웨이브텍 395 그리고 마이크로 매니플레이터 프로브 스테이션을 連結하여 測定하였다. 이 때 캐패시터의 스트레스 電壓은 HP4140B의 電壓源을 使用하여 引加하였다. 마이크로

매니플레이터는 쉴드 箱子로 完全 遮蔽하였으며 웨이퍼 上端에서 3次元 軸으로 動作하는 팁을 使用하였다. 웨이퍼는 3次元 軸으로 動作하는 척에 固定시키기 爲해서 眞空 펌프를 使用하였다. HP4140B는 램프電壓과 固定電壓에 依한 電流를 測定하기 爲해서 使用하였으며, 피코 암페어 미터의 測定 範圍는 1헨토 암페어였다. 테스트 리드 웍스처의 스트레이 電流 및 캐패시턴스는 오프셋 키에 依해 最小化하였다. 피코 암페어로 測定되어진 데이터는 휴렛 팩커드 HP9000으로 데이터 파일을 傳送하여 分析하였다.

電壓에 對한 酸化膜 電流密度의 램프電壓 測定條件은 始作電壓, 終電壓, 段階電壓, 段階時間, 維持時間 그리고 스위칭率을 變化시키면서 實行하였다. 高스트레스 電壓은 固定電壓과 固定時間에 對하여 遂行하였다. 스트레스 電流와 轉移電流에 對한 時間의 測定은 高스트레스 電壓을 引加하였을 때와 引加 後를 測定하였다.

III. 結果 및 討議

酸化膜에 스트레스 電壓을 引加할 때 흐르는 電流는 變位電流, 터널링 電流, 스트레스 誘起 漏泄電流로 構成되며, 스트레스 電壓을 引加하고 난 後 흐르는 電流는 變位電流와 트랩의 充放電 터널링 電流로 構成된다.

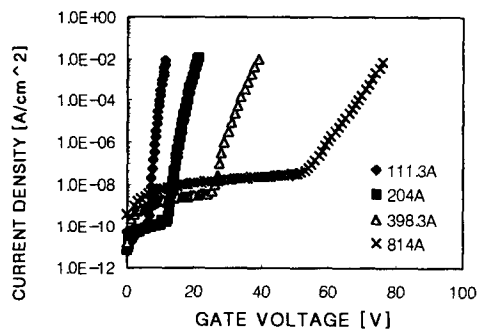


그림 1 酸化膜 두께에 따른 게이트 電壓에 對한 電流 密度

Fig. 1 The gate voltage vs. current density according to oxide thickness

酸化膜 두께에 따른 電壓 電流密度, 電壓 電流 그리고 時間 電流의 測定은 酸化膜의 스트레스 電流, 轉移 電流를 理解하고 記憶素子에 利用할 수 있는 酸化膜

의 限界를 把握할 수 있다.

酸化膜 두께 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å 金屬氧化物 半導體에서 게이트 電壓에 對한 酸化膜 電流密度의 關係를 그림 1에서 보여주고 있다.

그림 1에서 보여준 것과 같이 게이트 電壓이 增加할 수록 酸化膜 電流密度가 增加함을 보여주고 있다. 酸化膜의 두께가 增加할수록 스트레스 誘起 漏泄電流가 增加함을 보여주고 있으며 얇은 酸化膜일수록 작음을 알 수 있다. 酸化膜 터널링 電流는 酸化膜의 두께가 增加할수록 높은 게이트 電壓이 要求됨을 알 수 있다. 酸化膜 두께가 111.3Å과 204Å의 電壓 스위칭率은 0.2V/sec 그리고 398.3Å과 814Å의 電壓 스위칭率은 1V/sec로 하여 測定하였다.

酸化膜 두께가 各各 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å 金屬氧化物 半導體에서 電界에 對한 酸化膜 電流量의 關係를 그림 2에서 보여주고 있다.

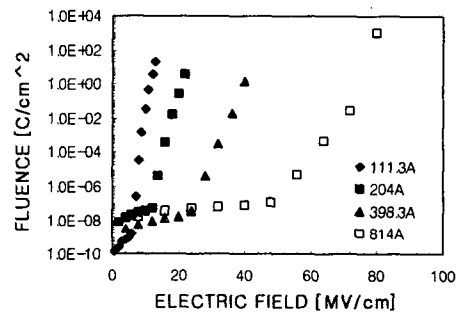


그림 2 酸化膜 두께에 따른 酸化膜 電界에 對한 電流量

Fig. 2 The oxide electric field vs. the fluence according to oxide thickness

그림 2에서와 같이 各各의 酸化膜 두께에 對한 酸化膜 터널링 電流 電界는 各各 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å에서 6.1MV/cm, 6.86MV/cm, 13.2MV/cm 그리고 5.65MV/cm였다. 게이트 電界에 對한 酸化膜 터널링 電流量은 酸化膜 두께에 따라 比例적으로 增加함을 보여주고 있다. 酸化膜 두께가 減少함에 따라 게이트 電界에 對한 酸化膜 電流量 增加도가 커짐을 보여주고 있다. 酸化膜 터널링 電流量 電界와 酸化膜 電流量 增加率은 酸化膜 두께에 比例함을 보여 주었다.

酸化膜 두께에 따라 酸化膜 電界를 引加하면서 測定한 스트레스 誘起 漏泄電流와 酸化膜 電流는 그림 3

과 같다.

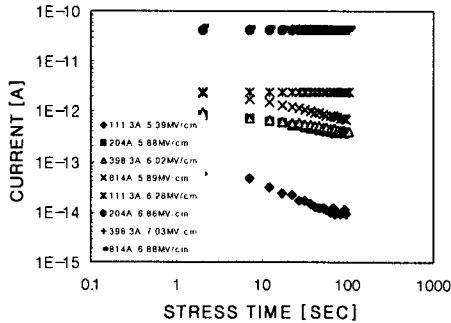


그림 3 酸化膜 두께에 따른 인가 電界에 對한 酸化膜 電流

Fig. 3 Applied electric field vs. oxide current according to the oxide thickness

그림 3에서와 같이 酸化膜 두께 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å에서 스트레스 電界를 各各 5.39MV/cm와 6.28MV/cm, 5.88MV/cm와 6.86MV/cm, 6.02MV/cm와 7.03MV/cm 그리고 5.89MV/cm와 6.88MV/cm를 引加하면서 測定한 스트레스 電流이다. 各各의 電流量은 111.3Å에서 $1.6970E^{-9}C/cm^2$ 과 $2.5198E^{-7}C/cm^2$, 204Å에서는 $5.7625E^{-8}C/cm^2$ 와 $4.1211E^{-6}C/cm^2$, 398.3Å에서는 $4.2976E^{-8}C/cm^2$ 와 $4.4153E^{-6}C/cm^2$ 그리고 814Å에서는 $1.2205E^{-7}C/cm^2$ 와 $4.8959E^{-6}C/cm^2$ 이었다. 各各의 酸化膜에서 스트레스 引加 時間을 100秒, 酸化膜 電界는 各各 111.3Å에서 12.58MV/cm, 204Å에서 11.76MV/cm, 398.3Å에서 10.04MV/cm 그리고 814Å에서 9.82MV/cm로 測定하는 中에 酸化膜 破壞가 發生하였다.

酸化膜이 111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 素子에서 스트레스 電壓 引加 後, 測定한 轉移電流는 그림 4와 같다.

그림 4와 같이 酸化膜 두께 111.3Å 素子에 스트레스 電界 5.39MV/cm와 6.28MV/cm를 引加하고 電流量 $1.6970E^{-9}C/cm^2$ 와 $2.5198E^{-7}C/cm^2$ 가 흐르고 난 後, 204Å 素子에 스트레스 電界 5.88MV/cm와 6.86MV/cm를 引加하고 電流量 $5.7625E^{-8}C/cm^2$ 와 $4.1211E^{-6}C/cm^2$ 가 흐르고 난 後, 398.3Å 素子에 스트레스 電界 6.02MV/cm와 7.03MV/cm를 引加하고 電流量 $4.2976E^{-8}C/cm^2$ 와 $4.4153E^{-6}C/cm^2$ 가 흐르고 난 後 그리고 814Å 素子에 스트레스 電界 5.89MV/cm와 6.88 MV/cm를 引加하고 電流量 $1.2205E^{-7}C/cm^2$ 와 $4.8959E^{-6}C/cm^2$ 가 흐르고 난 後, 測定한 轉移電流이다. 轉移電流

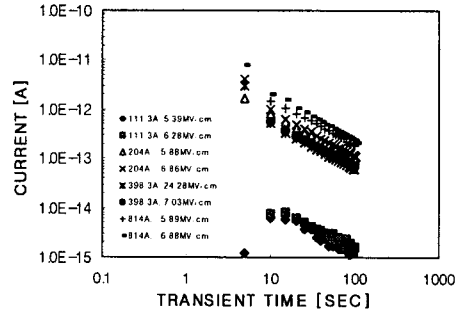


그림 4 酸化膜 두께와 引加 電界에 따른 轉移時間에 對한 酸化膜 電流

Fig. 4 Transient time vs. oxide current according to the oxide thickness and applied electric field

는 酸化膜 두께가 增加할수록 增加함을 보여 주고 있으며 스트레스 電界가 커질수록 增加함을 보여주고 있다. 그리고 스트레스 電界를 引加하고 난 後 轉移電流는 時間에 對하여 反比例의으로 減少함을 알았다. 이 때의 減少率은 $1/t$ 이었다.

酸化膜 두께와 引加 電界에 따른 轉移電流에 對한 트랩密度的 關係를 그림 5에서 보여주고 있다.

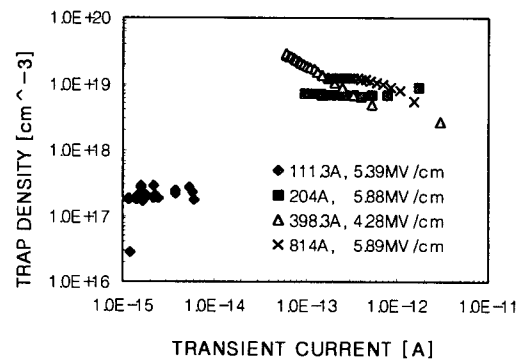


그림 5 酸化膜 두께와 引加 電界에 따른 轉移電流에 對한 트랩密度

Fig. 5 Transient current vs. trap density according to the oxide thickness and applied electric field

그림 5에서 보여준 것과 같이 酸化膜 두께에 따른 轉移電流에 對한 트랩 密度는 一定한 關係를 維持함을 알 수 있다. 이 때의 트랩密度는 10^{19} 程度로 두께

을 알 수 있다. 이 때의 트랩 밀도는 10^{19} 정도로 두께에 관계없이 유지됨을 알 수 있다. 여기에서 111.3Å 산화막素子の 트랩 밀도는 다른 산화막素子の 트랩 밀도보다 작다. 이것은 스트레스誘起漏泄電流의範圍에서電界를引加하여測定한 트랩 밀도이기 때문이다.

스트레스電界效果에依한低電壓酸化膜電流密度的影響을그림6에나타내었다.

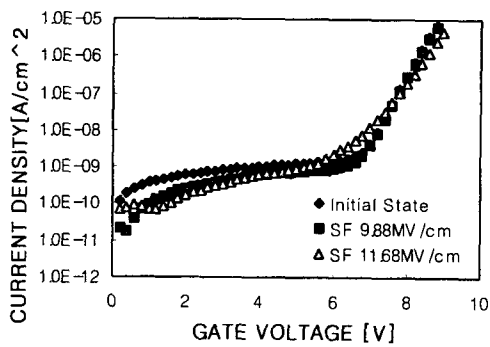


그림 6 스트레스電界效果에依한低레벨 게이트電壓對酸化膜電流密度的關係

Fig. 6 Low level gate voltage vs. current density according to the effect of stress electric field

스트레스電界效果에依한低게이트電壓對酸化膜電流密度的關係를그림6에나타내었다. 그림에서알수있는바와같이산화막111.3Å인素子에스트레스電界를各各9.98MV/cm와11.68MV/cm로引加하여比較한結果,酸化膜低電壓레벨의酸化膜漏泄電流가形成되어增加함을알수있다. 이와같은低電壓酸化膜電壓레벨의漏泄電流가나타나는酸化膜은메모리素子の記憶維持特性에影響을주어메모리素子製作時考慮되어야할事項이다.

本素子を製作하고스트레스電流와스트레스誘起漏泄電流 그리고轉移電流에對하여研究가現在進行中에있다.

IV. 結論

스트레스電壓을引加하여酸化膜의特性을把握하기爲하여酸化膜의두께를各各111.3Å, 204Å, 398.3Å 그리고814Å로製作하고메모리素子の應用

可能性을調査하였다.

1. 산화膜의 두께가增加할수록酸化膜터널링電流와電流量이增加함을알았다.

2. 스트레스電壓에比例하여스트레스電流가增加하였으며轉移電流는酸化膜의두께에關係없이一定한比率로減少함을알았다.

3. 스트레스電壓에依한 트랩 밀도는一定한狀態를維持하였다.

이상과 같이 메모리素子の應用을爲한酸化膜두께變化에依한電壓電流特性이優秀함을알았다.

V. 參考文獻

- [1] T. Izawa, IEEE Electron Device Lett., vol. 14, p. 533, 1993
- [2] M. Ono, et al., IEEE Trans. Electron Devices, vol. 42, p. 1822, 1995
- [3] J. Maserjian, et al., J. Vac. Sci. Technol., vol. 20, p. 743, 1982
- [4] K. Naruke, et al., IEEE IEDM Tech. Dig., p. 424, 1988
- [5] M. Depas, et al., IEEE Trans. Electron Devices, vol. 43, p. 1499, 1996
- [6] H. Satake, et al., Appl. Phys. Lett., vol. 67, p. 3489, 1995
- [7] R. S. Scott, et al., Solid State Electron., vol. 38, p. 1325, 1995
- [8] D. J. Dumin, et al., IEEE Trans. Electron Devices, vol. 43, p. 130, 1996
- [9] N. A. Dumin, et al., Solid State Electron., vol. 39, p. 655, 1996