

シリコン窒化膜のプラズマ曝露による機械特性変化評価手法の提案

Evaluation Method of Mechanical Property Change of Silicon Nitride Films Damaged by Plasma Exposure

京大院工¹, 学振特別研究員 DC², °郷矢 崇浩¹, 久山 智弘^{1,2}, 占部 継一郎¹, 江利口 浩二¹

Kyoto Univ.¹, JSPS Research Fellow², °T. Goya¹, T. Kuyama^{1,2}, K. Urabe¹, and K. Eriguchi¹

E-mail: goya.takahiro.78m@st.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】

シリコン窒化膜 (SiN 膜) は Si 半導体をはじめ様々なデバイスに導入されている。残留歪みを制御する歪み膜やプラズマプロセス中の耐プラズマ曝露膜はその代表例である。一方で、プラズマ曝露により SiN 膜中に電荷捕獲準位として働く欠陥が形成されることがわかっている[1]。この現象はプラズマダメージと呼ばれ、デバイス特性やその信頼性を劣化させる[2]。SiN 膜の電気的信頼性に関しては、経時的絶縁破壊試験 (TDDB) [3][4]など様々な手法が確立されているが、機械的物性[5]に関しては、未だ高精度の解析手法は確立していない。今回我々は、低誘電率 (low-k) 膜のダメージ評価に活用されてきたナノインデンテーション法[6]を発展させ、プラズマ曝露による SiN 膜の機械的物性劣化を解析する手法を提案する。

【アプローチ】

本解析手法の概念図を Fig. 1(a)に示す。プラズマ曝露では SiN 膜表面近傍にダメージ層が形成される。この層は力学的には平衡状態でないと考えられ、一般的なナノインデンテーション法で得られる負荷-除荷曲線は変動しやすい。今回我々は、最大押し込み深さ約 20 nm、繰り返し回数 50 回で試験を行った。各押し込み毎に除荷曲線の傾きから接触剛性 S (N/mm) を算出し、統計解析からプラズマダメージを同定した。実験には、Si 基板上に PECVD 法で形成した SiN 膜 (光学膜厚約 200 nm) を用いた。誘導結合型プラズマ (He ガス, 2.7 Pa) に 60 秒間曝露した。入射イオンの平均エネルギーを約 200, 400 eV とした。

【結果及び考察】

Fig. 1(b)に接触剛性 S の押し込み回数依存性を示す。概ね $N \leq 10$ で S が N とともに増加し、 $N > 10$ で S の変動はランダムウォークのように見える。得られた S を統計解析したものを Fig. 1(c)に示す。各条件で、 S はほぼ正規分布に従う。我々は、プラズマ曝露によって形成された表面改質層が Fig. 1(c)の傾きの減少、つまり S のばらつき増大を誘発していると考えている。またそのばらつき増大はプラズマ曝露時のイオンエネルギーと正の相関を示す。以上のことから、SiN 膜へのプラズマ曝露は機械的物性のばらつきを増大させる傾向にあり、その解析には本研究で用いた繰り返しナノインデンテーション法が有効である。

【おわりに】

プラズマ曝露による SiN 膜の機械的物性劣化を、繰り返し荷重を利用したナノインデンテーション法で解析した。光学・電気特性評価に加え、定常的な変動領域での接触剛性 S を詳細に解析することで、SiN 膜の高精度かつ統合的なプラズマダメージ評価が可能になると考えられる。

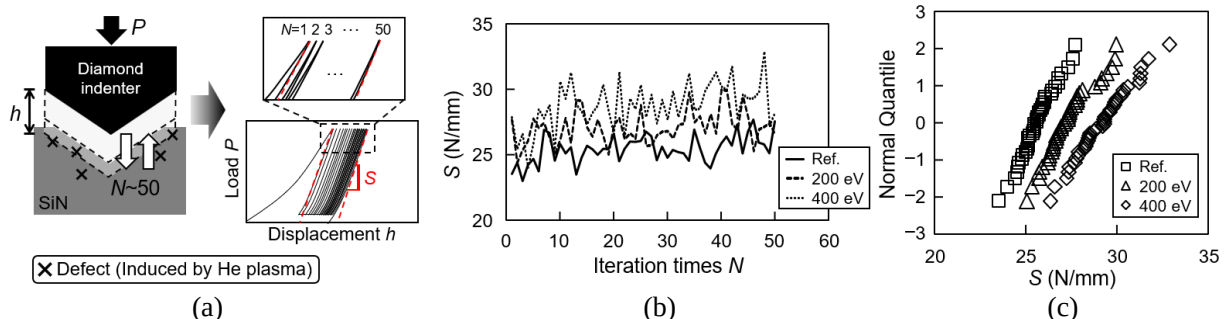


Figure 1 (a) Schematic of a nanoindentation-based evaluation method. (b) Iteration (N) evolution of obtained S values for various SiN films. (c) Normal distribution plots for the obtained S values ($N > 10$).

参考文献

- [1] T. Kuyama *et al.*, IEEE IRPS 4B.4 (2021). [2] K. Eriguchi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **60**, 040101 (2021). [3] T. Kuyama *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**, 06JD03 (2018). [4] J. W. McPherson, Reliability Physics and Engineering, (Springer Science & Business Media, 2013). [5] M. Koyanagi, IEEE IRPS 3F.1 (2011). [6] K. Maex *et al.*, *J. Appl. Phys.* **93**, 8793 (2003).