

繰り返しナノインデンテーション法による 低誘電率絶縁膜の機械的構造変化の解析

Characterization of Structure Deformation in Low- k Dielectric Films using Cyclic Load—unloading Nanoindentation Technique

京大院工, [○]郷矢 崇浩, 占部 継一郎, 江利口 浩二

Kyoto Univ., [○]Takahiro Goya, Keiichiro Urabe, and Koji Eriguchi

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

【はじめに】 大規模集積回路の高性能化に向け低誘電率絶縁膜 (low- k 膜) が広く利用されている。その機械特性は、搭載されるデバイスの性能や信頼性を決定付ける重要な要素である。これまでナノインデンテーション法[1]を用いた機械特性評価が取り組まれ、プラズマダメージによるその変動も注目されている[2]。我々は、プラズマダメージによるシリコン窒化膜やシリコン酸化膜の機械特性変動を、繰り返しナノインデンテーション法による手法で同定した[3]。一方で、上記の絶縁膜と比較してヤング率が大きく異なる low- k 膜への応用に関しては検討が十分ではなかった。今回我々は、low- k 膜機械特性のプラズマダメージによる効果に着目し、繰り返しナノインデンテーション法による (経時的な) 機械特性変動の解析を試みた。

【実験】 Si基板上に成膜した low- k 膜 (SiOC 膜, 膜厚約 530 nm) を、誘導結合型プラズマ (Ar ガス, 2.7 Pa) に 300 s 曝露した。イオンフラックスは約 $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ で、入射イオンエネルギーは約 20 eV (浮遊電位) であった。プラズマ曝露前後のサンプル (Ref., Dam.) に対して繰り返しナノインデンテーション法による機械特性評価を行った。繰り返し回数 N を 50 回とし、最大荷重と最小荷重はそれぞれ 30, 3 μN とした。荷重印加速度は 5.0 $\mu\text{N/s}$ とした。最大荷重での除荷曲線の傾きから接触剛性 S 値を算出し、繰り返し荷重に対する各パラメータの変動を調べた。

【結果及び考察】 Fig. 1(a)にプラズマ曝露前の SiOC 膜に対する繰り返しナノインデンテーション試験結果を示す。サーマルドリフトやクリープを示唆する押し込み深さ h の正の方向へのドリフトに加えて、除荷曲線の傾きが急変する点がみられる (枠内)。プラズマ曝露前後のサンプル内の各測定位置 (10 点) での N に対する S 値の変動を Fig. 1(b)に示す。Dam. サンプルでは N に応じ S 値の変動と増加がみられる。一方で、いくつかの測定点で S 値の減少が確認された。Dam. サンプルではこの傾向がより顕著であった。Fig. 1(b)で示す S 値の減少および Fig. 1(a)で見られる除荷曲線の傾きが急変する点は、low- k 膜特有の機械的構造変化 (破壊) を示唆していると考えられる。そこで我々は傾きが急変する点が最大荷重の 15% になる繰り返し回数 N_{SB} (Fig. 1(c)参照) を導入し、これを機械的構造破壊寿命 (Time Dependent Structural Breakdown) とした。挿入図に示すように、プラズマ曝露前後で N_{SB} 分布に差が生じる可能性が示された。

【おわりに】 低誘電率絶縁膜に対するプラズマダメージ効果も繰り返しナノインデンテーション法による評価が可能である。また、Low- k 膜のようなポーラス系の絶縁膜では機械的構造破壊の検出が重要であり、 N_{SB} に基づく評価はその解析手法として有用であるといえる。

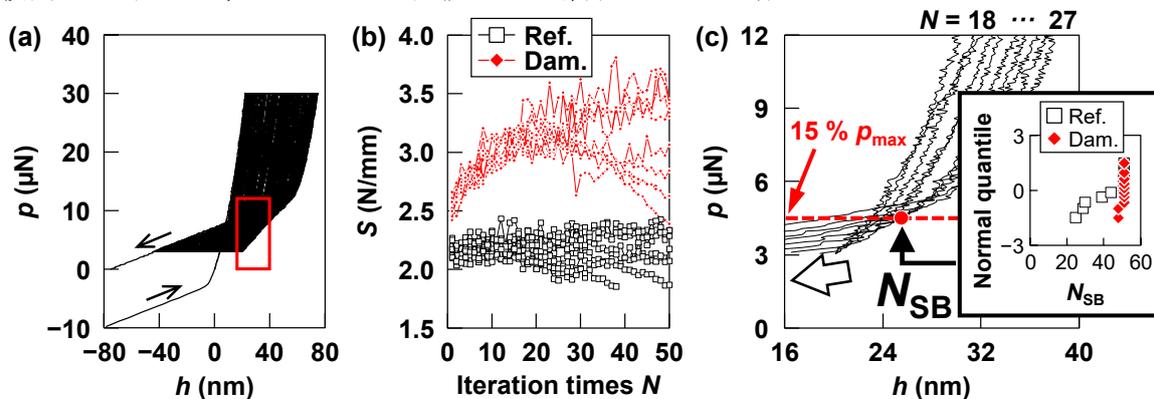


Figure 1 (a) Typical $p-h$ curves for an SiOC film obtained by a repeated load—unloading nanoindentation technique. (b) Derived S values as a function of iteration time N for SiOC films before and after Ar plasma exposure. (c) The details of the highlighted area in Fig. 1(a) with the normal distribution plots of the defined N_{SB} for SiOC films.

参考文献 [1] W. C. Oliver *et al.*, *J. Mater. Res.* **7**, 1564 (1992). [2] K. Maex *et al.*, *J. Appl. Phys.* **93**, 8793 (2003). [3] T. Goya *et al.*, *Proc. Symp. Dry Process*, 2021, p.35.