

## F<sub>2</sub> レーザー堆積法によるナノポーラス SiO<sub>2</sub> 膜の形成

### Formation of porous SiO<sub>2</sub> films by F<sub>2</sub>-laser deposition

九州大学 システム情報科学研究院 ○當間拓矢, 諏訪輝, 中村大輔, 池上浩

Kyushu Univ., Takuya Toma, Akira Suwa, Daisuke Nakamura, Hiroshi Ikenoue

E-mail: h.ikenoue.834@m.kyushu-u.ac.jp

#### はじめに

ULSI では、高速化や低消費電力化が求められており、スケーリング則に伴う配線の微細化が要求されている。しかし、配線抵抗(R)と配線間容量(C)による配線遅延(RC 遅延)は、配線の微細化により向上せず、素子の動作速度と比較してその影響が無視できなくなっており、配線間の絶縁材料の低誘電率化が求められている。低誘電率絶縁材料の開発は、材料そのものの電気分極を低減したカーボンやメチル基含有の SiO<sub>2</sub>(SiOCH)[1]や、空孔を導入したポーラス膜の開発[2]により行われてきた。しかしながら、機械的強度や耐熱性等のプロセス要求を達成しつつ、比誘電率が2に迫る勢いの材料は見出されておらず、上記要求を達成する可能性のある新たな成膜方法の開発が望まれる。

我々は、ULSI 製造用の低誘電率膜形成手法として F<sub>2</sub> レーザー堆積 (F<sub>2</sub> laser-PLD) 法に着目している。可視から赤外領域レーザーを用いる一般的なパルスレーザー堆積(PLD)法は、ターゲットの組成変化や不純物の混入が少ない成膜方法として知られており、高温超電導膜など組成や構造が複雑な材料の成膜に適した方法であることが知られている。

F<sub>2</sub> レーザーは波長が 157 nm であり、光子エネルギーが 7.9 eV と高いため、SiO<sub>2</sub> や SiOCH を高効率でアブレーションすることが可能である。また、蒸着時のチャンパー内の雰囲気圧力を制御することで形成されるナノ粒子の粒径を制御し、ポーラスサイズを制御できる可能性がある。

今回我々は、上記可能性を検討するため、ターゲットに合成石英膜を用いてポーラス SiO<sub>2</sub> 膜を形成し、雰囲気制御によるナノポーラス膜のサイズ変化や、形成された膜の電気特性を測定したのでその結果を報告する。

#### 1. 実験

用いたレーザーはギガフォトン社製の F<sub>2</sub> レーザーで、パルス幅は約 20 ns であった。真空槽はドライポンプで排気され、基底真空度は 4.5 Pa であった。雰囲気圧力制御には Ar ガスを用い、基底真空(4.5 Pa)、Ar 分圧 20 Pa 及び 200 Pa で蒸着を行った。レーザーの繰返し周波数は 100 Hz、フル

エンスは 10 J/cm<sup>2</sup>、照射回数は 10000 shots であった。ターゲットには合成石英基板を用い、ターゲットと対向する位置に設置した Si 基板上への堆積を試みた。

#### 2. 結果および考察

堆積するナノ粒子の粒径は、真空度が低くなるにしたがって小さくなり、基底真空 (Vac. 4.5 Pa) における粒径 1 nm から 3 nm のナノ粒子の個体の割合は 88 % であることが確認された。堆積した膜の化学結合状態を XPS で分析した結果 SiO<sub>2</sub> 結合が支配的であり、SiO<sub>x</sub> や Si などの結合は確認されなかった。

Fig.1 に MOS キャパシタを作製し、水素雰囲気にて 30 分間アニールを施した後の C-V 測定結果を示す。Fig. 1 より基底真空 4.5 Pa にて形成されたポーラス SiO<sub>2</sub> 膜は熱酸化 SiO<sub>2</sub> 膜に比べ低誘電率化が達成されており、450 °C での水素アニール後では比誘電率が 2.8 まで減少した。

基底真空 4.5 Pa でのポーラス SiO<sub>2</sub> 膜と熱酸化膜の I-V 特性を測定した結果、リーク電流は熱酸化膜と同等であり、絶縁耐性を維持しつつ誘電率が減少したと考えられる。

今回作製したポーラス SiO<sub>2</sub> 膜の空孔度は約 12 % であり、粒径の制御性(均一性)を向上させ、空孔度を向上させることでさらに低誘電率化が達成できると考えられる。

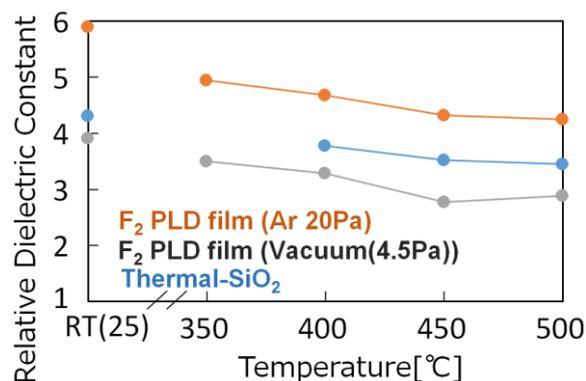


Fig.1 Relative dielectric constant of porous SiO<sub>2</sub> films and thermal SiO<sub>2</sub> after H<sub>2</sub> anneal for 30 min.

[1] K. Maex, et al., J. Appl. Phys., **93**(11), 8793 (2003).

[2] X. Xiao, et al., Rev. Sci. Instrum., **74**(10), 4539 (2003).