F_2 レーザーを用いたパルスレーザー堆積法によるポーラス SiO_2 膜の形成

Formation of porous SiO_2 films by pulsed-laser deposition using F_2 laser

九州大学 システム情報科学研究院 ○谷山大地，池上浩，大久保智幸，中村大輔，岡田龍雄

Kyushu Univ., °Daichi Taniyama, Hiroshi Ikenoue, Tomoyuki Ohkubo, Daisuke Nakamura, Tatsuo Okada

E-mail: ikenoue@ees.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

近年 ULSI では，高速化や低消費電力化が求められており，スケーリング則に従った配線の微細化が行われてきた．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改善されず，微細化が進むとその影響が無視できなくなる．そこで，配線遅延抑制の為に配線間の絶縁材料の低誘電率化が求められている．国際半導体技術ロードマップ[1]よると 2020 年以降には，比誘電率 2.5 以下の絶縁材料が要求される．一方で、代表的な絶縁材料である SiO_2 の比誘電率が 4 であるため，低誘電率絶縁材料として，カーボンやメチル基を含有した SiO_2(SiOCH)[2]や空孔を導入したポーラス(多孔質) SiO_2 が開発されてきた[3]．しかし，2.5 以下の比誘電率を有する低誘電率絶縁膜を形成する解決策はまだ見つかっていない．

我々は，比誘電率 2.5 以下のポーラス SiO_2 を形成する可能性がある方法として，F_2 レーザーを用いた PLD 法に着目している．F_2 レーザーの波長は 157 nm の真空紫外光で，光子エネルギーが 7.9 eV と非常に高いことから，ターゲットに SiO_2 を用いた場合でも直接アブレーションが可能である．また，蒸着時の雰囲気圧力を制御することで，ナノ粒子を形成できると考えた．

2. 実験

用いたレーザーはギガフォトン社製の F_2 レーザーで，パルス幅は約 20 ns であった．真空槽内をベース圧力 8 Pa まで真空引きした後 Ar ガスを 1 L/min の流量で導入し，圧力を 200 Pa に調整した．その後レーザー光を真空槽内に導入し，焦点距離 80 mm の CaF_2 レンズによりターゲット上で 500 μm × 130 μm の大きさに集光した．レーザーの繰り返し周波数は 100 Hz で，レーザーフルエンス 10 J/cm^2, レーザー照射数は 10000 shots であった．ターゲットには合成石英基板を用い，レーザーアブレーションにより生成される粒子を，ターゲットと対向する位置に設置した Si 基板上に堆積させることでポーラス SiO_2 膜の形成を試みた．

3. 結果および考察

Fig. 1 に SiO_2/Si 基板の SEM による断面像を示す. SiO_2/Si 基板は集束イオンビーム(FIB)により処理している．この時，Fig. 1 を低倍率で観察した結果より，SiO_2 膜の膜厚は 1.5 μm であった．Fig. 1 より，SiO_2 膜中に輝度の低い領域が存在することがわかる．これは，膜の密度が低い部分を FIB により処理した際にできた跡であると考えられ，膜中に空孔が形成されていることを示唆している．

Fig. 2 にレーザー蒸着後の SiO_2/Si 基板表面の AFM 像を示す．Fig. 2 より，SiO_2 膜は数十 nm の微粒子の集合体であることが分かる．この微粒子は，高分圧雰囲気の気相中で形成された微粒子であると予想される．Fig. 2 より求められた二乗平均平方根(Rms)表面粗さは約 10 nm で，膜厚に対する表面粗さの割合が約 0.7 %の平坦性に優れた膜が形成できることが確認された．

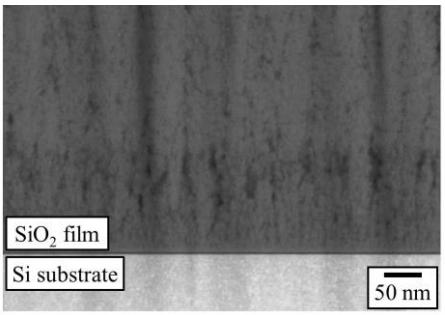

Fig.1 A cross-sectional SEM image of SiO_2/Si substrate.

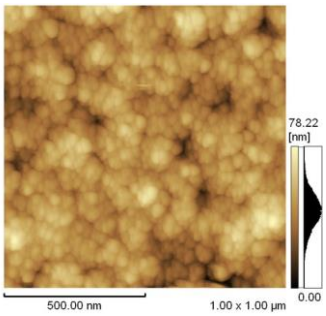

Fig.2 A AFM image of the surface of SiO_2/Si substrate.

[1] *International Technology Roadmap for Semiconductors 2013 Edition Interconnect*, www.itrs.net.

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

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

© 2015年 応用物理学会