ウエハパターン形成における インプロセス深溝計測*

高田 和正** 野田 寿一**

*Trench Depth Measurement in Wafer Pattern Forming /
Kazumasa TAKADA and Juichi NODA*

Key words: VLSI, trench capacitor cell, interference, trench depth, Michelson interferometer, acousto-optic tunable filter

1. はじめに

1 M ビット DRAM 以上の LSI では、高密度化を図るために、Si 基板上にトレンチ（溝）を形成し、これをキャパシタにすることが主流になっている¹⁾。このため、溝深さを正確にかつ簡単に測定することが LSI 製造上極めて重要になってきている。これまで溝の破断面は、SEM で観察して深さを測定する方法によっていた。この方法は、溝深さおよび形状を正確に測定できるという長所を有する反面、(1) 試料を破断する、(2) 真空中での測定のため時間がかかる、したがって (3) インプロセス計測が不可能である、といった欠点がある。

本稿では、光干渉技術を用いて空気中でも溝深さを正確に測定できる新しい測定法について解説する。光学的測定は、白色光源を用いた干渉法に基づいている。光干渉信号を時間領域で測定するか、周波数領域で測定するかによって光学系が異なる。ここでは、著者らが行った時間領域および周波数領域における溝深さ測定系とその特徴、結果について述べる。

2. 結果

2.1 時間領域における測定

マイケルソン干渉計は時間領域の測定法で、図 1 に示す構成からなる²⁾。光源にはインコヒーレント光であるハロゲンランプを用いる。この光源のコヒーレント長は約 $1\ \mu\text{m}$ である。光が Si 表面ならびに溝底面に

照射されると、それぞれの面からの反射光間には $2d$ (d は溝深さ) の光路差が生じる。この両反射光を光ファイバを通してマイケルソン干渉計に導く。マイケルソン干渉計の構成を図 2 に示す。この干渉計において一方のプリズム M_1 を固定し、他方のプリズム M_2 を可動させると、2つの反射光の間で干渉を生じ、図 3 (a) に示すようなインタフェログラムが生じる。これらの信号は、交流成分のみに着目すると、

$$I(\tau) = \left(1 + \frac{BK}{A}\right) S(\tau) + \sqrt{\frac{B}{A}} K S\left(\tau - \frac{2d}{c}\right)$$

図1 マイケルソン干渉計法の構成

* 原稿受付 昭和 63 年 2 月 25 日

** 日本電信電話(株) (茨城県那珂郡東海村白方白根 162)

図2 マイケルソン干渉計内の構成

(a) インタフェログラム

(b) 平均化処理・包絡線検波後の信号

図3 干渉縞の一例

$$+ \sqrt{\frac{B}{A}} K S \left(\tau + \frac{2d}{c} \right) \quad (1)$$

と成る。AはSi表面の面積、Bは溝底面の面積、Kは溝内を伝搬する際の光減衰係数、 τ は群遅延時間差、cは光速、 $S(\tau)$ は光電界自己相関関数である。インコヒーレントな光源では式(1)の各項が完全に分離できるので、2つのピーク間が測定でき、このため、溝深さdが容易に求まる。

溝底面からの反射光は微弱なため、両端の干渉ピークが雑音に隠れてしまう。そこで、可動プリズムM₂を電歪振動子により周期的に振動させ、インタフェログラムの平均化によるSN比の改善を行う。平均化処

図4 マイケルソン干渉計法の測定装置

理を行う際、プリズムM₁とM₂からなる両アーム間の光路差が機械的ずれや振動により変動する問題がある。そこで干渉計内にHe-Neレーザを信号光と平行に入射させ、干渉計内の両アーム間の光路差を監視する。

具体的には、図2に示すように、一方のアーム内に1/4波長板を挿入して円偏光を作り、この円偏光と他方のアームを通過した直線偏光とを合波させる。この合波光を偏光ビームスプリッタ(PBS)で2分し、各々を受光する。プリズムの相対的変位xと共に、各々の参照信号は $\sin(\phi)$ と $\cos(\phi)$ ($\phi = 4\pi x/\lambda$: $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$)の出力となる。そこで、これらの信号を8分割回路に通して $\lambda/8$ のサンプリングパルスが発生させる。さらに、メモリの各アドレスと $\lambda/8$ ごとに分割したプリズムの相対位置とを対応させ、サンプリングパルスによってデジタル化されたインタフェログラムのそれぞれの値が常に特定のアドレスのメモリに収容されるようにしている。インタフェログラムの平均化処理後は、図3(b)に示すように、包絡線検波しピーク間の距離を計算する。

図4は試作装置の外観である。この装置の性能は、溝幅 $1 \mu\text{m}$ 、深さ $2 \sim 7 \mu\text{m}$ に対して測定精度 $0.1 \mu\text{m}$ を有する。測定時間は約10sである。光学系の特徴として、光照射部とマイケルソン干渉計を光ファイバで分離することにより、(1)小型の光照射部をVLSI製造ラインに設置して溝深さをインプロセスで測定できる一方、(2)製造ラインで生じる振動等の干渉計への影響を防止できることである。また、式(1)より、インタフェログラムの両端のサイドバンド間の距離より溝深さdを求める。両サイドバンドのみに注目しているので、溝からの反射率が極端に微弱な場合でも、インタフェログラムの中心の飽和に留意することなく、増幅器のゲインを上げることができる。

図8 干渉分光法による溝深さ測定信号

図9 微細溝測定時の信号

力変動の影響を低減できることにある。

図8は、幅 $1\mu\text{m}$ 、深さ $1.15\mu\text{m}$ (SEM実測値)の溝深さ測定結果である。横軸は掃引RF周波数、縦軸は V_s/V_r を示す。Xeランプ光源には約5%の出力変動があったが、両信号の割算処理により光源出力変動の影響はほとんど観測されず、図のように、周期的信号が観測される。図より、ピークを与える光波長は、それぞれ $0.710\mu\text{m}$ ($f=43.3\text{MHz}$)、 $0.550\mu\text{m}$ ($f=59.2\text{MHz}$)、 $0.445\mu\text{m}$ ($f=79.5\text{MHz}$)と求まる。この結果、溝深さ測定値は $1.19\mu\text{m}$ となり、SEMによる測定値 ($1.15\mu\text{m}$)とよく一致した。

図9は、幅約 $0.3\mu\text{m}$ 、深さ $2.6\mu\text{m}$ の極微細溝の場合の測定結果である。ここで、試料表面の酸化膜の影

響を避けるため、ウェハはふっ酸水溶液処理してある。掃引波長域は $0.42\sim 0.37\mu\text{m}$ である。図から、極小値を支える光波長は $0.41\mu\text{m}$ 、 $0.38\mu\text{m}$ と求まる。この結果、溝深さは $2.5\mu\text{m}$ と求まり、SEMによる測定値とはほぼ一致した。

3. 課題と今後の展開

トレンチ技術が常識になってきている状態において、溝深さの非接触測定は不可欠である。以上述べてきた通り、光学的手法は非接触で、しかも非破壊であるため、今後LSIプロセス内へ導入されて行くものと思われる。マイケルソン干渉法は溝幅が比較的大いLSI製造プロセスに有効なのに対して、音響光学フィルタを使用した分光学的手法は将来の64Mビット、更には1GビットDRAMのプロセスに対して有効であると考えられる。その際、ウェハ表面の酸化膜の存在は、溝深さ計測においては多大な悪影響を及ぼすので、今後、酸化膜の影響を除去する新しい分光学的及び信号処理の手法の開発が強く望まれる。

謝 辞

種々のご助言、およびウェハの提供をして頂いたNTT LSI研究所・中島主幹員、佐藤主任研究員に感謝します。また、音響光学フィルタについて貴重なご助言をしていただいたNTT光エレクトロニクス研究所・内田部長に深謝します。

参 考 文 献

- 1) S. Nakajima, K. Miura, K. Minegishi and T. Morie: An Isolation-Merged Vertical Capacitor Cell for Large Capacity DRAM, Proc. IEEE Int. Electron Devices Meet., (Dec. 1985) 240.
- 2) K. Takada, K. Chida, J. Noda and S. Nakajima: Trench Depth Measurement System for VLSI DRAM Capacitor Cells using Optical Fiber and Michelson Interferometer, J. Lightwave Technol., **LT-5**, 7, (1987) 881.
- 3) N. Uchida and D. Saito: Acousto-optic Tunable Filter using TeO_2 , Proc. IEEE, **62**, (1974) 1379.