低エネルギー質量分離イオンビーム照射装置を用いた ネオンによる金のスパッタ率の測定*

日根 清裕*¹・吉村 智*¹・木内 正人*^{1,2}・浜口 智志*¹

Measurement of Au Sputtering Yields by Neon with Low-Energy Mass Analyzed Ion Beam System

Kiyohiro HINE*¹, Satoru YOSHIMURA*¹, Masato KIUCHI*^{1,2} and Satoshi HAMAGUCHI*¹

*¹Center for Atomic and Molecular Technologies, Graduate School of Engineering, Osaka University,
2-1 Yamadaoka, Suita, 565-0871 Osaka

*²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),
1-8-31 Midorigaoka, Ikeda, 565-8577 Osaka

(Received November 7, 2006, Accepted January 13, 2007)

The Au sputtering yields by Ne ions were measured in the range of low injection energy with a low-energy mass analyzed ion beam system. For the ion beam characterization, the mass and energy spectra of the Ne ion beams were measured with a plasma process monitor (Balzers, PPM421) and it was found the Ne beams were essentially monochromatic. The ion beam was injected into an Au thin film prepared on a quartz crystal microbalance (QCM) and its sputtering yield was evaluated from the Au mass decrement. It has been found that the measured Au sputtering yields by Ne ion beams in the energy range of 100–200 eV approximately agree with the previously reported corresponding values. The sputtering yields were also measured for the injection energies below 100 eV. The threshold energy for Au sputtering by Ne estimated from the low energy data is 35 eV.

1. はじめに

金などの貴金属は、近年、半導体の電極材料として広く使用されており、その形成方法として、希ガスをを用いたスパッタ蒸着が広く利用されている。従って、金の堆積率及び希ガスイオンによるスパッタ率の測定¹⁾は、応用上非常に重要である。我々はこれまでに、低エネルギー質量分離イオンビーム照射装置²⁾を用いて、低エネルギー領域での金の堆積率の測定³⁾を行った。本装置は、イオン源において生成したイオンを高電圧で引き出し、質量分離を行い、照射する直前で減速することによって、所定のエネルギーのイオンビームを取り出すことができる。

希ガスによる金のスパッタ率に関して、これまでに、ネオンについて100 eV から50 keV のエネルギー領域でのスパッタ率の測定結果は、数例¹⁾⁴⁻⁷⁾報告されている。しかしながら、それらの測定では、イオンのエネルギースペクトルが示されておらず、真のエネルギー値やエネルギースペクトルの幅など、入射イオンビームの質が明らかでない。また、100 eV 以下のエネルギーの低い領域での測定結果については少数の報告のみである^{1,4)}。

そこで我々は、本装置を用いて、30 eV から200 eV のエネルギー領域におけるネオンイオンによる金のスパッタ率測定を行った。本論文では、その測定結果について報告する。

2. 実験方法

本実験で用いた、低エネルギー質量分離イオンビーム照射装置の構成を **Fig. 1** に示す。本装置にはフリーマン型イオン源が搭載されており、高温のタングステンを用いて、熱電子を取り出し電子衝撃により原料ガスをイオン化している。発生させたネオンのイオンは、高電圧 (−15 kV) を印加することによって、高速で引き出される。引き出したイオンビーム中には、残留ガスなどの不純物イオンが混在している。これらを除くために、電磁石を利用した扇形質量分離器を通して、不純物の混ざらないイオンビームを取り出している。こうして得られたイオンビームは、残留ガスとの衝突による荷電交換などで発生した高速中性粒子を取り除くために、静電偏向を行ったのちに成膜室に輸送される。成膜室のビーム射出口の直前には、減速電極が設置されており、ここでイオンビームを所定のエネルギーまで減速し、水晶振動子またはファラデーカップに照射される。

成膜室の概略図を、**Fig. 2** に示す。成膜室にはファラ

Fig. 1 Schematic diagram of the Low-Energy Mass Analyzed Ion Beam system.

* 平成18年11月9日 第47回真空に関する連合講演会で発表

*¹ 大阪大学大学院工学研究科原子分子イオン制御理工学センター (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

*² 独立行政法人産業技術総合研究所 (〒563-8577 大阪府池田市緑丘 1-8-31)

Fig. 2 Schematic diagram of the measurement system for the Au sputtering yields.

デーカップと水晶振動子が、上下に並べて設置されている。これらの位置は、マニピュレーターを用いた真空外からの操作によって、上下方向に自在に移動させることができる。スパッタの測定には、水晶発振式膜厚計（ULVAC, CRTM-9000）と専用センサー（ULVAC, CRTS-0）を用いた。水晶板は、AT カットクリスタルの表面に電極として金が蒸着されてあるもので、共振周波数は 5 MHz である。膜厚測定分解能は、堆積物質の質量密度が 1.0 g/cm^3 の場合に 0.000550 nm である。ビーム照射実験に先立ち、この水晶板上にさらに膜厚約 $1 \mu\text{m}$ の金を真空蒸着してある。また、ファラデーカップは、真空導入端子を介してピコアンメータ（KEITHLEY, 6485）と接続されており、イオンビームの電流量を測定することができる。

成膜室にはプラズマプロセスモニター（Balzers, PPM421）も設置されており、これを用いることで、イオンビームに含まれる粒子の質量スペクトル、イオンビームのエネルギースペクトルを測定することができる。

本実験は以下の手順で行った。まず、照射するイオンビームのエネルギースペクトルを、プラズマプロセスモニターを用いて測定した。次に、水晶板にイオンビームを照射する前に、ファラデーカップにイオンビームを照射して、電流量を測定した。そして、水晶板に一定時間イオンビームを照射し、スパッタリングを行った。照射後、再びイオンビームの電流量を測定し、スパッタリングの前後で大きな変化がないことを確認した。水晶発振式膜厚計で測定された質量減少量からスパッタされた原子数を、イオンビーム電流量と照射時間から入射イオン数を計算し、それらを用いてスパッタ率を求めた。

なお、照射されるイオンビームの径は、 100 eV の場合を例にとると、半値幅で約 18 mm である。これは、水晶振動子の照射（蒸着）面の径（ 7.5 mm ）より十分に大きく、水晶振動子には、ほぼ均一なイオンビームが照射されている。

3. 実験結果

スパッタ率の測定に先立って、入射イオンビームの質を評価するため、エネルギースペクトルを測定した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 には設定電圧が (a) 50 V , (b) 100 V , (c) 150 V ,

Fig. 3 Energy distributions of Ne ions measured by the plasma process monitor. The bias voltages are (a) 50 V , (b) 100 V , (c) 150 V , and (d) 200 V .

Fig. 4 Sputtering yields of Au by Ne ion beams as a function of the ion energy (the closed circles) and reported results (the open circles)⁴⁾.

200 V の場合、プラズマプロセスモニターで測定したイオンビームのエネルギースペクトルを例として示している。いずれの場合も、プラズマポテンシャルの影響によって、減速電極の設定値に比べ約 5 eV の高エネルギー側へのシフトが見られた⁸⁾。また、スペクトルの半値幅は約 5 eV であった。

ネオンビームを照射した場合、スパッタ率と粒子エネルギーの関係を、Fig. 4 に示す。エネルギーの低い領域におけるスパッタ率を測定した結果、エネルギーと共にスパッタ率が単調増加していくことが分かった。また、得られた結果から推測されるスパッタの閾値エネルギーは約 35 eV であった。なお、Fig. 4 には比較のために、過去の文献値⁴⁾を併記している。Fig. 4 から分かるように、 100 eV 以上における測定結果は過去の文献値と矛盾しない。

4. ま と め

低エネルギーイオンビーム照射装置を用いて、ネオンによる金のスパッタ率の測定を行った。

イオンビームのエネルギースペクトルを、プラズマプロセスモニターを用いて測定した結果、設定電圧に比べ、ピークエネルギーの高エネルギー側へのシフトが見られた。

ネオンビームのエネルギーを変化させて照射し、金のスパッタ率を低エネルギー領域で測定した。100 eV 以上のエネルギーにおける結果は、過去の文献値とよく一致しており、100 eV 以下のエネルギーにおけるスパッタ率も測定することができた。得られた値から推測されるスパッタの閾値エネルギーは、約35 eV であった。

謝辞

本研究を行うにあたり、その一部は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 B，課題番号17340174）の援助によって行われた。

〔文 献〕

- 1) Y. Yamamura and H. Tawara: Atom. Data Nucl. Data Tabl., **62** (1996) 149.
- 2) 松本貴士, 美本和彦, 吉川貴文, 木内正人, 後藤誠一, 大庭昌俊, 阿川義昭: 真空, **42** (1999) 341.
- 3) 日根清裕, 吉村 智, 前田拓也, 木内正人, 浜口智志: 真空, **49**, (2006) 177.
- 4) Nils Laegreid and G. K. Wehner: J. Appl. Phys., **32** (1961) 365.
- 5) O. Almen and G. Bruce: Nucl. Instr. Meth., **11** (1961) 257.
- 6) A. Oliva-Florio, R. A. Baragiola, M. M. Jakas, E. V. Alonso and J. Ferron: Phys. Rev. **35** (1987) 2198.
- 7) E. P. EerNisse: Appl. Phys. Lett., **29** (1976) 14.
- 8) T. Matsumoto, K. Mimoto, S. Goto, M. Ohba, Y. Agawa and M. Kiuchi: Rev. Sci. Instrum., **71** (2000) 1168.