研究・技術ノート

対向ターゲット式スパッタ法による Al 薄膜の特性

平 田 豊 明*, 直 江 正 彦**

Properties of Aluminum Thin Films Prepared by Facing Targets Sputtering System

Toyoaki HIRATA* and Masahiko NAOE**

Very dense films can be deposited on substrates at a high rate without undesirable influences of the plasma using the Facing Targets Sputtering (FTS) system, and aluminum films 0.7 to 1.5 μm thick have been deposited in an argon gas pressure P_{Ar} of 9.7×10^{-2} to 2.0 Pa.

Grains of irregular shape grew larger as P_{Ar} increased. When a bias voltage to the substrate V_b of -40 V was applied, however, the number of grains per unit area decreased and grain became smaller, so that the film surfaces became smooth. At V_b of about -40 V the aluminum films became hardest twice as hard as films prepared without bias voltage.

Thus the FTS system can control film properties with a good reproducibility.

Key Words : Facing Targets Sputtering, Bias Voltage

1. 緒 言

最近, アルミニウム薄膜は電子工学の様々な分野, 特に光ディスク及び光磁気記録媒体の反射膜として重要な役割を果たしている。一般に, アルミニウム薄膜は電子ビーム蒸着や直流マグネトロンスパッタリングによって作製されている^{1)~3)}。直流マグネトロンスパッタ法は電子ビーム蒸着に比べて, インライン方式が容易で, 膜質についてもより優れたものが得られている。しかしながら, ガンマ電子や負イオン等の高エネルギー粒子による基板衝撃のため, 未だ高品質の満足すべき膜質は得られていない, というのが現状である。特に, アルミニウムのスパッタリングの場合はターゲット表面の一部に放電が集中し, 局所的に加熱されてターゲット材が溶融してしまうことが多く, 溶融物の塊りがターゲットから飛び出して, 成膜中の基板に付着してスプラッツとなる。図1はマグネトロンスパッタ法によって作製されたアルミニウム薄膜表面の電子顕微鏡写真である。上述したスプラッツが中央部に見られる。

一方, 対向ターゲット式スパッタ (FTS) 法では成膜中に基板がプラズマに曝されない⁴⁾, 更にガンマ電子や負イオン等の高エネルギー粒子による衝撃を受けないの

で, 膜の構造や特性を制御するために, 基板バイアスを効果的に印加することができる。本研究は FTS 法を用いることにより, プラズマを積極的に制御し, 高強度なアルミニウム膜を得ることを目的とした。

2. 実 験

本研究に用いた FTS 装置を図2に示す。この方式では, 1 $\mu\text{m}/\text{min}$ 以上の高成膜速度で基板上に膜を堆積させることができる。更に, 基板上に成膜中の膜は2枚の相対しているターゲット間に閉じ込められているプラズマに曝されない⁵⁾ので, 基板温度の上昇は少ない。したがって, 低融点のプラスチック基板等も用いることが可能である。この装置においては, ターゲットの直径が100

Fig. 1 Hillocks by magnetron sputtering system

* 榊大阪真空機器製作所 (〒541 大阪市東区北浜3-6)
Osaka Vacuum Ltd. (3-6, Kitahama, Higashi-ku, Osaka 541)

** 東京工業大学工学部 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)
Fac. of Eng., Tokyo Institute of Technology (12-1, O-okayama 2-chome, Meguro-ku, Tokyo 152)

Fig. 2 Facing Targets Sputtering system

mm のものを 2 枚使用している。これらのターゲット間の中央部空間での磁束密度は $100 \sim 200$ Gauss でターゲット面に垂直に磁場は印加されている。スパッタリングのためのアルゴンプラズマはこの磁場によって、ターゲットの間の空間に保持されている。印加電圧は約 500 V で放電電流は約 0.3 A である。基板ホルダーは真空容器と電氣的に絶縁されていて、バイアス電圧を印加できるようになっている。バイアス電圧は $0 \sim 150$ V の範囲で、発振周波数が 13.56 MHz の高周波電源によって印加した。基板はマイクロスライドガラス及びシリコンウェハーを用いた。基板温度は室温としたが $1.5 \mu\text{m}$ 厚の膜作製後、 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ まで上昇した。膜厚 $0.7 \sim 1.5 \mu\text{m}$ のアルミニウムの膜はアルゴンガス圧 $P_{\text{Ar}} = 9.7 \times 10^{-2} \sim 2.0$ Pa の範囲で作製した。膜評価に関してヌーブ硬度は試験荷重 1 g で測定した。

3. 実験結果及び考察

図 3 に、アルゴンガス圧を変化させた際のアルミニウム膜の表面の状態を電子顕微鏡写真で示す。アルゴンガス圧が高くなるにつれて、膜表面は荒れてくる。アルゴンガス圧が 10^{-2} Pa の時は、膜表面は非常に平滑で目視では光沢が見られた。アルゴンガス圧の上昇につれて、不規則な形をしたグレインの成長が見られる。この表面状態の差異はターゲットから飛び出したスパッタ粒子のエネルギーの違いに起因する。アルゴンガス圧が高い時はスパッタ粒子はアルゴン原子と頻繁に衝突する結果、スパッタ粒子のエネルギーは減少していく。一方、アルゴンガス圧が低い時はスパッタ粒子の平均自由行程が長くなり、アルゴン原子との衝突が少ないので、初期の大きなエネルギーを持ったまま基板へ到着することができる^{5), 6)}。したがって、基板表面での粒子移動が容易となり平滑で光沢のある表面状態の優れたアルミニウム薄膜が作製できることがわかった。

図 4 はアルゴンガス圧が 0.2 Pa の時の印加バイアス電圧を変化させた場合のアルミニウム薄膜の表面状態の違いを示す。バイアス電圧が -40 V の時、単位面積当たりの異常成長粒の数は減少し、薄膜の表面は平滑になっていた。バイアス電圧が -40 V より高くなっても低くなってもその表面状態は凹凸のある荒れた状態となる。例えば、バイアス電圧が -100 V と非常に大きくなった場合、図 4(c) のようにかかなり大きい穴があいてしまう。これはバイアス電圧以上、つまり、 100 eV 以上のエネルギーを持ってアルゴンイオンが膜を衝撃することにより、逆スパッタが生じているものと考えられる。逆に、バイアス電圧を印加しない場合は、スパッタ粒子の基板上での移動度がバイアス電圧が -40 V の時に比べて小さいので、図 4(A) $V_b = 0$ V のような異常粒成長が見られることになる。

図 5 はヌーブ硬度 Hk のバイアス電圧 V_b 依存性を示

Fig. 3 Surface appearance of film on various argon pressure P_{Ar}

(A) $P_{\text{Ar}} = 9.7 \times 10^{-2}$ Pa (B) $P_{\text{Ar}} = 7.7 \times 10^{-2}$ Pa (C) $P_{\text{Ar}} = 2.0$ Pa

Fig. 4 Surface appearance of film on various bias voltage V_b
(A) $V_b = 0$ V, (B) $V_b = -40$ V, (C) $V_b = -100$ V

Fig. 5 V_b dependence of Knoop Hardness H_K

している。グラフからバイアス電圧 $V_b = -40$ V の時が最も硬度が高く、 H_K で170の値が得られている。このスプー硬度の再現性は H_K の値でばらつきが最大 ± 10 程度である。この値はバイアスなしで作製した膜の約2倍の硬さである。また、この FTS 装置で作製した膜はマグネトロンスパッタ装置で作製したものより3倍ほど硬いということがわかった。

また、図5において、アルゴンガス圧の低い方が硬い膜となっている。これは前述のように、ガス圧が低くなるとスパッタ粒子はターゲットから飛び出したままの高いエネルギーを持って基板へ到達し、ち密で結晶粒サイズの小さい膜を形成するからである^{5),6)}。

従来のスパッタ法では作製中の膜が強くプラズマに曝されるので、基板へのバイアス印加によっても膜構造や特性を効果的に改善することができない。他方、FTS装置では相対している2枚のターゲット間のプラズマはターゲット面に対して垂直に印加されている磁場によ

て保持されている。したがって、作製中の薄膜はプラズマや高エネルギー粒子にはほとんど曝されないで、バイアス印加の効果を明示することができた。なお比抵抗の値に関しては、バイアス印加の有無では差はなくおよそ $3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ の値を示していた。

4. 結 論

FTS 装置はアルミニウム膜の膜質を改善するのに有効なことがわかった。なぜなら、基板がプラズマに曝されない、つまり、プラズマフリーな基板位置で成膜が可能ということが膜の制御性のもとになるからである。FTS 装置によって作製されるアルミニウム薄膜は非常に密で他のスパッタ法で作製されたものより硬い。

基板に -40 V のバイアス電圧を印加することによってアルミニウム薄膜は更に硬度を増し、非常に平滑で光沢のある、そしてち密な表面状態となる。このようなアルミニウム膜は、光ディスクの反射膜としての諸要求を満足するものである。今後プラズマフリースパッタ法である FTS 装置による膜質制御性のよい、高速低温成膜技術は益々光ディスク分野へ応用されていくものと考え

(1987-7-15 受理)

文 献

- 1) P.S. McLeod, L.D. Hartsough; *J. Vac. Sci. Tech.*, **14**, 263 (1977)
- 2) R.W. Wilson, L.E. Terry; *J. Vac. Sci. Tech.*, **13**, 157 (1976)
- 3) D. Huebner, W. Meister, L. Reissmueller, S. Schiller, U. Heisig; *Thin Solid Films*, **54**, 345 (1978)
- 4) M. Naoe, S. Yamanaka, Y. Hoshi; *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-16**, 646 (1980)
- 5) F.J. Cadieu, N. Chencinski; *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-11**, 227 (1975)
- 6) R.S. Robinson; *J. Vac. Sci. Tech.*, **16**, 185 (1979)
- 7) D.W. Pashley; *Adv. Phys.*, **5**, 173 (1956)
- 8) D.W. Pashley; *Adv. Phys.*, **14**, 219 (1965)
- 9) D.R. Frankl, J.A. Venable; *Adv. Phys.*, **19**, 409 (1970)