

## 2-3-2 放電特性

一般のマグネトロンスパッタ装置では、スパッタガスの種類、圧力、およびターゲット材質を定めると放電特性は一義的に決まる。すなわち、圧力を定めると陰極電圧、もしくは放電電流の一方しか指定できない。一方重畳磁界平板マグネトロンスパッタ装置では、コイルの励磁電流も放電に関係した一つの条件となるので、圧力、陰極電位、放電電流の3つを任意に決めたスパッタ放電が可能となる。これはスパッタ動作の自由度が増すことを意味する。本節では種々の変数を変えたときの放電特性を述べる。

表2-1 にスパッタ条件を示す。

表2-1 スパッタ条件

ターゲット	Ti, Cu
スパッタガス	Ar, Ar-O <sub>2</sub> (8:2)
ガスの圧力	1.33 ~ 4.0 Pa
陰極電位	0 ~ -1000 V
励磁電流	0 ~ 3.0 A

スパッタガスの圧力は、ピラニー真空計を用いて測定した。以下放電特性は、ターゲット、スパッタガスの種類、圧力を固定し、陰極電圧  $V_0$  と、放電電流  $I_0$  の関係を、コイルの励磁電流を変数とし、測定したものである。測定に際し、放電開始時には、ガス圧が上昇するため、予じめ数分の放電後、ガス圧が安定してから測定を行った。また、放電開始電圧以下で放電停止電圧以上の陰極電圧での測定は、一旦放電開始電圧以上に陰極電圧を高くし、放電開始後、所定の電圧に下げ、測定した。

図2-11は、TiターゲットをArガス中でスパッタした放電特性で、図2-12は、TiターゲットをAr-O<sub>2</sub>ガス中でスパッタした放電特性である。図2-13および図2-14は、CuターゲットをそれぞれArガス中およびAr-O<sub>2</sub>ガス中でスパッタした放電特性を示す。

放電特性は図2-14に示すAr-O<sub>2</sub>ガス中でCuターゲットをスパッタした時の放電特性を除き、同様な傾向を示す。すなわち、励磁電流が少ない時（たいてい2.0A以下）では、高インピーダンス放電を行い、励磁電流を多くすると低インピーダンス

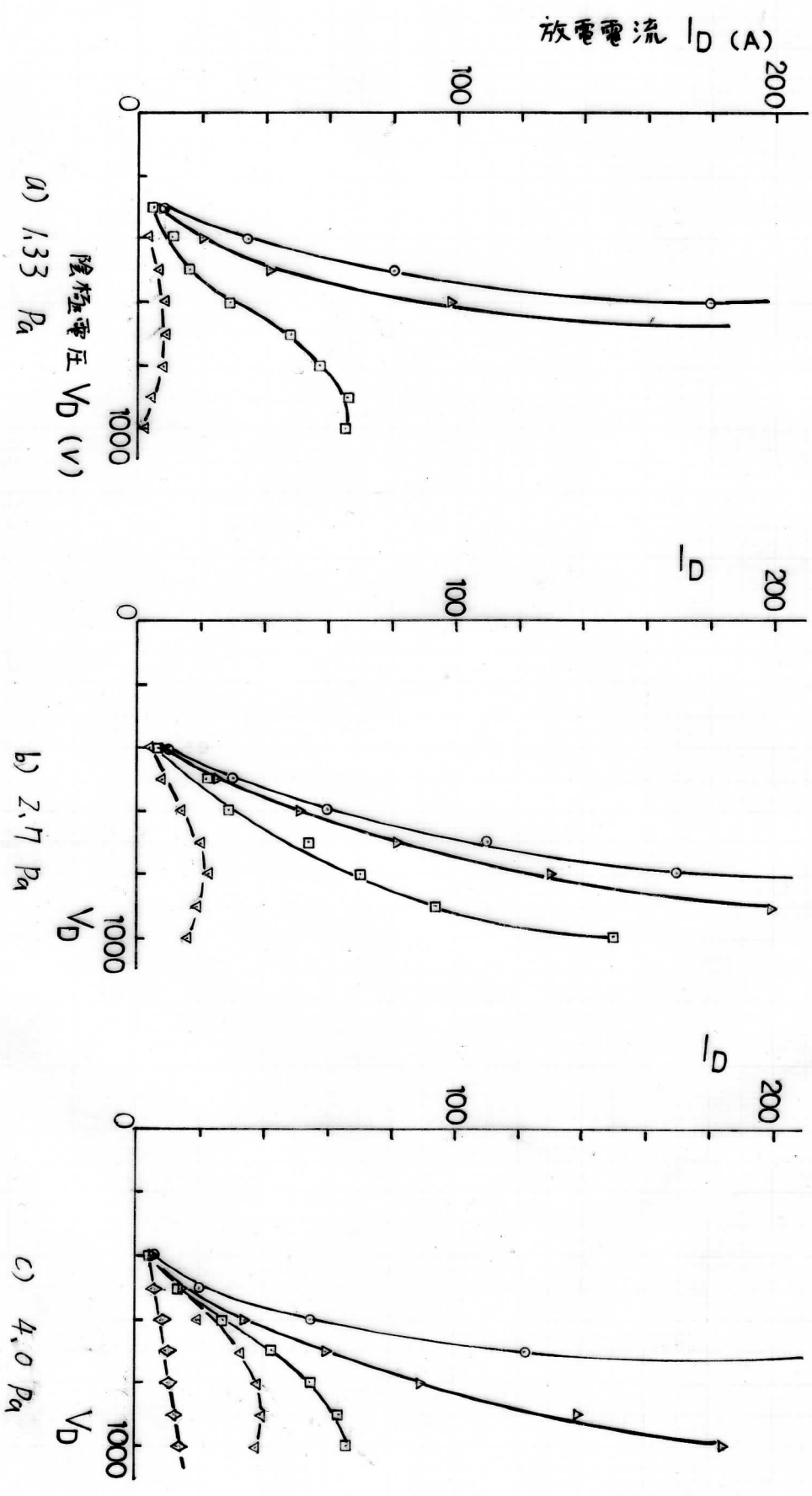
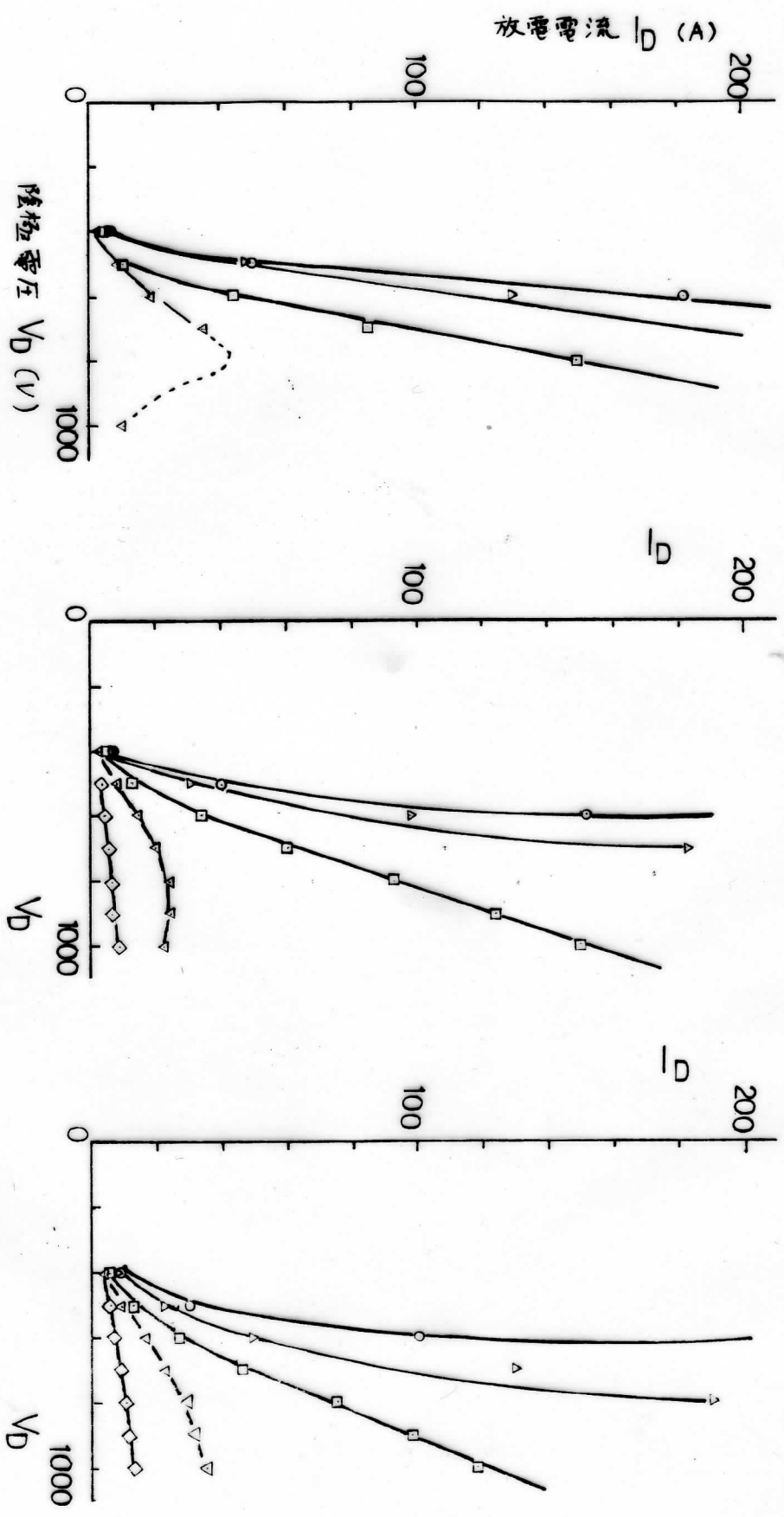


図 2-11

ターゲットを Ar が中心でスパッタしたときの放電特性  
 (投入電力 40W)

励磁電流

- 3.0 A
- △ 2.5 A
- 2.0 A
- ▽ 1.5 A
- ◇ 1.0 A



a) 1.33 Pa

b) 2.7 Pa

c) 4.0 Pa

図 2-12  $T_e$  ターゲットを  $Ar-O_2$  が又中でスパッタしたときの放電特性  
(投入電力 40W)

励磁電流

- 3.0 A
- △ 2.5 A
- 2.0 A
- ▽ 1.5 A
- ◇ 1.0 A

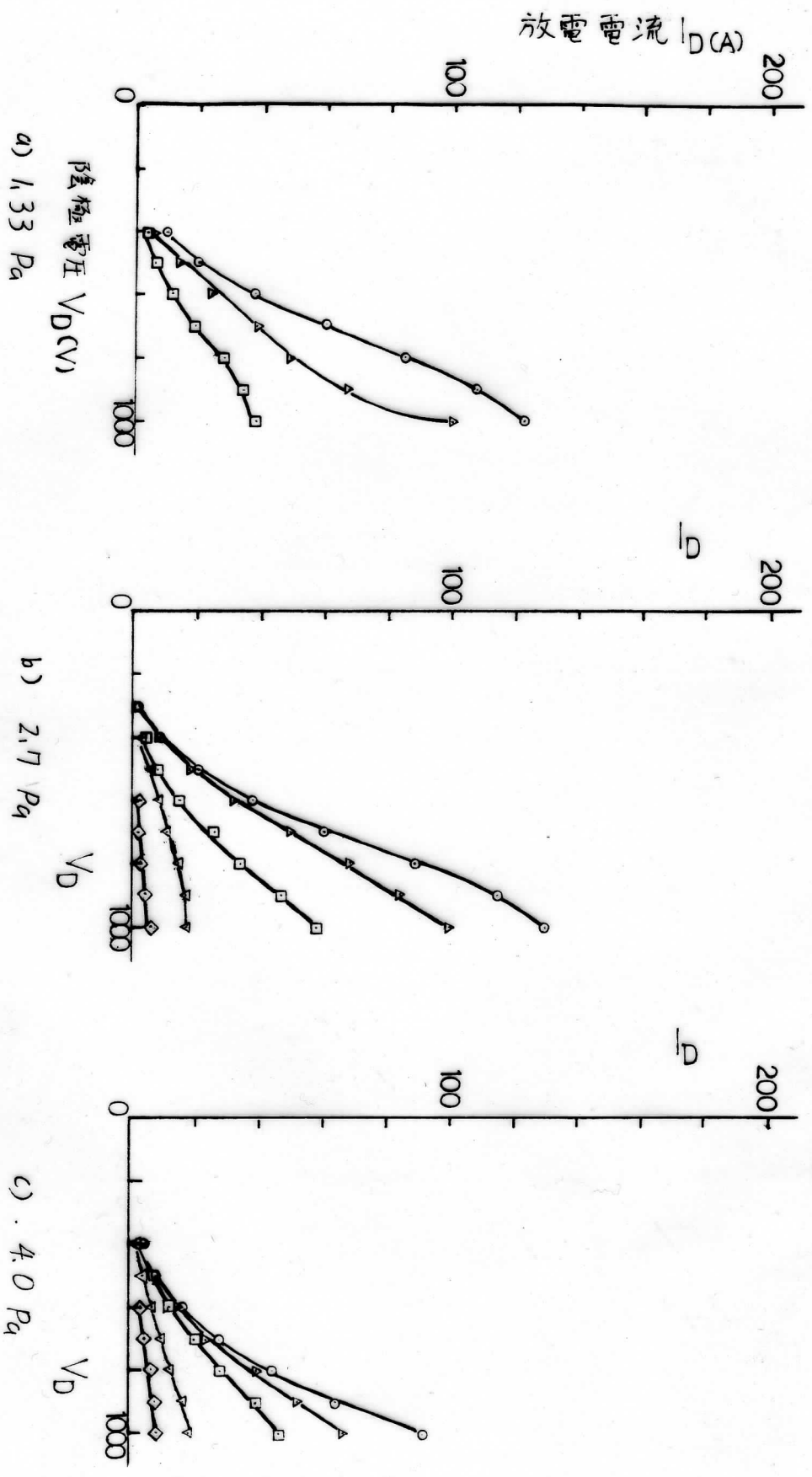
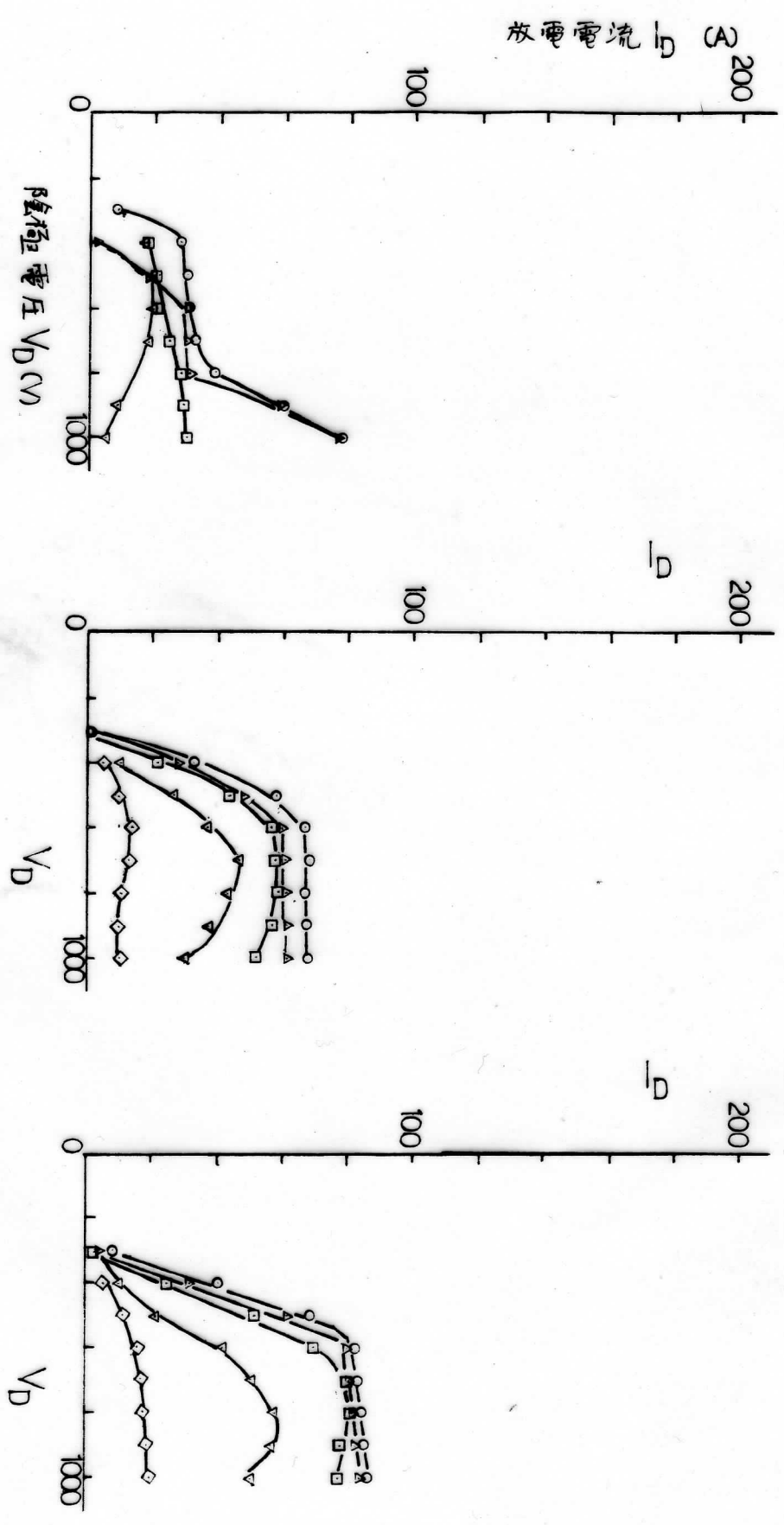


図2-13 CuターケットをArガス中でスパッタしたときの放電特性  
 (投入電力 40 W) 励磁電流

- 3.0 A
- △ 2.5 A
- 2.0 A
- ▽ 1.5 A
- ◇ 1.0 A



a) 1.33 Pa

b) 2.7 Pa

c) 4.0 Pa

図2-14 Cuターゲットを Ar-O<sub>2</sub> ガス中で、スリット状にしたときの放電特性 (投入電力 40W) 励磁電流

- 3.0A
- △ 2.5A
- 2.0A
- ▽ 1.5A
- ◇ 1.0A

ス放電を行う。低インピーダンス放電は、磁界の作用によつて電子が、ターゲット近傍に捕獲されているマグネトロニ放電と考えられ、高インピーダンス放電は、通常のグロー放電と考えられる。

励磁電流が少ない時には、高インピーダンスである、ガス圧が低くなるとインピーダンスがさらに高くなり、放電の持続ができなくなる、あるいは、バイアスを深くするとインピーダンスがさらに高くなる等の現象が生じる。これはすべて電子がターゲット外周から逃げ出すと考えることで説明できる。励磁電流を少なくすると外周の磁界が弱くなるため、大きなエネルギーの電子が逃げ出し、バイアスを深くすると、大きなエネルギーを持つ電子が増え、圧力がさかるとエネルギーを失う電子が減るため、それぞれ電子が逃げ出し、高密度プラズマが形成されなくなると説明できる。

一方 励磁電流が多い時には、侵食領域（これは直接高密度プラズマの位置に対応すると考えられる）は、内周寄りに位置する。この部分は、また水平磁界成分が最も強い領域である。径方向での垂直磁界成分の変化量も大きいことから、電子の捕獲が完全である。したがって陰極バイアスを深くし、電子のエネルギーを大きくしても

陽極に直接達する電子はふえず、低イニピーダンスの放電が持続する。また、ガス圧が下がっても、捕獲された状態でも運動を続けるため、グロー放電より高真空においても安定した放電が可能である。

Taをターゲットとした放電特性においては、スパッタガスの種類によって放電特性に顕著な差は生じない。またArガス中での放電において、TaとCuを用いた時の放電特性を比較すると、マグネトロニ放電の時のイニピーダンスが、Cuターゲットを用いた方が高い。これは材料による二次電子放出効率の差と考えられる。

放電特性で注目されるのは、Cuターゲットを酸素雰囲気中でスパッタした時の放電特性である。この場合も、励磁電流が少ない時には、通常の二極グロー放電と考えられる放電特性を示すが、励磁電流を2A以上とすると、I-V特性に定電流領域が生じる。さらにその定電流動作する電流値はガス圧依存性を有している。このガス圧依存性は、酸素圧力依存性と考えてよい。また、1.33 Paにおける放電特性には、定電流放電領域よりさらに深いバイアスを加えると、通常のマグネ



トロニ放電と考えられる領域が生じる。電源装置の関係で実験してはいないが、 $2.7\text{Pa}$ 、 $4.0\text{Pa}$ における放電にも、さらに陰極バイアスを深くすることで、このマグネトロニ放電が生じるものと考えられる。このマグネトロニ放電を開始すると、放電特性を昇圧時に計測した場合と、降圧時に計測した場合とで異なった特性を示すようになる。これはマグネトロニ放電に入った時だけの現象であり、履歴現象の変化は、真空を破ることで、最初の状態にもどる。

これらの現象が、 $\text{Cu}$ と $\text{O}_2$ の反応によることは明らかである。 $\text{Cu}$ は酸化しやすく、逆にリアクティブ法はこの性質を利用したものである。したがって $\text{Cu}$ ターゲットは表面酸化と $\text{CuO}$ 後方散乱により非常によごれた表面である。この表面の放電特性と、長時間マグネトロニ放電したきれいな表面での放電特性が、履歴現象となつて現われると考えられ、さらに、酸化現象が酸素圧力と関係することも容易に理解でき、観察とも一致する。しかしながら定電流放電の機構の詳細は今後の課題として残されている。

## 2-4 まとめ

本章では、まず平板マグネトロンスパッタ装置にコイルの作る磁界を重畳し、電子捕獲状態を制御する重畳磁界マグネトロンスパッタの構造、および、原理を報告した。

次に Cu ターゲットを酸素雰囲気中でスパッタし侵食領域を観察するリアクティブ法を述べ、この手法により侵食領域が、圧力、電圧でその幅が変化し、磁界の変化でその幅および位置が変化することを示した。この侵食領域位置の磁界依存性を適切な構造の複合ターゲットと組み合わせると組成制御できるが、この応用のためには垂直磁界の変化が不足であることを述べた。

最後に、ターゲット材質、ガスの種類、圧力による放電特性を示し、ターゲット外周部の垂直磁界成分が強化できるとマグネロン放電が、高真空においても可能なことを述べた。また、放電の動作点の選択の自由度が、励磁電流を用いることで、増すことを示した。さらに酸素雰囲気中で Cu ターゲットをスパッタすると、定電流放電領域が存在することを指摘した。