

31a-P20-10

スパッタ製膜における 膜厚分布の圧力依存性

成蹊大学工学部
中野武雄、馬場 茂



背景(1)

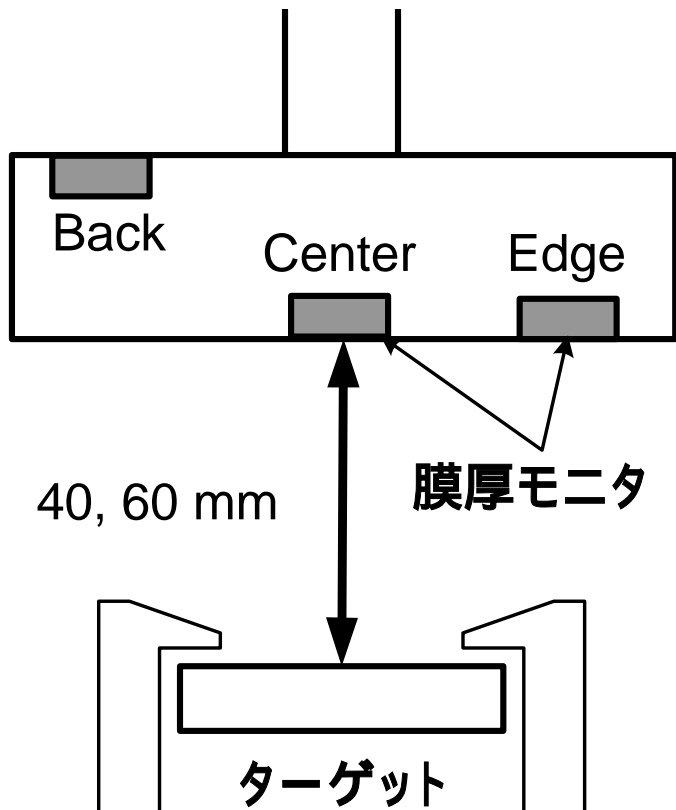
- スパッタ製膜プロセスでは粒子の輸送過程が複雑で、膜厚分布の予想は簡単でない。
 - ターゲットから飛び出した粒子は数eVの高いエネルギーを持つ。
 - これはガスの熱運動より充分大きいいため、スパッタ粒子はガスと衝突し、減速されつつ弾道的に輸送される。
 - 雰囲気中のガスとの速度差がなくなると、拡散的な輸送に移行する。



背景(2)

- 熱中性化するまでの移動距離は、雰囲気中のガス圧力や、スパッタ原子とガス分子の質量の関係によって変化する。
 - e.g.: Throwing Distance (熱中性化距離)
 - Al: 5.9 Pa cm
 - Cu: 8.3 Pa cm
 - Mo: 11.7 Pa cm
- 弾道的な輸送から拡散的な輸送へ移行変わる圧力領域で、膜厚分布にどのような影響が現われるかを調べた。

実験装置



- 膜厚モニタ: 水晶振動子型 (Inficon 社製)
 - Center: 対称中心
 - Edge, Back: 中心から28mm
- ターゲット径: 50mm
- エロージョントラック: 10 ~ 28mm (最深部 22mm)
- チャンバー内径: 210mm



スパッタ条件

- ターゲット: Al(27), Cu(63.5), Mo(96)
- 放電ガス: Ar(40) ()内の数値は質量数
- ガス流量: Ar 10 sccm
- ガス圧力: 0.4 ~ 16 Pa
- DC 電力: 50 W

モンテカルロ・シミュレーション

- 容器、境界条件
 - 回転対称
 - ガスの温度 (400K)、圧力は一様
 - 壁面での付着確率は 1
- 粒子の飛び出し
 - 位置 エロージョントラックの深さに比例
 - Energy, 角度 Thompson の式、cosine 分布
- ガスとの散乱
 - ガスの熱運動 Maxwell 分布
 - 散乱 Born-Mayer型ポテンシャル
($U(r) = A \exp(-br)$) による弾性散乱
- 拡散過程
 - Poisson 方程式を境界要素法で解く。

詳細 中野 真空 45 (2002) 699.



結果

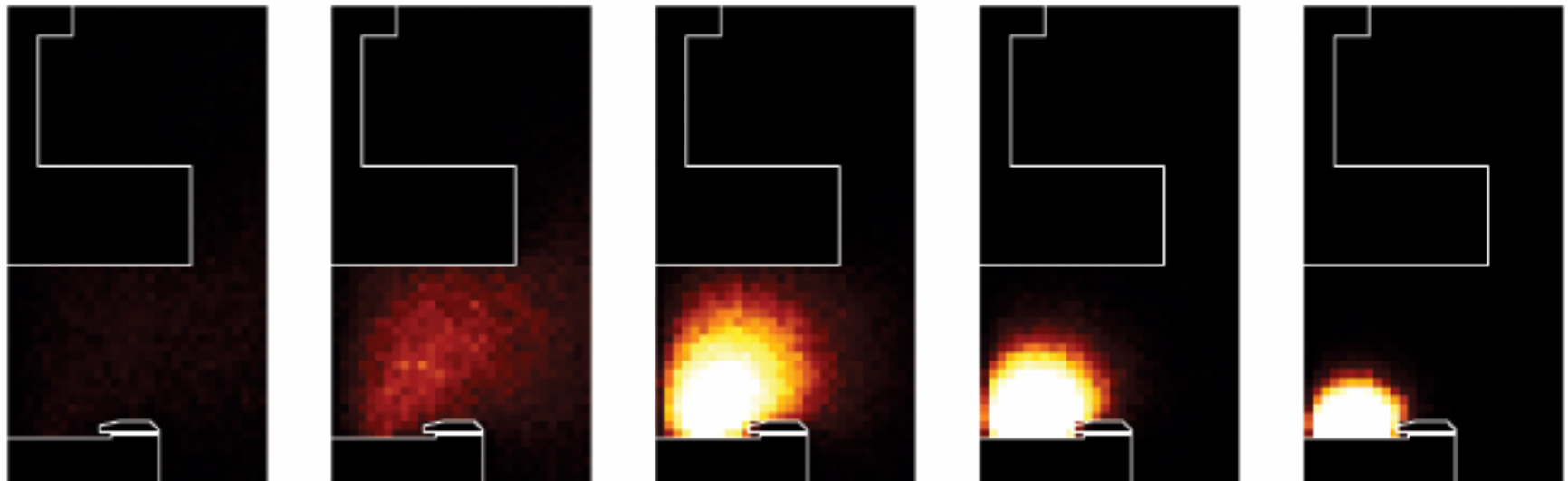
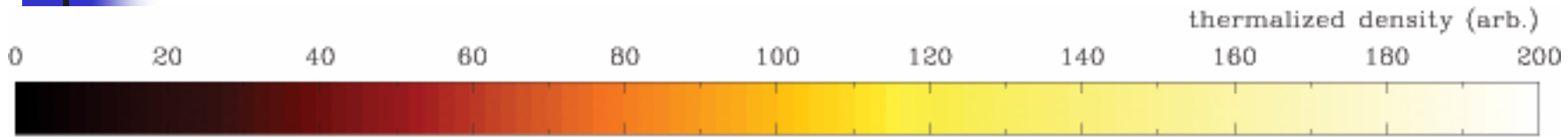
中段：各モニタにおける膜厚比

- : 実測結果 (T-S 40 mm)
- : // (T-S 60 mm)
- 実線：MC 計算結果 (T-S 40 mm)
- 破線： // (T-S 60 mm)

下段

- MCシミュレーションで、スパッタ粒子の運動エネルギーが雰囲気ガスの熱運動エネルギーと等しくなった位置の分布 (Cu)。

熱中性化位置(Cu, T-S 40mm)



0.8Pa

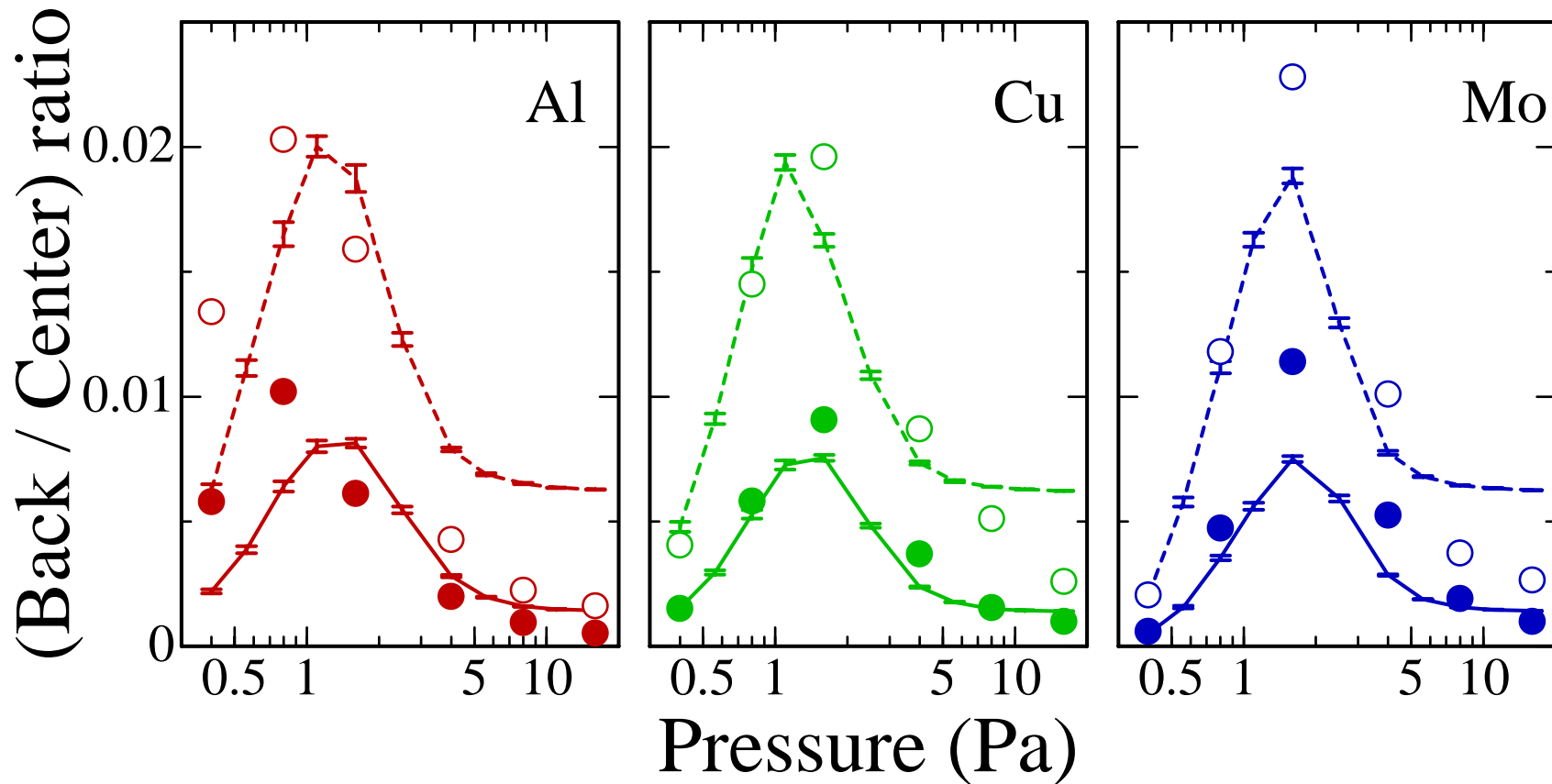
1.6Pa

4.0Pa

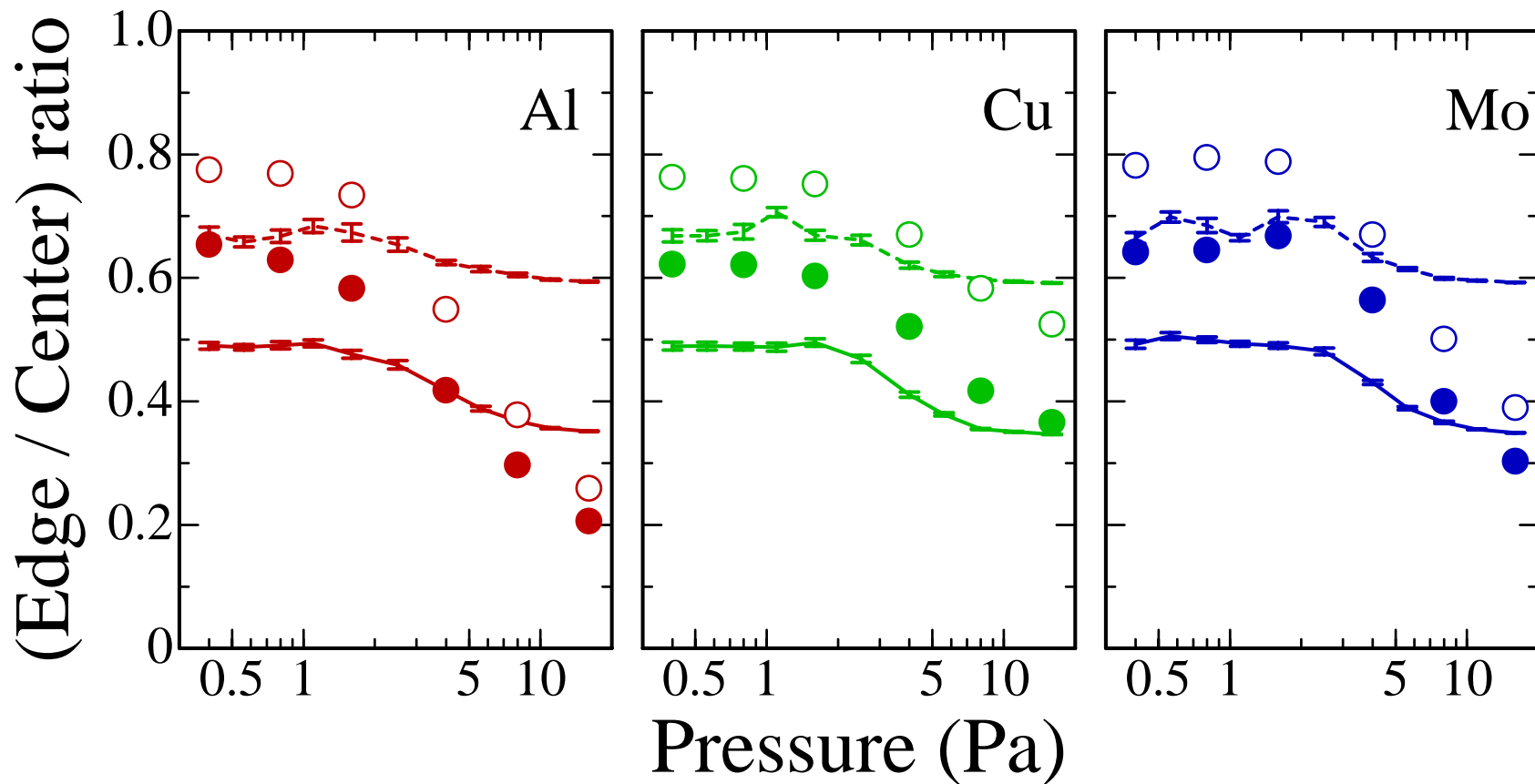
8.0Pa

16.0Pa

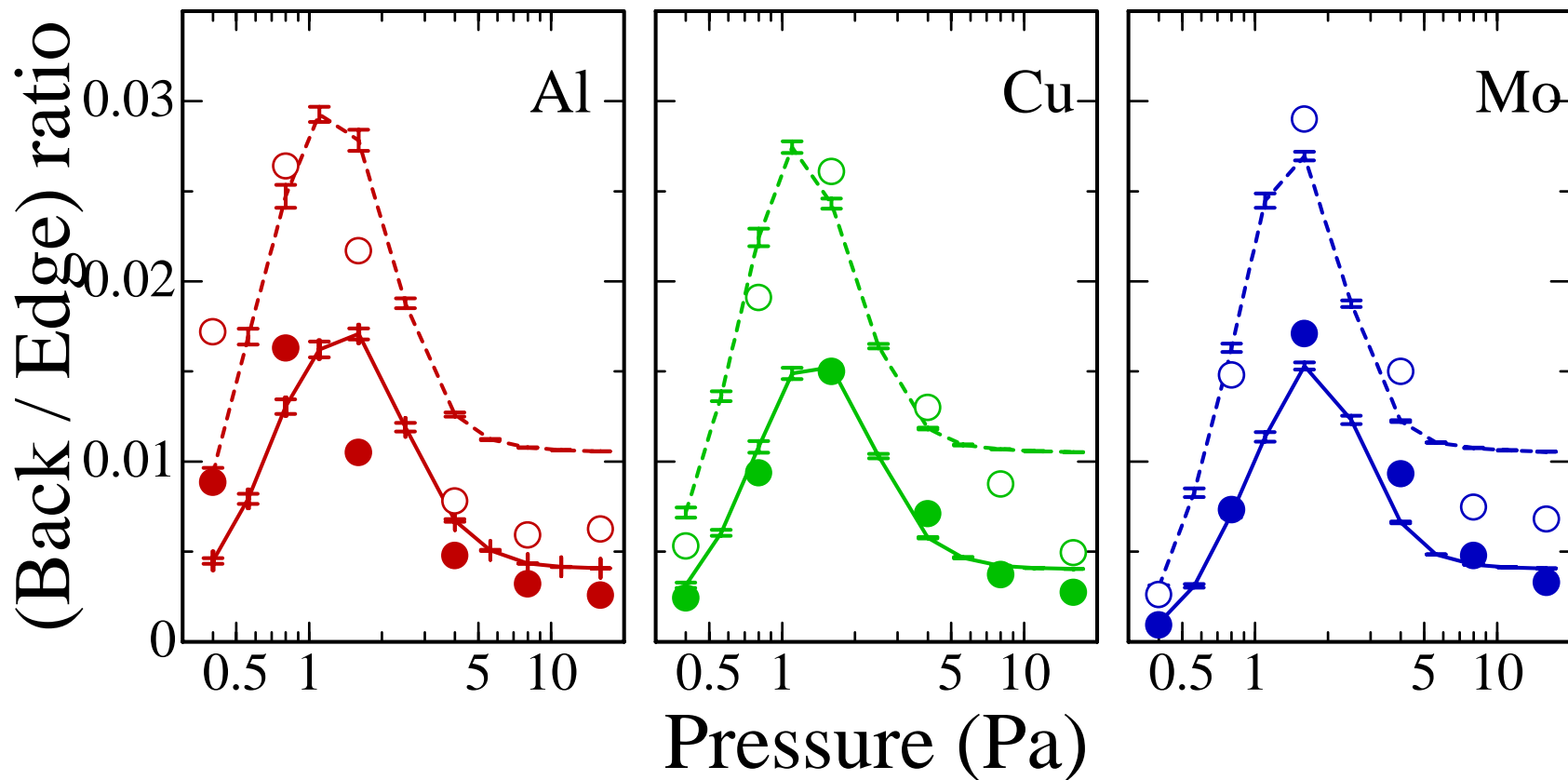
Back/Center 比



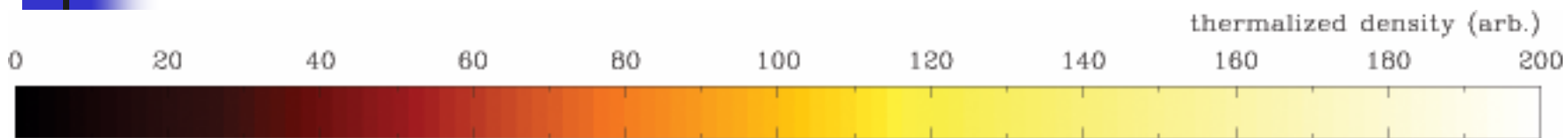
Edge/Center 比



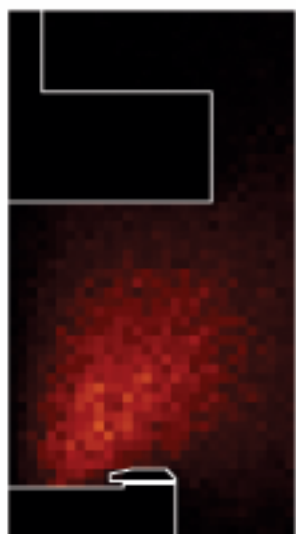
Back/Edge 比



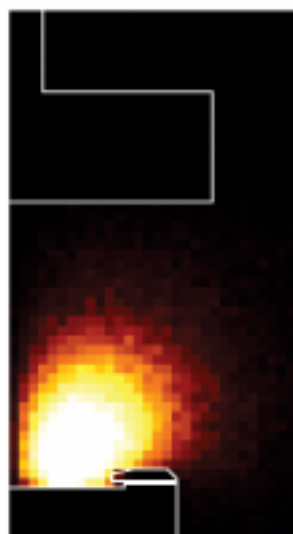
熱中性化位置(Cu, T-S 60mm)



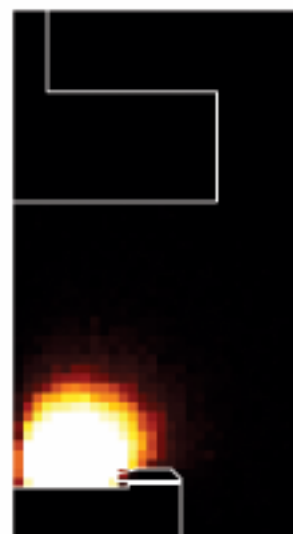
0.8Pa



1.6Pa



4.0Pa



8.0Pa



16.0Pa



考察(1)

背面への回り込みが極大を持つ原因:

- 低圧: ガスとの散乱が少なく、裏面へ到達する粒子が少ない。
- 中圧: 散乱が増える。また基板ホルダ付近で熱中性化し、拡散で裏面に到達するスパッタ原子も増える。
- 高圧: 熱中性化がターゲットの近傍で起きてしまうため、表・裏への到達が、拡散のみで決まってしまう、シミュレーションでは比が一定値になる。
- 実験で比が減少し続けるのは、空間の粒子がガスとともに pumping out される効果?



考察(2)

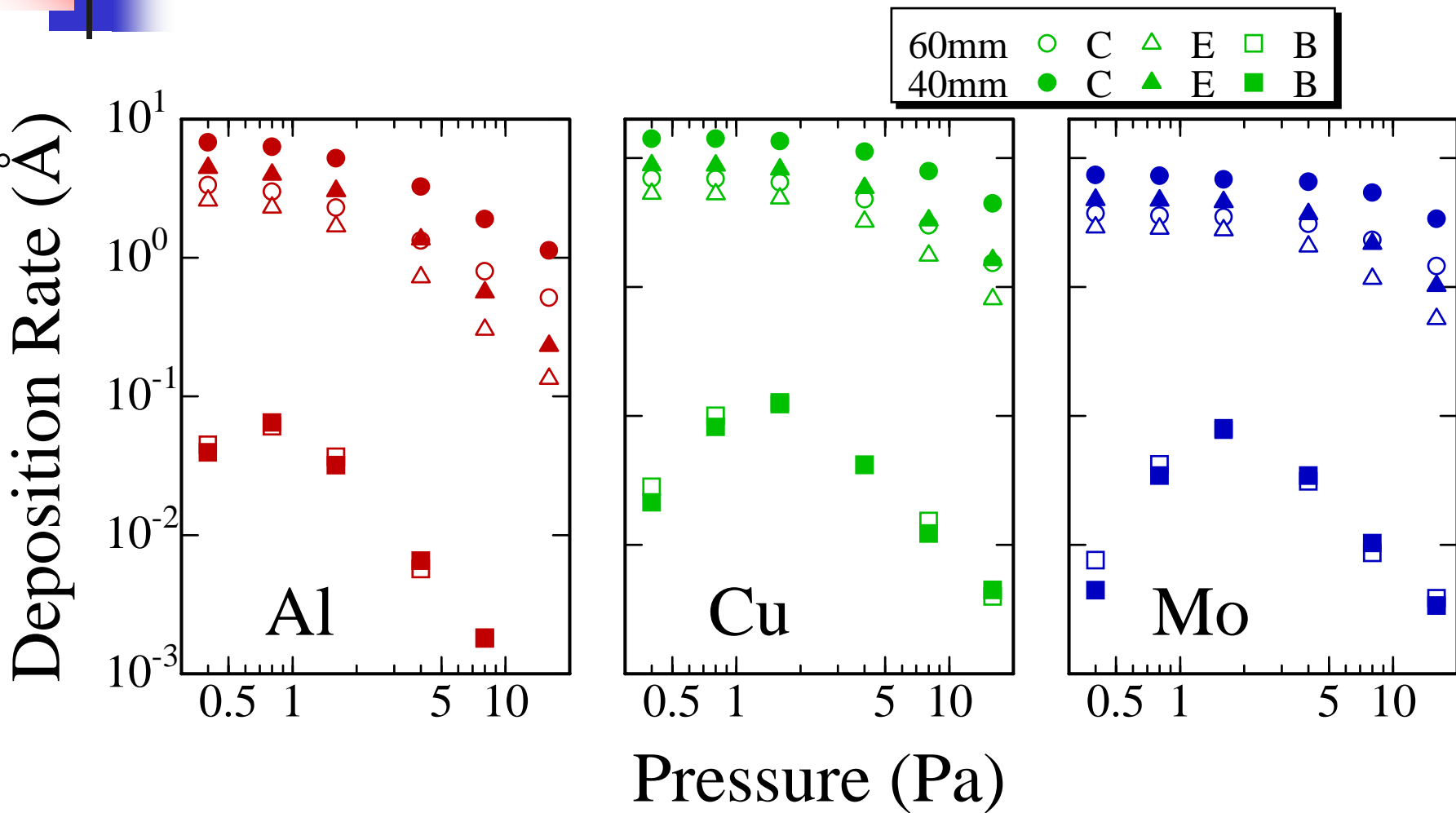
元素による違い:

- 質量効果: Al, Cu, Mo と重くなるにつれ、背面への回り込みの極大圧力が高圧側にシフト Throwing Distance の関係と一致。
- 分布には、付着確率の違いも影響しているかもしれない (シミュレーションでは1と仮定)。

ターゲット - 基板間距離の影響

- T-S距離が近いと、拡散輸送の段階ではホルダ面が吸収境界として作用するので、スパッタ粒子が逃げにくくなり、B/C比、E/C比が小さくなる。

成膜速度 (実験値)





まとめ

- スパッタ製膜において、ターゲットから隠れた面への粒子の回り込み付着は、中間圧力において極大を示した。
- ターゲット対向面での膜厚の均一性は、上述の極大となる圧力より高圧側で劣化した。
- この極大や均一性の劣化をモンテカルロシミュレーションで再現できた。また粒子が熱中性化して拡散輸送するプロセスとして理解できた。