

C⁺イオンビーム照射した PTFE 表面の銅薄膜附着性の改善

Improvement of Copper Thin Film Adhesion on the PTFE Surface Irradiated with C⁺ Ion Beam

横川稔弘

指導教員 鷹野一朗

工学院大学 工学部 電気電子工学科 電気電子機能材料研究室

キーワード: PTFE, C⁺イオンビーム, 表面改質, Cu 附着性

1. 緒言

現在, 次世代の高速通信に向け, Beyond5G としての研究が進んでいる。次のステージに到達するためには様々な技術開発が必要であり, 高周波用基板もその一つである。次世代高周波用基板としては, 比誘電率や誘電正接の小さいポリテトラフルオロエチレン (PTFE) が最適とされているが, 配線となる銅との附着性に劣ることが課題である。一般に PTFE のような安定物質においては, 凹凸を用いた物理的な接着と分子レベルでの接着を用いる化学的な方法がある。高周波用基板では, 表面の平滑性が必要であるため, 分子結合を切断してダングリングボンドを生成し, 化学的な接着を行う。¹⁾ すなわち, PTFE の -CF₂-CF₂- の C-C 結合を切断せずに F のみを除去することが好ましい。本研究では, C⁺イオンビーム照射により PTFE の F を除去し, 同時に C-C 結合を維持することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 イオンビーム照射

試料とする PTFE には, フッ素樹脂粘着テープ No.903UL (日東電工(株)) を用い, ガラス基板に貼付した。C⁺イオンビーム照射は, 図 1 のマルチプロセスコーティング装置 (ULVAC Co.) を使用し, C⁺イオンビーム照射条件を表 1 に示す。炭化水素ガス CH₄ をフリーマン

型イオン源に導入し, タングステンフィラメントに電流 120 A を通電してプラズマを生成する。そこから, 電圧 10 kV を印加した電極で正イオンを引き出し, 磁場型の質量分析器で C⁺イオンを選別して, φ20 mm のイオンビームとして試料に照射する。

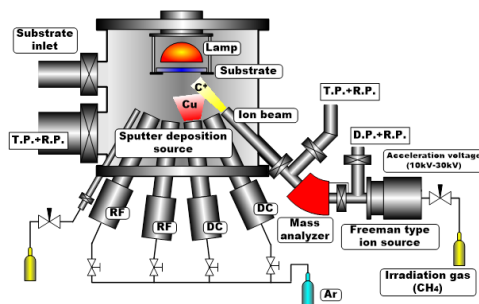


図 1 マルチプロセスコーティング装置

表 1 C⁺イオンビーム照射条件

導入ガス	CH ₄
イオン種	C ⁺
加速電圧 [kV]	10
C ⁺ イオン照射量 [ions/cm ²]	0~112.50×10 ¹⁴
照射角度 [°]	45

2.2 成膜方法

イオンビームによる表面処理後, マルチプロセスコーティング装置を使い, スパッタリング法により Cu 成膜を行った。成膜条件を表 2 に示す。Cu ターゲットに Ar⁺イオンを DC 電圧で衝突させ, Cu 原子をスパッタし試料基板に成膜した。

表 2 Cu の成膜条件

成膜法	スパッタリング法
基底圧力 [Pa]	6.1×10^{-6}
入力電圧 [W]	30
膜厚 [nm]	50
Ar 流量 [sccm]	15

2.3 評価方法

付着性に寄与する C^+ イオンビーム照射後の撥水性は、接触角計(協和界面科学(株))を用いて、蒸留水 1.0 μl を滴下して 3 回測定し、平均値を接触角とした。また、接触角は温度や湿度の影響を受けるため、恒温恒湿のもとで気温 24 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 50 % で測定を行った。

化学結合状態については、イメージング X 線光電子分析装置(KRATOSULTRA2, 株式会社島津製作所)を用いて、C-C, CF_2 などの分子濃度を $\text{C}1\text{s}$ スペクトルから分離した。分析では、真空中でイオン照射した試料を一度大気にさらすため、大気中の分子が吸着した状態を観察して、イオン照射効果を考察する。

Cu 薄膜付着性の測定には連続荷重式表面性試験機(HEIDON-22, 新東科学(株))を用い、荷重を 0-100 gf、ダイヤモンド圧子の曲率半径を 200 μm としてスクラッチ試験を行った。圧痕については、ナノサーチ顕微鏡(DUH-W201, 株式会社島津製作所)を用いて観察し、画像を二値化して Cu 薄膜の付着率を算出した。

3. 実験結果

図 2 に水接触角測定を示す。 C^+ イオン照射量が増加すると、表面自由エネルギーが大きくなり水接触角は徐々に低下していくことが確認できた。

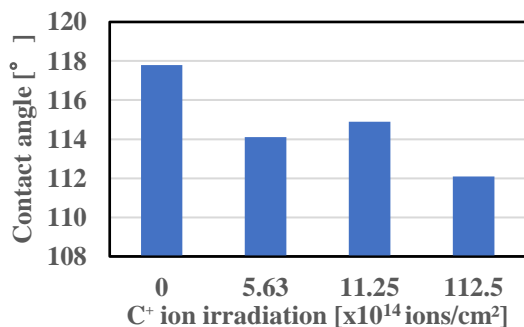
図 2 C^+ イオン照射量による水接触角

図 3 には、各 C^+ イオン照射された試料の XPS 測定によ

る表面の分子濃度を示す。 C^+ イオン照射によって、表面の化学状態は大きく変化した。特に、PTFE の CF_2 結合が減少し、 C^+ イオン照射量 112.5×10^{14} ions/ cm^2 では、未照射の半分ほどになった。また、照射量 5.63×10^{14} と 11.25×10^{14} ions/ cm^2 では C-C 結合は少ないが、照射量 112.5×10^{14} ions/ cm^2 では、C-C 結合が増加した。

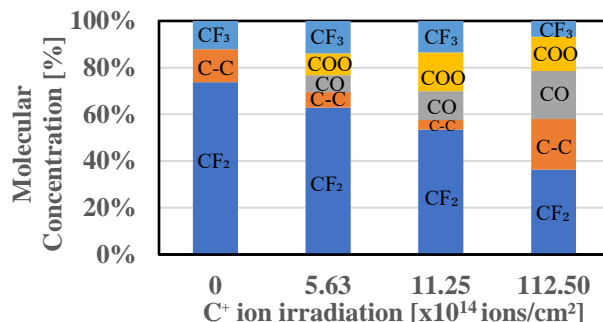
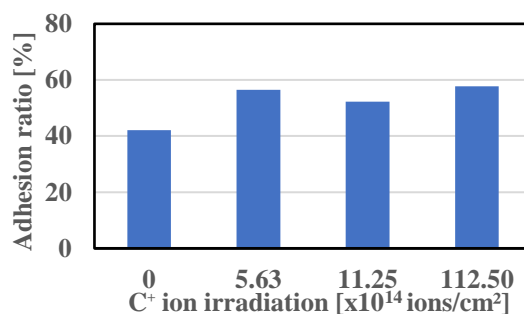
図 3 C^+ イオン照射した PTFE の表面化学状態

図 4 には、各照射量におけるスクラッチ圧子の荷重 50 gf での Cu 薄膜の付着率を示す。未照射に対して、 C^+ イオン照射の付着率は高くなり、飽和状態ではあるものの、 C^+ イオン照射量 112.5×10^{14} ions/ cm^2 で最も高くなった。

図 4 C^+ イオン照射した PTFE 表面の Cu 付着率

4. まとめ

C^+ イオン照射量の増加によって、PTFE 表面の化学状態が大きく変化する中で、水接触角の低下、付着率の上昇が得られた。特に、 112.5×10^{14} ions/ cm^2 の照射量では PTFE の主鎖である C-C 結合の増加が確認できたことから、 C^+ イオン照射量の特徴が得られたと考えられる。

参考文献

1) 中山芳隆:「低角度 N^+ イオンビーム照射による PTFE 表面の Cu 薄膜付着性の改善」工学院大学大学院修士論文(2022)