

オープンループ電位顕微鏡による金属腐食過程における ナノスケール局部電池分布の可視化

Visualizing nanoscale distribution of local cells in metal corrosion processes
by open-loop electric potential microscopy

金沢大理工¹, 荏原製作所², 日立製作所³

○北川 拓弥¹, 尾形 奨一郎², 本棒 享子³, 嶋 昇平², 福永 明², 高東 智佳子², 福間 剛士¹

Dept. of Eng., Kanazawa Univ.¹, Ebara Corp.², Hitachi, Ltd.³

T. Kitagawa¹, S. Ogata², K. Hombo³, S. Shima², A. Fukunaga², C. Takatoh² and T. Fukuma¹

E-mail: yf-808@stu.kanazawa-u.ac.jp

金属の腐食現象は、様々な産業において大きな課題となっている。例えば、原子力発電所や脱塩プラント、化学プラントなどで使用されるステンレス鋼や、半導体デバイスで使用される Cu 微細配線、自動車で使用される Al 合金など、その例は数多く存在する。腐食による経済損失は GDP の 3-4% に及び、アメリカを例に挙げれば、年間 6000 億ドルの損失に相当する。このような莫大な経済損失を抑制するため、金属腐食のより深い理解が必要とされている。一般に、金属腐食は金属-液体界面における局部電池の形成によって生じる。表面物質の分布は局所的に異なるため、それに従って電気化学反応及び電極電位は局所的な分布を持ち、結果、局部電池が形成される。金属と液体間には電流が流れ、腐食を引き起こす電気化学反応は継続的に進行する。このように、金属腐食過程において、局部電池は中心的な役割を担うため、局部電池の空間分布は、金属腐食メカニズムを理解するための重要な情報となる。しかしながら、電解液中におけるナノスケール電位分布計測は非常に困難であり、これまで実際に測定された例はない。この問題を解決するため、近年、我々の研究グループはオープンループ電位顕微鏡(OL-EPM)を開発した。この計測手法では、交流バイアス $V_{ac}\cos(\omega t)$ を探針試料間に印加する。これによって誘起された静電気力の ω および 2ω 成分を検出し、局所電位を計算する。この手法の提案以来、様々な研究グループがこの手法の肯定的、および否定的側面について報告してきたが、OL-EPM によって計測されたナノスケール局所電位分布の起源については、未だ完全には理解されていない。

本研究では、半導体デバイス中の Cu 微細配線及びステンレス鋼の電解液中における腐食過程を、OL-EPM を用いて直接観察した。Fig. 1 は、Cu 微細配線を 0.01 mM の NaCl 溶液に浸漬してから 42 min 及び 105 min 後の、OL-EPM 像である。得られた像より、Cu 微細配線はナノスケールの局所電位分布を持つことを確認できる。浸漬後 42 min における電位の低い領域(Fig. 1(b)の点線内)は Fig. 1(a)における高い領域に概ね一致している。しかし、Fig. 1(a)の矢印で示された箇所は、周囲よりも電位が低く、例外も存在する。ここで注目すべき点は、いずれの場合においても、105 min 後には、42 min 後の時点で電位の低かった領域が選択的に残留している点である。同様の傾向はステンレス鋼の腐食過程においても確認されており、金属腐食過程において、OL-EPM により局所電池のナノスケール分布を可視化できることが分かった。OL-EPM により、金属腐食過程の理解が進み、様々な産業における防食技術が発展するものと期待される。

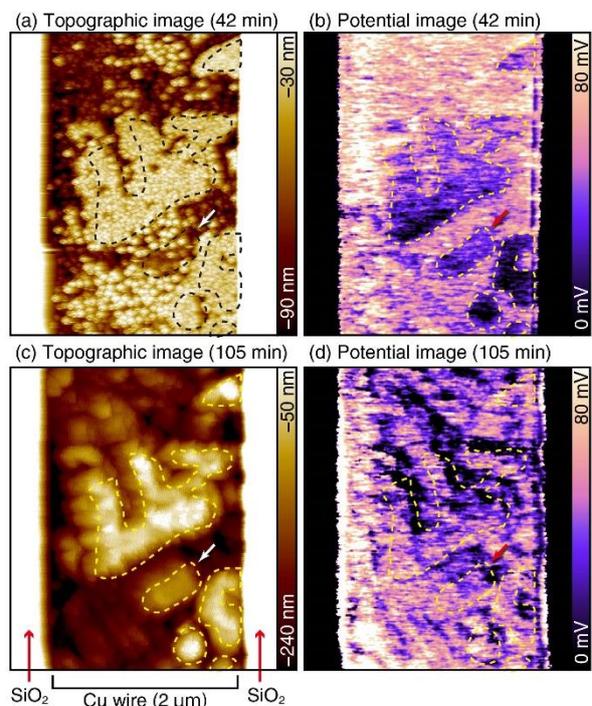


Fig. 1 : OL-EPM images of a Cu wire obtained in 0.01 mM NaCl solution.