

衛星用表面材料の光電子放出電流分布の測定

岡野 拓哉, 山納 康, 小林 信一 (埼玉大学)
仁田 工美 (JAXA)

Measurement of distribution of photoemission current of surface materials used for satellite

Takuya Okano (Saitama University), Kumi Nitta (JAXA), Yasushi Yamano, Shinichi Kobayashi (Saitama University)

Some kinds of film and paint-type coating materials are used as a thermal control material for the artificial satellite. It is necessary to survey the characteristics of the thermal, optical, mechanical and electrical properties about them. This report describes results of measurement of the photoemission current from the film and paint-type coating materials excited by ultraviolet-light.

The used film samples were four kinds of materials (germanium coating, ITO coating, nonconductive) and the used coating samples were seven kinds of white paint materials (inorganic conductive, inorganic nonconductive, silicon based conductive, silicon based nonconductive) which are used for the artificial satellite. The following measurement results were obtained. Photoemission sites on each sample were distributed into active area and inactive area. Photoemission currents value of conductive samples are larger than those of nonconductive samples except for white paint B. Photoemission currents of Ge-coated films are uniformly distributed all over the sample. The current values are less than those of ITO-coated film. Photoemission currents value of silicon based samples were smaller than those of inorganic samples. Distributions of active area and inactive area about photoemission sites on white paint materials is greater than those of film samples.

キーワード：放出型電子顕微鏡、光電子放出、電子電流

Keywords: Electron emission microscope, Photoelectron emission, electron current

1. まえがき

現在、人工衛星の表面材料に太陽からの電磁波や高エネルギー粒子が入射することにより帯電・放電が生じ、それらが材料の劣化や機器の故障を引き起こしていることが報告されている。そのため、宇宙環境下での衛星の電位解析のために、様々な材料における光電子放出特性を調べる必要がある。本報告では衛星用表面の熱制御材料として用いられる導電性・非導電性フィルムと白色系塗料について、紫外線照射時の光電子放出電流値の分布を測定した結果について述べる。

2. 実験装置および実験方法

図1に、今回使用した放出型電子顕微鏡が装備された実験装置の概略図を示す。実験用真空容器内の圧力はイオンポンプにより常に 10^{-6} Pa 台に維持されている。試料台は、真空容器外部に設けられたパルスモータにより放出型電子顕微鏡の対物レンズ前面を走査することができるようになっており、試料表面上の電子放出点の拡大像を観測しながら電子放出点の分布を調べることができる。また、蛍光板

を動作させる高電圧電源と接地の間には電流計が接続されており、蛍光板に入射する電子電流を測定することができる。この電子電流を測定しながら、試料を走査することにより、試料表面の電子放出特性の分布を調べることが可能である。

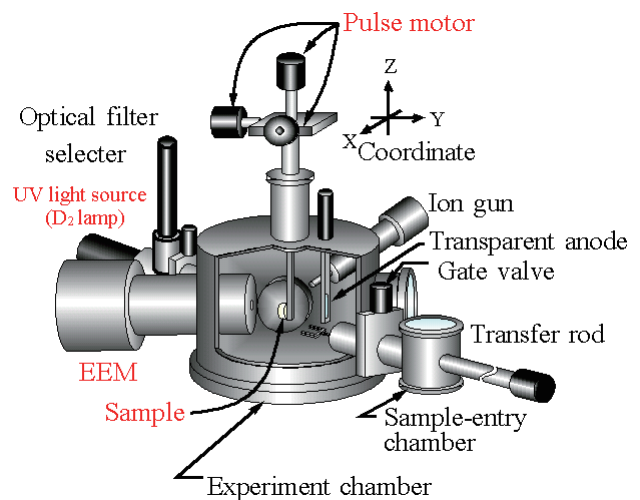


図1 実験装置概略図

図2に、放出型電子顕微鏡の概略図を示す。この顕微鏡は、文献^{[1][2]}に基づき当研究室で設計し製作したものである。図に示されるように、本顕微鏡は三つのユニポテンシャルレンズ、MCP、および蛍光板からなる。試料の電子放出点は、試料と対物レンズの孔とで構成される界浸レンズにより対物レンズ内に結像し、その像を後段のレンズで拡大し、MCP上に結像させる。MCPで電子増倍の後蛍光板に投影された像を真空容器外部からビデオカメラにより観測する。

真空紫外光源は 浜松ホトニクス L1835 出力 150W を用いており、波長 115 ~ 400nm の UV 域に連続スペクトルを有している。図3に光源のスペクトル強度を示す。真空紫外光は、光源から放射される光の発散を軽減するために LiF 製のレンズによりビーム化した後、顕微鏡の対物レンズに設けられた孔を通して、試料に照射される。真空紫外光源には、MgF₂の窓が用いられており、また、光路に LiF のレンズが使用されていることから、照射光のエネルギーの最大値は約 10.8eV である。この光路中には光学フィルターも設けられており、照射（波長）エネルギーを選択することができる。今回の実験ではフィルターを用いていないので、10.8eV 以下のスペクトルの光が試料に入射している。

今回使用した試料を表1に示す。試料はそれぞれ非導電性と導電性に分かれており、塗料系の試料はさらに無機系と Si 系に分かれている。これらの試料はそれぞれ図4に示すように金が試料表面 6mm 角の部分を除き蒸着されている。金を蒸着したのは、金を参照電極として用いることにより、より正確な測定を行うことができるようにするためである。ただし、非導電性の試料および塗料系の試料については金蒸着を行っていない。これらの試料は背後電極上にカーボンテープと導電性の接着剤を用いて固定し使用している。

次に、実験の手順について示す。測定する場所は、図5のように試料中央の 6mm 角の部分である。放出型電子顕微鏡の三つのユニポテンシャルレンズには試料表面を約 250 倍に拡大することができるような電圧がそれぞれ印加され

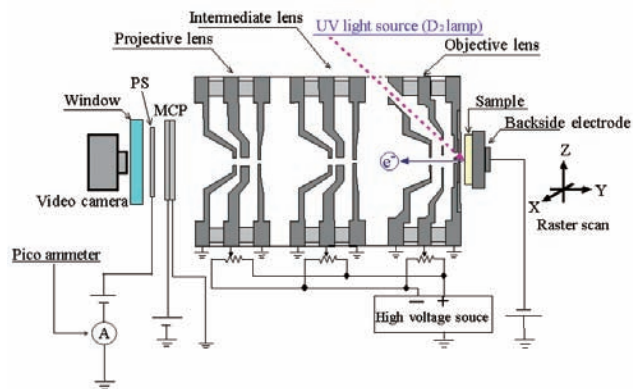


図2 放出型電子顕微鏡概略図

ており、蛍光板上には試料表面の 0.12mm の部分の像が投影されている。試料を 0.2mm ステップで x - z 方向にラスタースキャンしながら蛍光板に接続されている微小電流計によってそれぞれのサンプルで電流値の測定を行い、実験結果とする。

3. 実験結果

各試料の光電子電流の分布を表したものが図6である。横軸が x 方向、縦軸が z 方向である。各セルの色により電流値の大小を表している。それぞれの試料は、中央の 3mm 角の部分を除き、表面に金が蒸着されているため、中央の ±1.5mm の部分が、それぞれの試料からの光電子放出電流を測定した部分であり、周りの部分は、金からの光電子放出電流を測定した部分となる。

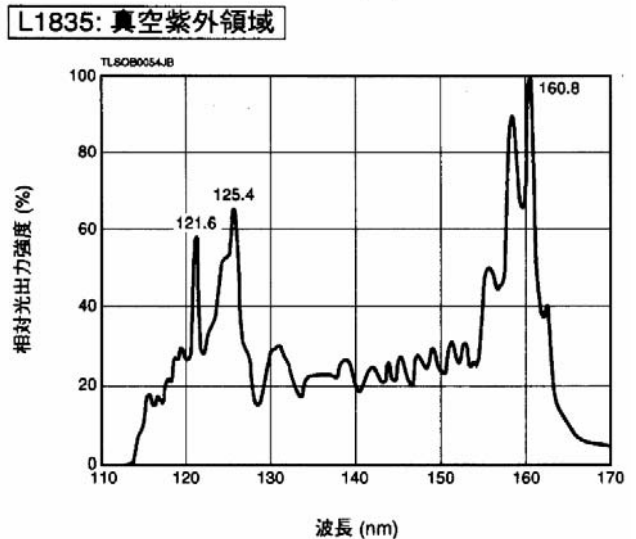


図3 放射スペクトル分布(カタログより参照)

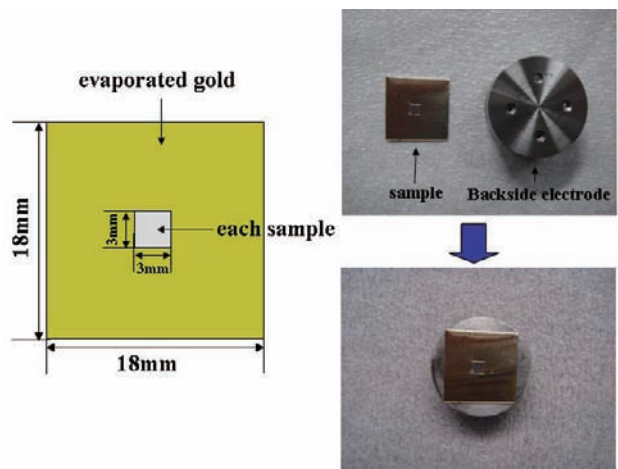


図4 試料の概略図

表1 実験で使用した試料

名称	導電性	体積抵抗率 [Ωm]	特徴	
熱制御剤 白色塗料	White paint A	非導電	$\cong 10^{10}$	無機系 白色塗料
	White paint B		$\cong 10^6$	
	White paint C		$\cong 10^{11}$	
	White paint D	導電	—	無機系 白色塗料
	White paint E		$\cong 10^6$	
	White paint F		$\cong 10^6$	
	White paint G		—	
熱制御フィルム	Film A (Ge-coated)	導電	0.46 (Ge) *	ポリイミドフィルム上にコーティング剤を塗布
	Film B (Ge-coated)			
	Film C (ITO-coated)			
	Film D	非導電	—	フッ化樹脂
シリコン A	導電	2.0×10^{-4} *	n型半導体	
シリコン B		10	n型半導体	
銅		1.6×10^{-8} *	純度: 99.96%	
鉄		8.7×10^{-8} *	純度: 99.998%	
チタン		4.2×10^{-8} *	純度: 99.5%	
アルミニウム		2.5×10^{-8} *	純度: 99.999%	
ニッケル		6.6×10^{-8} *	純度: 99%	
銀		1.5×10^{-8} *	純度: 99.98%	
金		2.0×10^{-8} *	—	

*金属便覧および製品カタログ値参照、それ以外の材料の抵抗率は実測値^{[3],[4]}

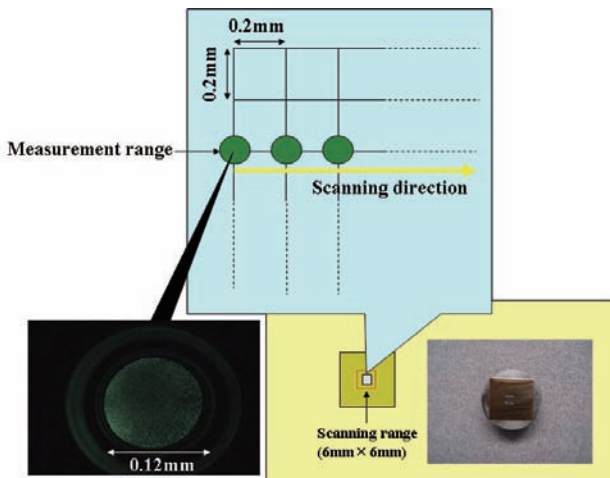


図5 測定範囲

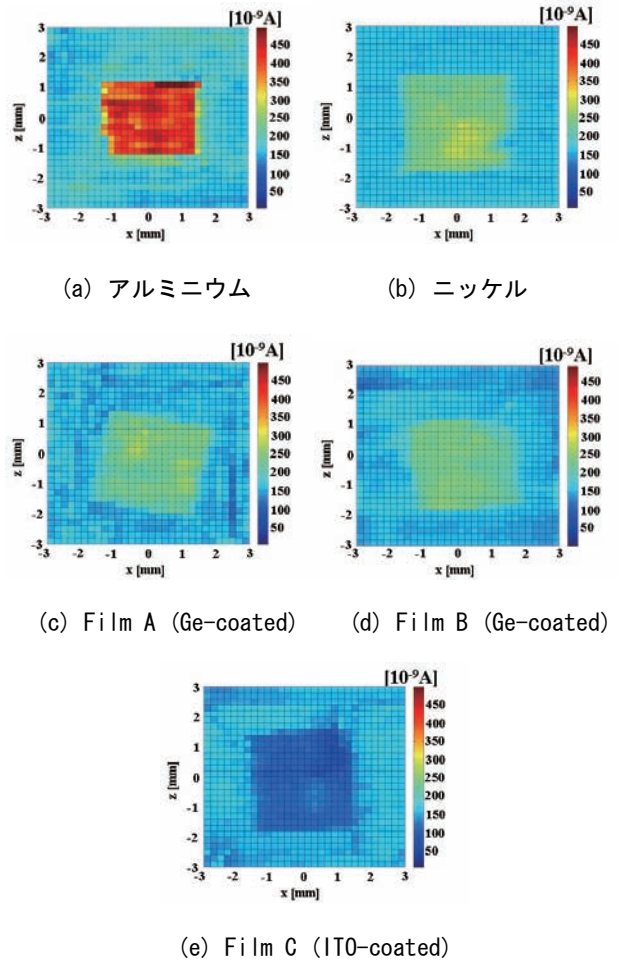


図6 各試料における電子電流値の分布

また、測定した電流値の平均値、標準偏差を試料ごとにまとめたものを表2に示す。

図6を見ると、衛星用表面材料、金属材料において、共に同一の材料を測定しているにもかかわらず光電子電流値は場所により違いが生じている。次に表2の光電子電流の平均値を見ると、導電性の試料のほうが非導電性の試料より電流値が大きく測定されていることが確認される（非導電性試料である White paint B を除く）。導電性フィルムにおける光電子電流値は表面がゲルマニウムコーティングされた試料を用いた Film A と Film B においてほぼ同じ値となっている。また、標準偏差は導電性フィルムにおいてゲルマニウムがコーティングされた試料よりも ITO がコーティングされた試料の方が電子が放出されやすい場所とされにくい場所の差が大きくなっている。これは、ITO コーティングが表面に一樣にされていないか、酸化の程度が場所によって分布している可能性がある。

白色系塗料においては Si 系の試料は導電・非導電にかかわらず測定された電流が非常に小さく、無機系試料の光電子電流値よりも小さい値であるということが確認された。

また、白色系塗料と導電性フィルムの標準偏差は、白色系塗料の方が導電性フィルムよりも電子が放出されやすい場所とされにくい場所の差が大きくなっている。白色系塗料の場合、標準偏差が大きくなるのは試料の凹凸などが大きく関係しているためと考えられる。また、白色系塗料はその多くが体積抵抗率 $10^6 \Omega m$ 以上の試料であり、試料によっては場所により帯電が生じて、これが光電子放出特性に影響している可能性がある。

表2 各試料における光電子電流の測定値

名称	導電性	特徴	平均値 [nA]	標準偏 差[%]
White paint A	非導電	無機系	0.162	98.3
White paint B			26.4	38.5
White paint C		Si系	0.070	110.6
White paint D	導電	無機系	49.4	40.7
White paint E			47.9	67.0
White paint F			8.28	48.5
White paint G		Si系	0.334	16.6
Film A (Ge-coated)	非導電	—	234	6.1
Film B (Ge-coated)			230	5.8
Film C (ITO-coated)			100	12.3
Film D			0.484	46.2
シリコンA	導電	—	246	7.4
シリコンB			284	4.9
アルミニウム			419	8.6
銅			203	7.1
鉄			198	9.2
チタン			113	11.5
ニッケル			248	7.0
銀			170	4.1
金			158	4.3

4. まとめ

- ・衛星用表面材料、金属材料において、共に同一の材料を測定しているにもかかわらず光電子放出電流値は場所により違いがあるということが確認された
- ・非導電性試料よりも導電性試料のほうが、非導電性試料 White paint Bを除いて、光電子電流が大きく測定された
- ・導電性フィルムにおける光電子電流値は表面がゲルマニウムコーティングされた試料を用いた Film A と Film B においてほぼ同じ値となった
- ・導電性フィルムにおいてゲルマニウムがコーティングされた試料よりも ITO がコーティングされた試料の方が電子が放出されやすい場所とされにくい場所の差が大きい
- ・白色系塗料において、Si 系試料の光電子電流値は、無機系試料の光電子電流値よりも小さい
- ・白色系塗料の方が導電性フィルムよりも電子が放出されやすい場所とされにくい場所の差が大きい

謝辞

本研究を進めるにあたりまして、独立行政法人情報通信研究機構から白色塗料の提供を受けましたことを、深く感謝いたします。

文献

- [1]A. D. Archer, "Spectroscopic Studies of Field-Induced Electron Emission from Isolated Microstructures", PhD Thesis, Aston University, 1992
- [2]Rod V Latham, "High Voltage Vacuum Insulation; Basic Concepts and Technological Practice", pp.82-84, Academic Press, London, 1995
- [3] 日本金属学会:「金属便覧」,丸善,pp.2-5 (1960)
- [4] 高橋, 山納, 仁田, 小林:「GPM/DPR プロジェクトで使用される熱制御材料の表面抵抗率・体積抵抗率の測定」,第3回宇宙環境シンポジウム講演論文集,pp.147-150 (2006)