機械的損傷にともなう金属からのPSEE

重 川 秀 実, 兵 藤 申 一

東京大学工学部

PSEE from Mechanically Damaged Metals

Hidemi SHIGEKAWA and Shin-ichi HYODO Department of Applied Physics, the University of Tokyo

After the intermission of photoillumination a distinct but temporary increase was observed in the exoelectron emission yield when the illumination was resumed again. The increase grew more distinct with prolonging the length of intermission. This phenomenon, the storage effect in PSEE, has been interpreted as follows: There are two excitation processes competing during PSEE; one is the photoexcitation of electrons at defect-related energy levels above the Fermi level (occurring at a rate of α), and the other is the thermal excitation of lower lying electrons to empty defect-related levels, which are filled with electrons during the interruption of photostimulation (occurring at a rate of β). We have also found that, whereas the total number of the emission sources, once created, may decrease gradually over a long period of observation, both of the rates, α and β , are quite constant — a result which indicates the intrinsic importance of this model in explaining PSEE phenomenon. The illumination wavelength at the maximum emission was not influenced by the length of photostimulation, which affected the transient increase in the emission yield greatly. This result agrees with our model previously reported.

1. 機械的損傷とPSEE

機械的損傷として一般に用いられる方法としては,

- (1) 引張り(圧縮)
- (2) クリープ
- (3) こすり
- (4) スクラッチ
- (5) 疲労
- (6) 曲げ

等がある。例として、スクラッチにともなうAl からの PSEE(光励起エキン電子放出)に関する実験結果を図 1に示す。実験は真空槽中で行ない、スクラッチには鋼 製の針を使用した。励起光には水銀ランプを用いフィル ターを通して、300nm(~アルミの仕事関数)より短い 波長を除いてある。したがって、損傷前には電子の放出 は見られない。スクラッチ後、電子放出が始まり、放出 量は極大値を通って減少する。真空度が良くなるととも



に、放出量極大になるまでの時間は増加し、放出量は減 少する。以上は他の損傷においても共通する現象である。 この他、各損傷に関し、これまで、表面酸化層の厚さや、 温度、雰囲気ガスの影響等、様々な実験が行なわれてい る。

1983年7月号

2. 応 用

a).

Veermanは、疲労試験にともなうAlからのPSEE を扱い、クラックの進行とPSEEの間に表1のような 関係を見出だした。試料は図2のように、三つの状態を 何度か経て破壊に至る。従って、PSEEの変動を追う ことにより、試料が疲労過程のどの時期にあるか検知で きる可能性がある。²⁾

表 1. 疲労試験におけるA | からの EE 放出強度と, き裂の成長の関係

状	態	I		IJ		П	
PSEE 放出量 の時間変化		ゆっくり増加		急激に増加		変動しなが ら減少	
き裂の	D成長	遅	57	速	い	停	止

b).

図3は、同様な方法で初期放出量と寿命2%疲労時の 放出量の間の関係を扱った、Baxterの実験結果である。 もし図のような関係が一般に成立すれば、寿命の2%の 段階で試料の破壊寿命を予測できるはずである³。

しかしながら,以上の実験は,試料に一定の荷重振幅 で連続的に疲労を与えたものであり,実際には,疲労荷 重の大きさや時間変化はランダムである。その際,それ らの値を平均化して抜ってよいかどうかは自明ではない。 また,昼の間使用して夜は休めるというように,ある程 度の間隔をおいて繰り返し荷重が加えられるとき,PSEE が繰り返し回数と,どのように関係するかという点など も、実用を意図する場合に明らかにしておく必要がある。







図 2. 疲労試験におけるAIからのEE放出

c).問題点

PSEEを実際の破壊検出に用いる際の問題点をまとめ ると次の2点になる。

- (1) 測定技術
- (2) 機械的損傷の度合とPSEEの関係

通常 PSEE の実験は真空中で行なわれているか,実験 の応用においては,大気中(低真空中)での測定が必要 不可欠となる。また破壊検出に際し,正確な判定規準や 再現性の問題を扱うためには,やはり,放出機構の解明 が望ましい。

3. **PSEE**の放出機構⁴⁾⁵⁾

- (1) 放出量の時間変化
- (2) 雰囲気依存性(放出量,極大値までの時間 tm)
- (3) tm > tox (tox:酸化層が生じるまでの時間)
- (4) 機械的損傷の種類に対する依存性
- (5) 励起光依存性(波長,強度)
- (6) 試料依存性

等の機構を説明する必要がある。これらの点を全て説明 できるモデルはまだ存在しないといってよい。空孔拡散 モデルにおける,拡散の活性化エネルギーを求めた例を 除くと,放出機構に関係する内部変数すら,これまでの モデルでは求められていない。一方,TSEE(熱励起エキ ソ電子放出)では,昇温曲線を解析することにより、トラ ップのエネルギー準位等を求めている。これは、温度を 時間とともに変化させる動的な解析の結果である。我々 が PSEE において提案するモデルも、光励起と時間をか らめた動的な解析手段をとることにより、放出確率等の 内部変数を決定しようとするものである。

a) 二過程モデル

機械的損傷後,新たに生じる酸化層中にPSEEの放出 源が形成されると考える。光励起により放出源から電子 が放出される過程の他に、カラになった放出源に再び電 子が励起され、エキソ活性化する過程が存在するとする。 α , β , S'(t), S''(t), $S_0(t)$, N(t) をそれぞれ,電子の 放出確率,エキソ活性化確率,エキソ活性な放出源の個 数,カラの放出源の個数,放出源の総数,実際に観測さ れる放出量とする。

 $S_0(t) = S'(t) + S''(t)$ $N(t) = \alpha S'(t)$

b). ため込み現象と内部変数

確率 β でエキソ活性化が行なわれるため、光励起を中断 している間に電子のため込みが生じ、再び励起を開始した 時に、放出量の著しい増加となって現われる。その様子を 図4に示す。電子のため込み、及び、ため込まれた電子 の放出は、それぞれ β 、 ($\alpha + \beta$)を肩に持つ指数関数 で表わされる。従って、上記現象を扱うことにより、

β, S₀等の値が求まる。 結果を表2 に示す。

表 2. スクラッチを施したAIからのEE放出に関する内 部変数

P(TORR)	S ₀	0 (SEC ⁻¹)	ß (sec ⁻¹)	
5.5 X 10 ⁻⁵	1.62 X 10 ⁷	2.86 X 10 ⁻³	5.19 X 10 ⁻³	
2.4 X 10 ⁻⁵	1.73 X 10 ⁷	2.40 X 10 ⁻³	2.03 X 10 ⁻³	
8.5 X 10 ⁻⁶	4.82 X 10 ⁵	5.31 X 10 ⁻²	3.22 X 10 ⁻²	
2.5 X 10 ⁻⁶	5.56 X 10 ⁶	3.06 X 10 ⁻²	2.44 X 10 ⁻²	
6.0 X 10 ⁻⁷	3.42 X 10 ⁶	1.87 X 10 ⁻²	1.33 X 10 ⁻²	
1.1 X 10 ⁻⁷	4.06 X 10 ⁷	4.80 X 10 ⁻⁴	1.33 X 10 ⁻³	

 α : 放出確率, β : 励起確率, S_0 : 放出源総数

c). 放出量の時間変化

放出量及び, 確率 ($\alpha + \beta$), $\overset{\alpha}{\beta}$, の時間変化を図5, 図6に示すこれより, 放出量の時間変化は, 放出源の個数変化によるものであることが分かる。

図?は、スクラッチ前後のAl 中の放出源のエネルギー 分布の変化を示す。横軸は励起波長で、400 nm から20 nm /min で短波長側に変化させ、対応する放出量を縦軸に とってある。スクラッチにより分布は大きく長波長側に









ずれ,仕事関数以下の励起でPSEEが生じる様子が分かる。また,図8は,光励起休止時間が長くなるにつれて,ため込みの効果が著しくなることを示したものである。230 nmの光で10³秒試料を照射した後,tc秒間光を止めてから分布をとった。tcを長くとるとともに,放出量は増大するが,ピークの位置は,ほとんど変化しない。

4. まとめ

エキソ電子顕微鏡⁶⁰,空気カウンター⁷⁰等の開発によ り,エキソ電子を様々な分野に応用する可能性が開けて きた。今後,放出機構解明にむけて,よりいっそうの努 力が期待される。

参考文献

- 1) 重川秀実, 兵藤申一: 潤滑, 27,6,(1982)5.
- C.C. Veerman: Materials Sci. Engineering, 4, (1969) 329.
- W.J. Baxter: Metallurgical Transactions A, 6A, (1975) 749.
- H. Shigekawa and S. Hyodo: Jpn. J. Appl. Phys., 21, 9 (1982) 1278.
- H. Shigekawa, R. Iwatsu, M. Okada and S. Hyodo: Jpn. J. Appl. Phys., 22, 1 (1983) 42.
- 6) S. Yamamoto: Jpn. J. Appl. Phys., 20, (1981) 971.
- H. Kirihata and M. Uda: Rev. Sci. Instrum., 52, (1981) 68.