Construction of the scanning tunneling microscope for examining atomic surfaces

試料表面測定のための走査型トンネル顕微鏡の作製

Atsushi NAKAYAMA, Makoto KUMEI and Tsunenori SUZUKI

Department of Physics, Faculty of Science, Tokai University, 1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa 259-1292, Japan

TEL : 81-463-58-1211 (EXT. 3680) FAX : 81-463-58-1812

(Accepted for publication 6 November 1997)

In order to construct STM, we made power supplies, amplifiers and programs for computer auto-measuring. We earned the data of tunneling current which increased as a tip moved horizontally on Au surface. From the data, we got the shape of gold surface by new method .

Keywords: STM, Tunneling current, Fermi level

I. INTRODUCTION

走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope, STM) は、探針と試料の間に 1nm 程度まで近づけながらバイアス電圧を印加し、トンネル電流を検出することで、試料の表面状態を測定できる装置である。その探針の電子のフェルミ準位と、試料表面のフェルミ準位の間には、ポテンシャル障壁が生じている。¹ 探針-試料間にバイアス電圧を加えることにより、電子の一部がトンネル効果によってこのポテンシャル障壁を通り抜け、探針から試料へ移動するため微小電流が流れる。装置の全体概略図を Fig.1 に示す。

FIG. 1. Image of STM.

本研究では、探針走査に必要な電源装置や OP アンプなどの作製、トンネル顕微鏡の組み立て、コンピューター自動計測プログラムの作製を行った。試料には Au を使って探針を水平方向に走査させながら、試料と探針間のトンネル電流を測定した。従来の方法では、トンネル電流値を一定にしつつ試料表面を走査し、探針の軌跡から試料表面の形状を決定している。これは、表面を走査しながらトンネル電流を測定するため

に、表面形状による探針-試料間の距離の影響と局所的な仕事関数の影響したトンネル電流の測定法となっている。そのため、仕事関数の異なる異種原子の判別は、簡単には行えない。我々は、任意の点で探針-試料間の距離を変化させてトンネル電流の測定を行い、その点での距離係数を決定する方法で試料の表面形状を求めた。さらに、異種原子を判別することの可能性も検討した。

II. EXPERIMENTAL

探針-試料間数は数 nm 離れており、その両端にバイアス電圧をかけることにより探針と試料のフェルミ準位が変化し、トンネル効果によって電子の一部が探針-試料間を通過して、微小電流が流れる。トンネル電流はバイアス電圧の大きさの他に探針-試料間距離に指数関数的に比例するため、トンネル電流を測定することにより試料表面の情報を得ることができる。

探針と試料を 2 枚の平面導体で置き換えて WKB 法等による近似法を用いることにより、トンネル電流は次式で表せる。²

$$I = V \left[\frac{e^2}{h} \right] \left[\frac{\kappa}{\pi^2} \right] \exp(-2\kappa d) \quad \dots(1)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{2m\phi}{\hbar^2}}$$

I : トンネル電流	$\hbar$: プランク定数
V : バイアス電圧	π : 円周率
ϕ : 仕事関数	m : 電子の質量
d : 探針-試料間の距離	e : 単位電荷
κ : 距離係数	

トンネル電流は、探針-試料間距離に大きく依存するため、探針と試料の走査は極めて精密に行う必要がある。そこで、Z 軸粗動機構にはマイクロメーターを、Z 軸準微動機構に積層型圧電素子を、X 軸および Z 軸微動機構には円筒型圧電素子を用いた。

III. RESULTS AND DISCUSSION

試料として Au を用い、探針の垂直位置を固定して水平方向にのみ走査したときのトンネル電流値を測定した。これを、探針の垂直位置を変えて 3 回行い、得られた 3 本の曲線を Fig.2 に示す。探針の垂直位置を変えても、X 軸に関して、トンネル電流値は同じ傾向を認めた。

FIG. 2. Distance on X axis and tunneling current.

Figure 2 から、試料表面の形状を求めることができる。トンネル電流の測定点(探針の空間座標)を $P_{n,l}=(x_n, y_n, z_l)$ として、 $P_{n,l}$ でのトンネル電流を $I_{n,l}$ とすれば、式(1)は、

$$I_{n,l} = V \left[\frac{e^2}{\hbar} \right] \left[\frac{\kappa}{\pi^2} \right] \exp(-2\kappa d_{n,l}) \quad \dots(2)$$

である。

$d_{n,l}$ を探針-試料間の距離とすると、Z 軸の変位 z_l は、探針が垂直方向原点にあるときの探針-試料間距離 $d'_{n,l}$ を用いて、

$$d_{n,l} = d'_{n,l} - z_l \quad \dots(3)$$

となる。

Z 軸上の異なる位置 z_1 および z_2 でトンネル電流値 $I_{n,1}$ および $I_{n,2}$ を測定し、それぞれを式(2)に適用すると、距離係数 κ が、

$$\kappa = \frac{\ln I_{n,2} - \ln I_{n,1}}{z_2 - z_1} \quad \dots(4)$$

と求まる。

さらに、式(3)および式(4)を式(2)に代入すると、

$$I_{n,l} = V \left[\frac{e^2}{\hbar} \right] \left[\frac{\kappa}{\pi^2} \right] \exp(-2\kappa d'_{n,l}) \exp(2\kappa z_l) \quad \dots(5)$$

となる。

第三の観測点 $P_{n,0}$ で測定したトンネル電流 $I_{n,0}$ を式(5)に代入し、 $d'_{n,0}$ について整理すると、

$$d'_{n,0} = z_0 + \frac{\ln(V e^2 \kappa) - \ln(I_{n,0} \pi^2 \hbar)}{2\kappa} \quad \dots(6)$$

となる。

Z 軸上の異なる二点 $P_{n,1}$ および $P_{n,2}$ でトンネル電流を測定することにより距離係数 κ が定まり、更に別の点 $P_{n,0}$ でトンネル電流を測定すれば、 z_0 からの試料表面への距離 $d'_{n,0}$ が求まる。

Figure 2 の距離 $z=525\text{nm}$, 1575nm および 1756nm をそれぞれ z_1 , z_2 および z_0 として計算し、試料表面の形状を求めたものを、Fig.3 に示す。Figure 2 および Fig.3 から、X 軸方向の増大に従ってトンネル電流が大きくなる傾向を認め、探針が試料表面に近づいた結果であると考えられる。

また、このようにして距離係数 κ を決定すれば、観測位置での仕事関数 ϕ の値を決定することができる。さらに、試料表面の各点の仕事関数値を求めることにより異種原子の判別も可能であると考えられる。

FIG. 3. Image of scanning a tip.

IV. CONCLUSIONS

STM を製作し、探針は圧電素子を用いて二次元まで走査できるようにした。これを用いて試料の表面を水平走査しつつトンネル電流を測定し、従来とは異なる電流値による係数決定方法を用いて試料表面の形状を求めることができた。

さらに、試料表面上の一点での距離係数 κ を求めることにより、その点での局所的な仕事関数を求められる。仕事関数は金属原子によって異なるため、その点での試料表面の原子を同定することができる。すなわち、試料表面の異種原子の判別を可能にする方法を見出した。

REFERENCES

- Y. Otsuki, Tonneru Kenbikyo no Bussei, Kyoritsu Shuppan, 5(1990).
- A. Nakajima, K. Sugano and T. Suzuki, Journal of Advanced Science, 9, 147(1997).

'97 SAS Intelligent Symposium