

結晶表面研究用の超高真空精密ゴニオメーターの試作

Precision Goniometer for Surface Studies in Ultrahigh-Vacuum

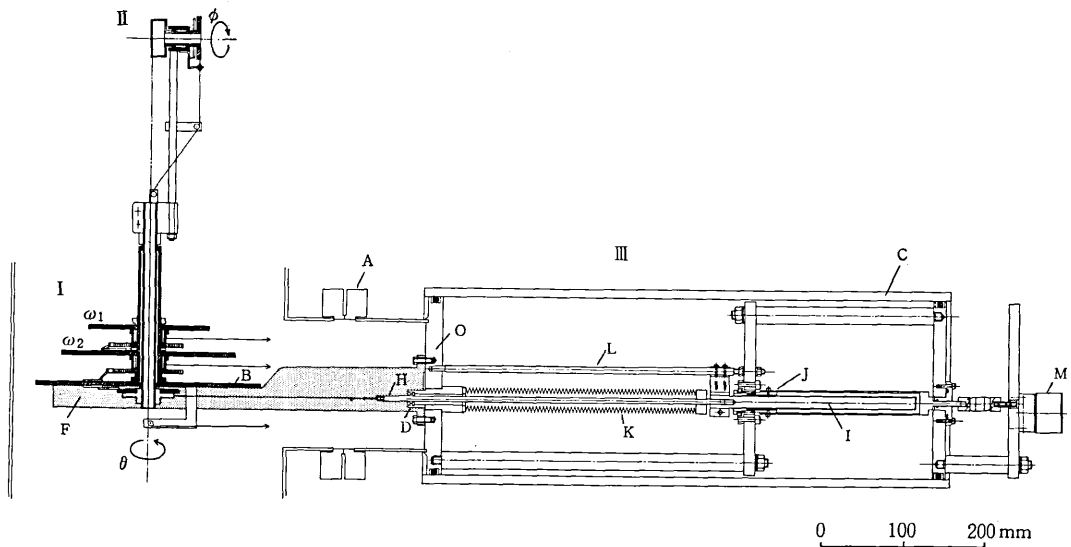
寺田 啓子*・菊田 惺志*・福留 理一**

Keiko TERADA, Seishi KIKUTA and Riichi FUKUDOME

1. はじめに

低速電子線回折や低速イオンの表面反射などによる結晶表面構造の研究には、超高真空 ($\leq 10^{-8}$ Pa) 中で動作可能のかつ精密なゴニオメーターが必要である。ゴニオメーターは我々の使用目的から考えて、試料結晶が、入射角 θ (入射線と試料表面とのなす角) を変える回転 (θ 回転という) と方位角 ϕ (入射線の試料表面への射影と表面上の適当な基準の方向とのなす角) を変える回転 (ϕ 回転) ができ、さらに検出器が2個独立に θ 回転と同じ軸のまわりに回転 (ω_1, ω_2 回転) できるような、あわせて4個の回転軸をもち、かつ各々の回転軸が広い

角度範囲にわたって高精度で回転するものが望まれる。従来用いられている回転機構は、普通、歯車の組合せと回転導入端子による¹⁻³⁾ものが多いが、回転精度はよくて $\pm 0.1^\circ$ どまりである。これは超高真空中では回転駆動素子の接触面において潤滑の役目を果たす吸着分子が少なくなり、またベキングのために生ずる熱歪みなどにより、例えば歯車同志のかみ合いが滑らかでなくなるためである。そこで我々は、回転駆動に金属線を用いる方法を^{4,5)}採用し、さらに真空槽外とはベローズの直線駆動で連結し、全体として回転精度を $\pm 0.02^\circ \sim 0.03^\circ$ に向上させた精密なゴニオメーターを設計・製作したので、その概要を報告する。



I: θ, ω_1 と ω_2 の回転機構 (B: ベースプレート, F: 支持棒) II: 試料支持台 (ϕ の回転機構を含む)

III: 直線駆動機構 (A: フランジ, O: 回転機構部と直線駆動部設置用ベースプレート, H: 直線駆動軸
D: スライドベアリング, I: 精密ネジ, J: 精密雌ネジ, K: 溶接ベローズ
L: 直線移動測定用定規兼回転止め, C: アクリル円筒, M: シンクロモーター)

図1 ゴニオメーターの断面図

* 東京大学生産技術研究所 第1部

** 日本真空技術株式会社

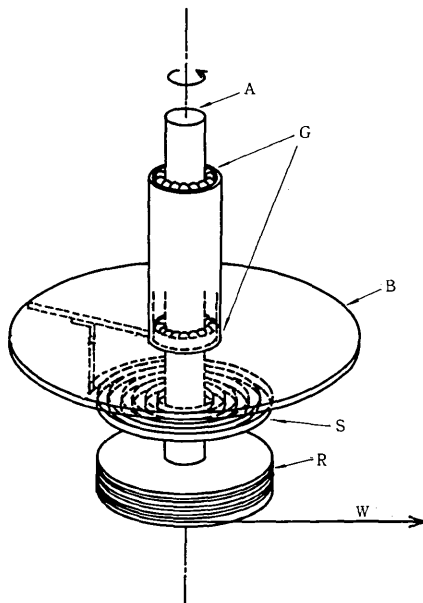
研究速報

2. ゴニオメーターの機構

2.1 ゴニオメーターの構成

図1にゴニオメーターの断面図を示す。ゴニオメーターは、Ⅰ試料の θ 回転と検出器の ω_1, ω_2 回転の機構、Ⅱ試料の ϕ 回転機構を組み込んだ試料支持台とⅢ超高真空槽内への直線運動導入機構から構成されている。入射線と試料表面の法線はベースプレートBに平行な水平面内に含まれ、 θ, ω_1 と ω_2 の回転軸は水平面に垂直に立つように配置される。 ϕ 回転軸は試料表面に垂直な軸に平行になっている。ゴニオメーターの回転機構はベースプレートB上に組み立てられており、さらにベースプレートBはその下側にわたした2本の支持棒Fによって支えられている。この棒は、真空槽の側面のフランジポート(管径150mm ϕ)に取りつけられた直線駆動部のベースプレートOに固定される。結局ゴニオメーターの回転機構と直線駆動機構全体は、ベースプレートOによって一体になっている。

ゴニオメーターは、ステンレス製の超高真空槽(350mm ϕ ×1,100mm, アルミフォイルフランジ使用)の中に設置されている。排気は油回転ポンプと液体窒素トラップ付き油拡散ポンプ(排気速度100 ℓ /sec)で荒びきし、排気を継続しながら250℃で約20時間~30時間ベーキングをしたのちチタンゲッターポンプ(1,700 ℓ /sec)と



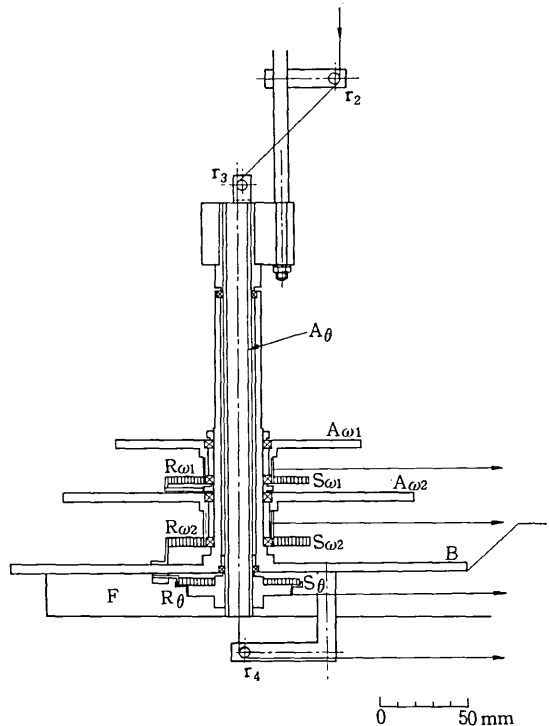
A:回転軸 G:ベアリング B:ベースプレート
S:ゼンマイバネ R:糸巻き W:金属細線

図2 回転機構の説明図

スパッタイオンポンプ(160 ℓ /sec)を用いて行い、その結果 10^{-8} Paの超高真空雰囲気を得ることができる。

2.2 θ, ω_1 と ω_2 の回転機構

回転のメカニズムは図2に示すように金属細線を利用している。回転軸Aは上下2カ所につけられたベアリングGを通してベースプレートBに乗っている。回転軸の下端に金属細線に張力を与えるためのゼンマイバネSがついている。バネは外端固定支持の非接触型で、外端はベースプレートBに固定し、内端は回転軸につけられている。またバネに並んで金属細線を巻きつけるための円筒Rがあり、その側面には、ピッチ0.5mmの溝が加工してある。回転軸の回転は、糸巻きRに巻きつけた金属細線を引くことによって行われる。図3に $\theta, \omega_1, \omega_2$ の回転機構の拡大断面図を示す。ゼンマイバネには、SPRON-100⁶⁾という耐熱性にすぐれた(500~600℃までのベーキング可能)、高弾性、不感磁性性材料を用いている。金属細線は同じく不感磁性性で抗張力の高い(抗張力70~260kg/mm²),直径100 μ mのモリブデン線を用いている。その他の材料はすべてSUS-304製である。低速電子線



B:ベースプレート F:ゴニオメーターの支持棒,
A $\theta, A_{\omega_1}, A_{\omega_2}$: $\theta, \omega_1, \omega_2$ 回転の回転軸,
S $\theta, S_{\omega_1}, S_{\omega_2}$:それぞれのゼンマイバネ,
R $\theta, R_{\omega_1}, R_{\omega_2}$:それぞれの糸巻き
r $_2, r_3, r_4$: ϕ 回転用金属細線の案内用ベア
リング

図3 $\theta, \omega_1, \omega_2$ の回転機構の拡大断面図

の場合、磁場による偏向が大きいののでこのように磁気を帯びる材料は避ける必要がある。

θ 回転を例にして、回転系の仕様を述べる。回転軸は直径16mm ϕ 、厚さ2mmの円筒、ベアリングは内径16mm ϕ 外径22mm ϕ 、厚さ4mmのフルボール型である。ゼンマイバネの巻き込み数 n と糸の張力 F との関係は

$$F = \frac{n \pi b h^3 E}{6 R \ell}$$

で与えられる。⁷⁾ここで E はバネのヤング率、 h はバネの板厚、 b は幅、 ℓ は長さ、 R は外端半径である。ゼンマイバネ $S\phi$ は、 $E = 2 \times 10^7 g / \text{mm}^2$ 、 $b = 4 \text{ mm}$ 、 $h = 0.3 \text{ mm}$ 、 $\ell = 1,958 \text{ mm}$ で $F/n = 16 g / \text{回}$ である。巻き込み数は、 $n = 5 \sim 6$ に選んだ。この場合、張力はモリブデン線の弾性限界内に十分入っている。回転軸に取りつけられている糸巻き $R\phi$ は外径60mm、厚さ6mmの円筒状で側面にピッチ0.5mm、深さ0.3mmのネジ溝が加工してある。金属細線の直径は100 μm であるから糸を巻いた状態での糸の中心間の距離は約59.7mmになる。

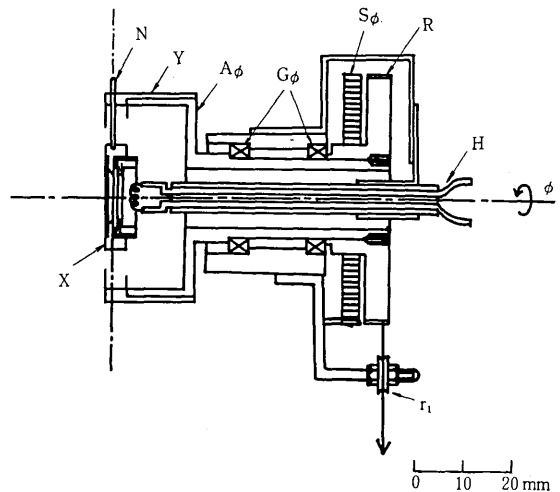
2.3 直線駆動機構

図1に示すように糸巻きから引き出された金属細線の先端は、ペローズの中心を通る直線駆動軸(6mm ϕ) H の先端に結びつけられている。この棒 H は、結び目の近くでスライドベアリング D に支持され、他端は大气側で精密ネジ I に接続されている。さらに軸 H は精密ネジ I と対の雌ネジ J をシンクロナスマーター M で回転させることにより直線運動する。この結果として回転が生ずる。精密ネジ I は外径15mm、全長225mm、ピッチは θ に対して0.75mmで、 ϕ 、 ω_1 、 ω_2 に対して1mmであり、送り精度は全長にわたって数 μm 以内である。直線駆動部の超高真空と大气側との遮断はSUS-304製の伸縮性の良い溶接ペローズ⁸⁾を用いている。ペローズのバネ定数は0.16kg/mm、板厚0.1mm、内径14mm、外径28mmで自由長は θ 、 ϕ に対して250mm、 ω_1 、 ω_2 に対して176mmである。回転の角度範囲は、このペローズの長さ糸巻きの直径で決まり、 θ 回転は240 $^\circ$ 、 ϕ 、 ω_1 と ω_2 回転では360 $^\circ$ である。また直線駆動部全体を、溶接ペローズの保護と精密ネジに加わる力の方向を一定にするためにバイトンシールのアクリル円筒 C (直径225mm、厚さ10mm、長さ630mm)でおおい、油回転ポンプを用いて $10 \sim 10^2 \text{ Pa}$ に排気している。 θ 回転の場合、回転軸を0.1 $^\circ$ 回転させるには、モリブデン線を52.5 μm 引けばよい。これはシンクロナスマーターを25.1 $^\circ$ 回転させることに相当している。なお、入射角と回折角を $\theta - 2\theta$ の関係で回転させることがよく行われるが、このゴニオメーターでは、 θ 回転と ω_1 あるいは ω_2 回転に同一の回転速度のシンクロナスマーターを用

いけばよい。

2.4 試料支持台

図4に試料支持台の拡大図を示す。 ϕ 回転の機構は他の場合と全く同じであるが、図3、図4にみられるように、金属細線は、案内用溝付きミニチュアベアリング r_1, r_2, r_3 を径由し、回転軸 $A\phi$ の円筒の中心を通り、さらに r_4 を径由して直線駆動部に導びかれる。試料支持台は試料の表面処理の際に800~900 $^\circ\text{C}$ まで試料を加熱するためかなり温度があがる。そのためベアリング $G\phi$ のボールは0.1~0.2 μm の厚さに金をイオンプレATINGし



$A\phi$: ϕ 回転の回転軸 $G\phi$: ベアリング
 $S\phi$: ゼンマイバネ $R\phi$: 糸巻き
 H : ヒーター用電線 Y : 試料ホルダー外側ケース N : 試料ホルダー支持用モリブデンピン X : 試料固定板 r_1 : 金属細線案内用溝付きミニチュアベアリング

図4 試料支持台の拡大断面図

たものを用いている。フィラメント加熱用の電線 H は、回転軸 $A\phi$ とは独立に取りつけられている。また支持台の温度があがるため、表面拡散により支持台からの不純物原子が試料へ流入するのを防ぐため、試料を固定している板 X はモリブデン製の3本のピン N によって支持している。試料固定板 X は試料と同じ材質のものを用いている。なお試料の交換は、ケース Y 部だけを取りはずし、真空槽の外で行う。

3. 回転角の較正

θ 回転について、回転角の較正を行った。はじめ、大气中で12面鏡を回転軸に乗せ、オートコリメーターによって回転角を測定した。シンクロナスマーターの回転角から得られた金属細線の変位量と回転角の関係を図5に示す。非常に直線性のよい結果が得られた。この直線

研究速報

の勾配は、最小二乗法によって求めると、 $1.92^\circ/\text{mm}$ となり、計算値 $360^\circ \div 59.6 \div \pi = 1.92^\circ/\text{mm}$ と一致した。また金属細線を引く方向と緩める方向とで回転角の位置に差異は認められなかった。つぎに装置全体を 250°C で16時間ベーキングを行った後得られた超高真空中 ($6 \times 10^{-7} \text{Pa}$) で、 90° プリズムを用いて同様に調べた。この場合も金属細線を引く方向では大気中と同じくスムーズに回転した。直線の勾配は $1.92^\circ/\text{mm}$ で大気中の値とよく一致した。

上記の測定結果から、 θ 回転については回転精度 $\pm 0.02^\circ$ 以内であるとみられる。なお、 0.02° の回転は、金属細線の $10.5 \mu\text{m}$ の変位量に対応している。他の回転軸

に関しては、糸巻きの直径と精密ネジのピッチから回転精度は $\pm 0.03^\circ$ 以内と思われる。

4. 謝 辞

本装置の設計にあたり有益な討論をしていただいた辻泰教授と辻研究室の小林正典氏に感謝いたします。またバネの製作にあたって便宜をはかっていただいた村木時計株式会社の小田智通氏に、ベローズ製作にあたって便宜をはかっていただいた日本バルカー工業株式会社の志澤武美氏と相部文隆氏に謝意を表します。なお、本研究の一部は、文部省科学研究補助費によって行ったものである。
(1977年11月1日受理)

参 考 文 献

- 1) G. H. Wheatley and C. W. Caldwell Jr. : Rev. Sci. Instrum., 44 (1973) 744
- 2) F. Hoehman and D. F. Lynch : Vacuum, 22 (1972) 107
- 3) J. Wilander, H. H. W. Feijen, S. B. Luitjens and E. P. Th. M. Suurmeijer : J. Phys. E (Sci. Instrum.) 9 (1976) 814
- 4) F. Jona and H. R. Wendt : Rev. Sci. Instrum., 40 (1969) 1172
- 5) M. R. O'Neill and F. B. Dunning : Rev. Sci. Instrum., 45 (1974) 1611
- 6) 村木時計株式会社製
- 7) バネ技術研究会編：ばね (丸善, 改訂2版, 昭和45年) p 223

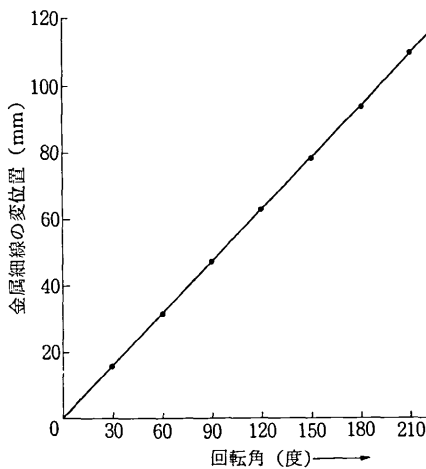


図5 θ 回転の角度の較正

