

# 水素終端シリコンと多価イオンの相互作用 (1)

山田研究室 0513055 澤田 智博

## 1、目的及び背景

多価イオンとは、電離の進んだ高価数のイオンのことで、大きなポテンシャルエネルギーを持つ。そのため固体表面と衝突すると、固体表面の電子状態やその幾何学的構造に変化をもたらす。そこで多価イオンと固体表面の相互作用の研究の一環として水素終端シリコンとの相互作用の研究を取り上げた。半導体の微細加工（ナノ加工）の応用へつながる可能性があると考え研究を行った。Si(111)の水素終端シリコンを作成し、多価イオンを当てる。その後活性化したナノ領域に、酸素を吸着させてシリコンナノ酸化膜を形成し、確認する事ことを目的とした。確認方法としてフーリエ赤外分光器(FT-IR :Fourier-Transform Infrared Spectroscopy)と低電子線回折(LEED :Low Energy Electron Diffraction)を用いた。

## 2、原理

### (i) 清浄表面

試料となる水素終端シリコンを作製するに当たって、まずシリコンの清浄表面を作製する必要がある清浄表面とは固体表面の不純物が 1%未満の表面のことを言う。Si(111)の清浄表面は  $7 \times 7$  構造を持っており、ダングリングボンド(不対電子軌道)を 19 個持っている。そのダングリングボンドを水素終端化し水素愁嘆シリコンを作るうえで長い間清浄表面を保つことが望ましい。吸着確率が 1 の時、露出量を計る単位をラングミュア $\text{-L}(1\text{L}=1.0 \times 10^{-6} \text{Torr} \times \text{s})$ といい、 $10^{-6} \text{Torr}$  で 1 秒間しか清浄表面を保つことができない。そのため、ロータリーポンプ、ターボ分子ポンプ、イオンゲッターポンプ、サブリメーションポンプを用い、 $120^\circ\text{C}$ で約 15 時間ベーキングを行い、 $10^{-10} \text{Torr}$  台の真空を引いた。

### (ii) 低電子線回折(LEED :Low Energy Electron Diffraction)

清浄表面、水素終端シリコンの確認法として LEED 装置を用いた。LEED は数 eV 数百 eV 程度の低エネルギー電子を物質の表面に入射させ、原子による回折を利用して表面の原子構造を観測する方法である。この低エネルギーの電子は、典型的な結晶における原子間隔と同程度の波長を持つため、入射電子は表面を構成する原子を回折格子とした回折像を作る。低エネルギー  $E[\text{eV}]$  のとき、波長  $\lambda [\text{\AA}]$  は次式になる。

$$\lambda = \sqrt{\frac{h^2}{2m_0eE}} = \sqrt{\frac{150.4}{E}} \quad (1)$$

試料と試料に最も近いグリッドはアースされ、それらの間には電場が存在しない。したが

って試料表面で散乱された電子はこの空間を直進する。このとき試料との回折条件を満たしていない電子は2、3枚目のグリッドは電子銃よりも数V程度高い電圧（阻止電圧）によりグリッドを通過できない。そして回折条件を満たした電子のみが蛍光スクリーンにかけられた数kVの正の電圧（加速電圧）により加速され、スクリーンに突入し蛍光スクリーンを光らせる構造となっている。

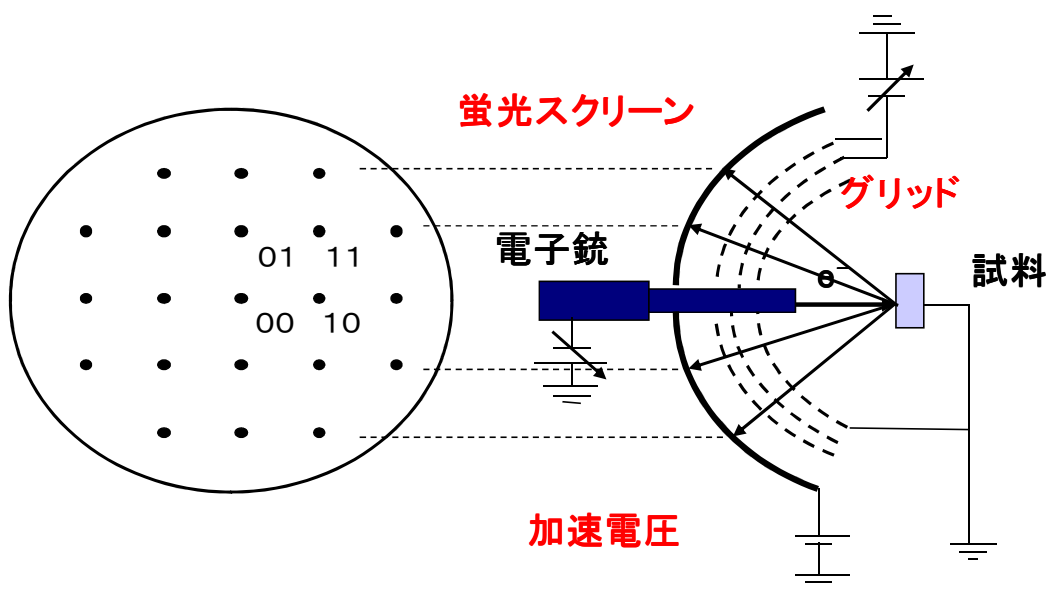


図1、LEED 概略図

次にその回折条件について説明する。LEEDの電子銃から波数ベクトル  $k_0$  の電子線が試料に垂直に入射する。そのとき弾性散乱した端数ベクトル  $k$  の電子線が出射される ( $|k_0| = |k|$ )。図2のように波数ベクトル  $k_0$  の始点から、出射された  $k$  を描き、これらを半径としたエワルド球を描く。さらに逆格子点から、逆格子ロッドを引き、エワルド球と逆格子ロッドとの交点となる回折電子群が蛍光スクリーンに投影される。

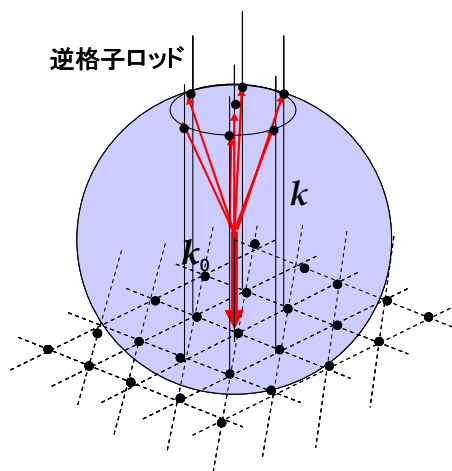


図2 エワルド球

(iii)水素終端シリコン

水素終端シリコンは清浄表面にタングステンの熱を用いて水素分子を原子化し吹き付けることでシリコンのダングリングボンドを水素終端化し作成する。水素終端シリコンは酸化されにくく空気中でも安定するので半導体技術なので使われている。

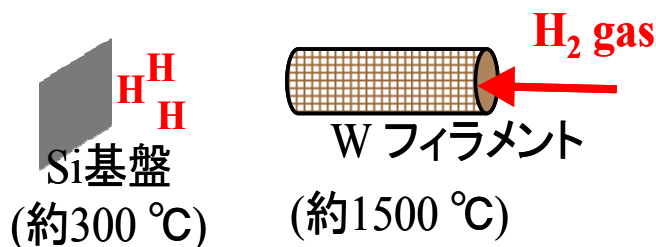


図 3、水素終端シリコン

3、実験方法

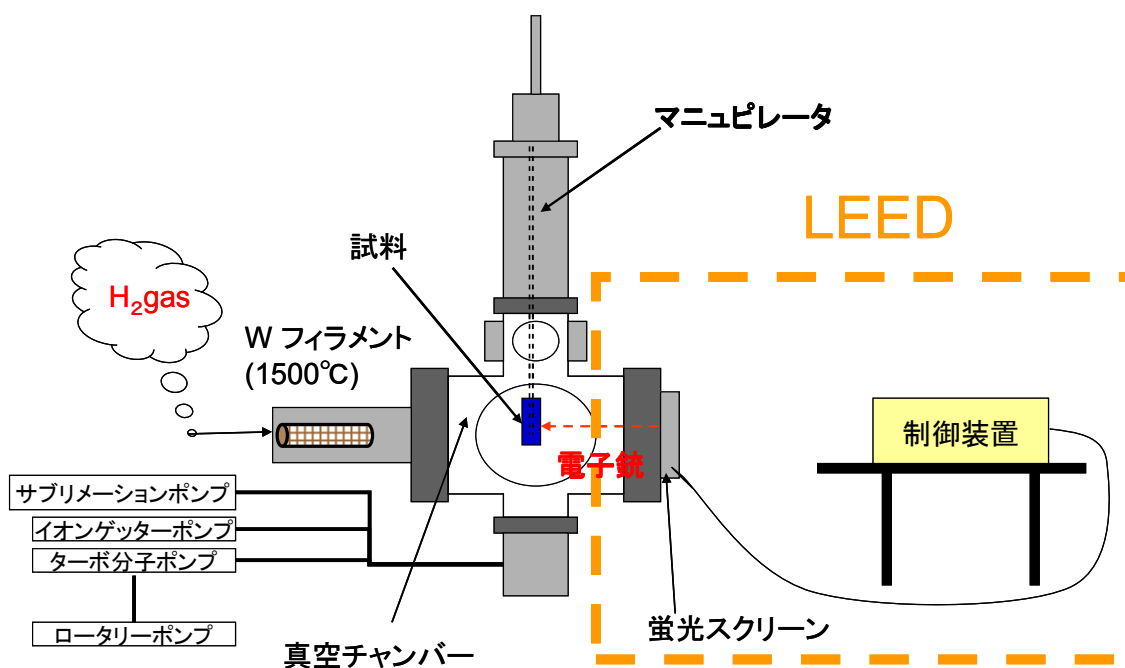


図 4 実験装置概略図

実験は以下の手順で行った。

- 1、真空チャンバーに試料を入れ、マニピレータで試料の向きを LEED の電子銃が当たる向き、方向に調整した。
- 2、4つのポンプで真空を引き、リボンヒーターでベーキングを行い  $10^{-10}$ Torr 台にした。
- 3、Si(111)に 1000 °C で通電加熱を行い 1 ~ 2 分保持し、950 °C に冷却してから、2 °C/

秒未満ずつ室温まで冷却し清浄表面を作った。それを LEED で確認した。

- 4、Si を 300°C に、水素を 1500°C に加熱して吹き付け、ダングリングボンドを水素終端化、その後 LEED で確認した。

#### 4、結果

99eV で確認したところ図 5 のような像となった。六角形を構成する強く光る点と、その間に白いつぶつぶの弱く光る点を確認できた。これは Si(111) の 7×7 構造である。白いつぶつぶの点は 7×7 構造上層部のダングリングボンドを持つ Si 原子である。強く光る白い点は 7×7 下層部の規則正しい配列をしたダングリングボンドを持たない Si 原子である。

次に水素終端化した後、100eV で確認したところ図 6 のような像となった。強く光る六角形を構成する点のみが残り 1×1-H 構造画が確認できた。これは清浄表面のダングリングボンドが水素終端化されたと考えられる。

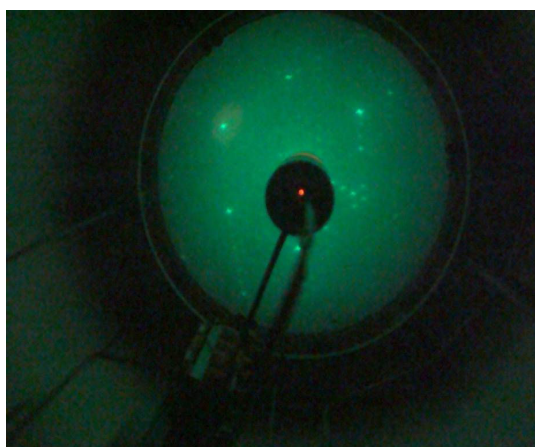


図 5 清浄表面 LEED 像

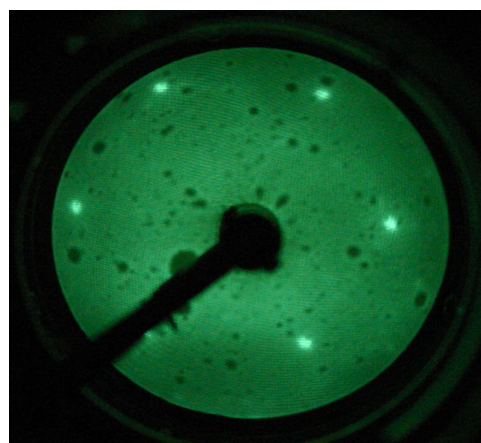


図 6 水素終端シリコン LEED 像

#### 5、まとめ

清浄表面、水素終端シリコンの LEED 像が確認できた。しかし本当に水素終端化されたかどうかを確認するために FT-IR での確認が必要だと考えられる。それを行った後、多価イオン照射実験を行いナノ酸化膜の形成を行いたい。