

卒研題目:多価イオン照射による固体表面の物性変化(2)シリコンナノ酸化膜

山田研究室 0413040 木村 朋史

1. 背景及び目的

多価イオンとは、電離の進んだ高価数イオンのことで、あらゆる粒子の中でも最も反応性に富む粒子である。ふつう地球上に存在しないが、実験室プラズマや天体の中には多数存在している。また、内部エネルギーが大変大きいため、固体表面に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及ぼす。多価イオン照射固体表面の物性変化を研究することで、それをナノテクノロジーなどの工業的応用が成されると考えられる。特に、トランジスタなど半導体に用いられているシリコン酸化膜に着目した。本研究では、最終的に安定化している水素終端シリコンに多価イオンを照射し、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作製しその表面をフーリエ赤外分光器(FT-IR : Fourier-transform infrared spectroscopy)、低速電子回折(LEED : Low Energy Electron Diffraction)で観測することを目的とする。

2. 原理

(i) 超高真空

表面に対する残留気体の衝突量を減らし、サンプル清浄表面を長時間にわたって維持するため、 10^{-10} Torr オーダーの超高真空を作り上げなくてはならない。本研究では、ロータリーポンプ、ターボ分子ポンプ、スパッタイオンポンプ、チタンゲッターポンプを用いた後、約 150°C で15時間ベーキングをすることで超高真空を得た。また、サンプル表面に原子を吸着させるためその原子を露出しなければならない。露出量を計る単位はラングミュアー:L($1\text{L}=1.0 \times 10^{-6}\text{Torr} \times 1\text{S}$)。1Lは、およそ表面原子全てを覆う分子数にあたる。

(ii) 真空チャンバー及び測定装置

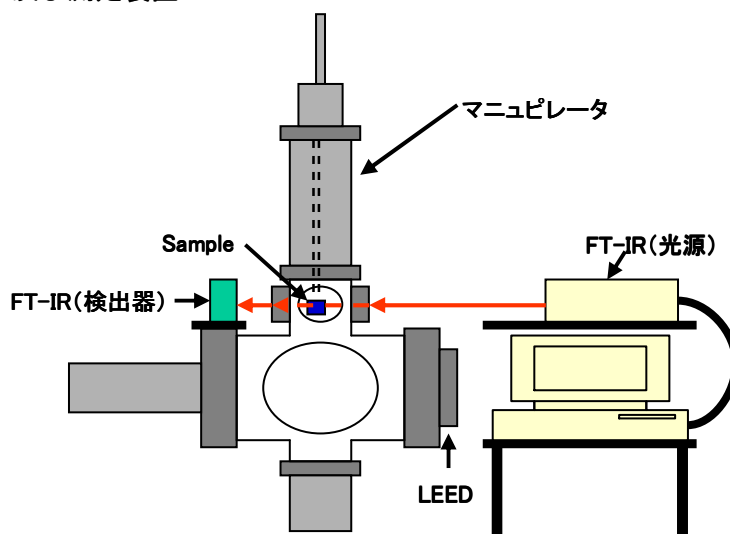


図1:真空チャンバー及び測定装置

(iii) 低速電子回折法: LEED (Low Energy Electron Diffraction)

LEED とは、Low Energy Electron Diffraction の略で低速電子回折法という。電子に数10～数100eV の加速電圧を与え、試料表面に垂直に入射して反射して出てきた電子のパターンを観察する仕組みになっている。また、加速電圧が E (eV) の時、電子の波長 λ (Å) は、

$$\lambda(\text{Å}) = \sqrt{\frac{150.4}{E(\text{eV})}}$$

のようにドブロイの関係式から与えられる。

図2は LEED の装置図である。図2から分かるように、蛍光スクリーンの前に4枚のグリッドがあり、1枚目と4枚目は接地されている。2枚目と3枚目のグリッドは加速電圧よりも数ボルト小さな阻止電圧をかけることにより、弾性散乱された電子(入射電子と等しいエネルギーを持つ電子)のみを最終的に数 kV に加速しスクリーンに入射させ、蛍光スクリーンを光らせる。

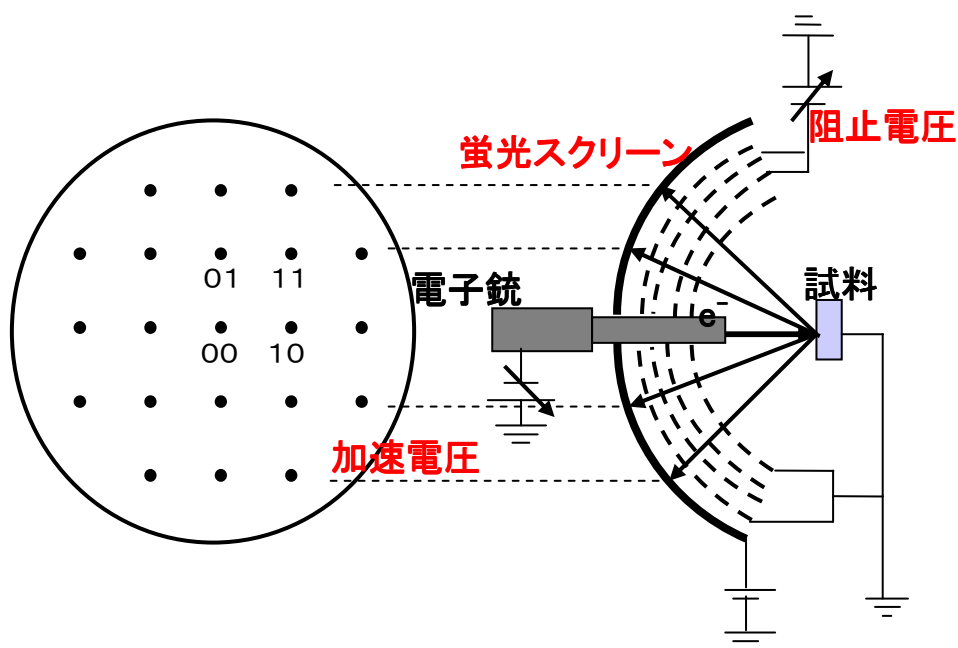


図2: LEED 測定装置

LEED は電子線が表面に対して垂直に入射する。ここで図3のように波数ベクトル k の始点を中心とした半径 $1/\lambda$ の球をエwald球という。このエwald球と逆格子ロッドといわれる逆格子面の表面に垂直に伸びる直線群との交点に向かいエwald球の中心から(入射波数ベクトルの始点)から各回折電子の波数ベクトルが出射する。このような回折電子群を球面型スクリーンに立面投影して観察する。

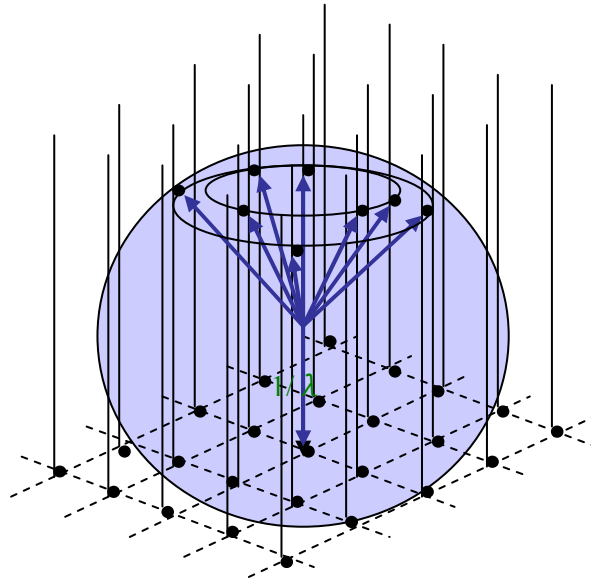


図3:エwald球と逆格子ロッド

(iv) 表面再構成 (Surface Reconstruction)

固体表面の原子配置は固体内部の原子配置とは異なる場合がある。これは表面の原子が固体内部の原子と同様の結合相手を有さないことに起因している。このため表面の原子はより安定な構造に変化する場合がある。これを表面再構成と呼ぶ。今回、本研究で用いた Si(100) 表面では最表面の Si 原子2個がペアを組んだダイマーが規則的に配列する構造へ変化する。このダイマーの並び方により様々な表面再構成構造をとることが知られている。例えば図4のような対称ダイマーや非対称ダイマーなどがある。

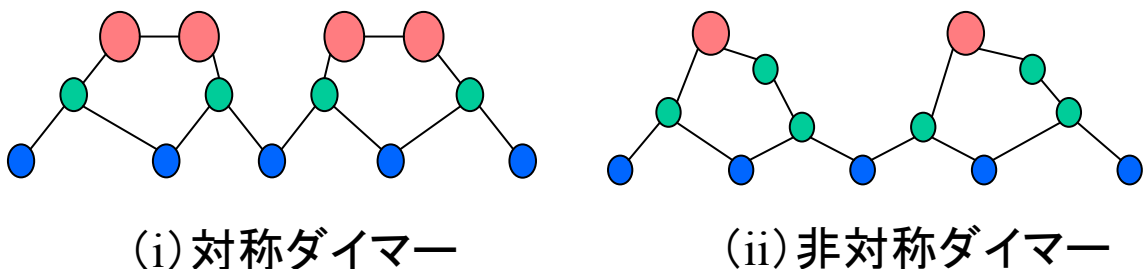


図4:表面再構成構造

3. 実験結果

まず、図5のように Si(100) 清浄表面の LEED 像を観察した。この LEED 像を与えた時の電子の加速電圧は122eV で、波長は1.11 Åであった。また、LEED 像から基本周期の4倍の周期をとっていることから4×2構造をとっていることが分かった。

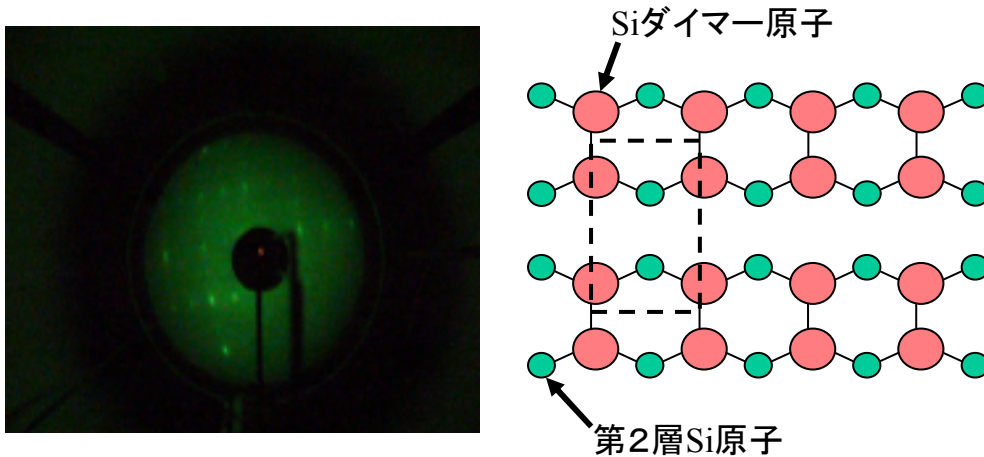


図5: Si(100)の LEED 像と4×2構造

続いて、図6のように水素終端 Si (100)表面の LEED 像を観察した。この LEED 像を与えた時の電子の加速電圧は136eV で、波長は1.05 Åであった。この LEED 像は清浄表面が4×2構造をしているのに対して、1×1構造をしていることからシリコン表面のダングリングボンドに水素原子が吸着していると考えられる。

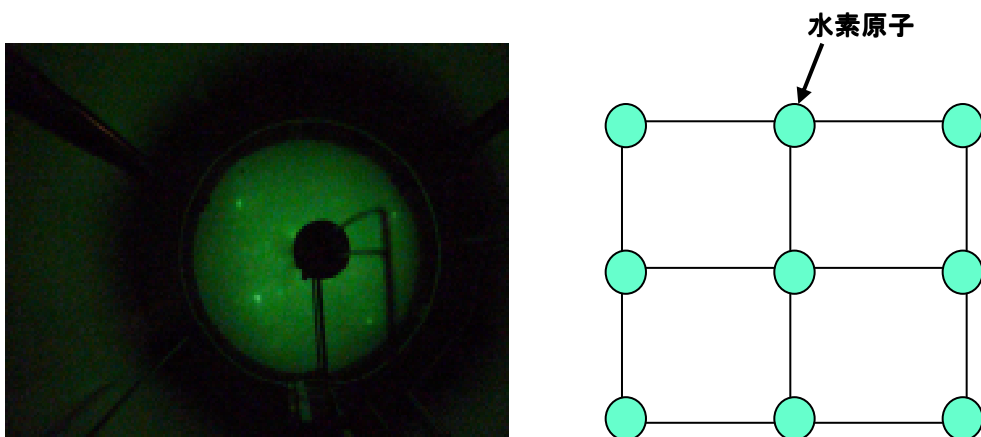


図6: 水素終端 Si(100)の LEED 像と1×1構造

4. まとめ

LEED (Low Energy Electron Diffraction)での Si(100) 清浄面、H 原子の吸着面が確認できた。

5. 今後の課題

シリコン酸化膜 (O on Si) の作製及び FT-IR 実験。LEED での観測。
以上の準備実験を終え、シリコン上の酸化膜の作製及び、その FT-IR 実験、LEED での観測実験に進んでいきたい。