

問題17：砂から半導体へ

化学は生命を与え、生活も豊かにする。何千年もの間、人類は砂を有効利用してきた。ガラスは砂から作られた。レンズはガラスから作られ、望遠鏡、顕微鏡、眼鏡や、化学実験のガラス器具を作るのに使われた。

最近になって、砂は半導体の出発原料になった。地球の地殻中に最も豊富な元素の一つがシリコンであり、Si-O結合を有する化合物の中に見つかる。シリカ(SiO₂)は地表に豊富に存在する。

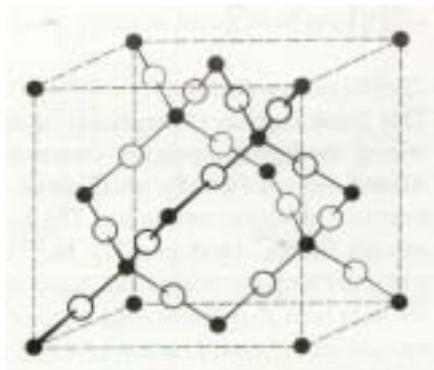
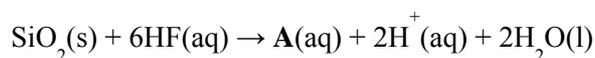


図 17-1. β-クリストバライト（シリカの構造の一つ）

17-1. いくつのSiおよびO原子が、β-クリストバライトの単位格子中に存在するか？

17-2. この構造でのSiの混成軌道を示唆し、O-Si-Oの結合角を推測しなさい。

SiO₂はとても不活性だが、HFとは反応する。HFとの反応は、ガラスをエッチング（腐食）したり、半導体製造に用いられる。



17-3. Aの分子構造を書きなさい

シリコンは、電気炉でシリカとコークス（炭素の一つの形態）を3000 °Cに加熱することで得られる。

17-4. SiO₂と炭素の反応式（反応の*均衡式*）を書きなさい。この際、ルイス構造が形式電荷を示す、1種類のガスのみが生成すると仮定しなさい。なお、ルイス構造で表記した場合、形式電荷を有するガスが1種類発生すると仮定しなさい。

17-5. 上の反応で生成するガス分子の分子軌道を描きなさい。

超高純度シリコンを得るために、未精製シリコンは、Cl₂との反応で“B”に、もしくはHClとの反応で“C”にする。

17-6. SiとCl₂の反応式（反応の*均衡式*）を書きなさい。

17-7. “B”の分子構造を予測しなさい。

17-8. 次の反応(1)で得られる生成物“C”は、極性が非極性か？Cの三次元構造を描き、双極子モーメントを持つ場合は、その方向を描きなさい。



(1)の逆反応は1000 °Cで自然に起き、超高純度のシリコンが析出する。このシリコンの最後の精製は、ゾーン精製法と呼ばれる融解プロセスにより行われる。このプロセスは、不純物は固相よりも液相により溶解しやすい(図17-2)という事実に基づいている。ゾーン精製の手順は、望ましい純度(不純物濃度0.1 ppb以下)が得られるまで繰り返すことができる。

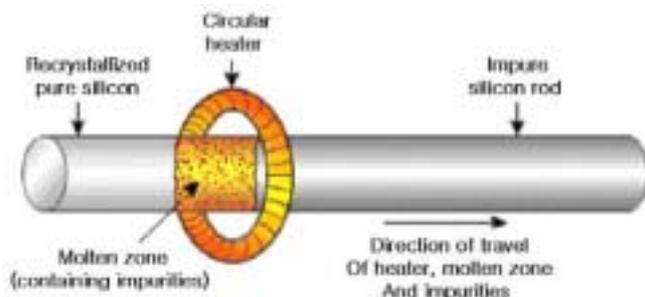


図 17-2 シリコンのゾーン精製



17-9. 不純物濃度が0.1 ppbの時、シリコンウェハ1 gあたり、いくつのシリコン原子が不純物原子に置換されているか？

全ての半導体と同様、高純度のシリコンは最低限の電圧が印加されないと電流を流さないが、その電圧以上では中程度に良く電流を流す。シリコンの半導体特性は、ドーピングにより大きく向上することができる。ドーピングとは、異なる元素を微量添加する事である。

17-10. 固体シリコン中のシリコン原子を少数のホウ素原子が置換すると、電荷キャリア(担体)は何になるか？この種のドーブされた半導体を何と呼ぶか？

17-11. ホウ素原子で一部のシリコン原子を置換した際の導電性の向上を説明できる、バンド構造を描きなさい。その中に、ドーブ後の禁制帯(バンドギャップ)変化を示しなさい。