

水素プラズマ反応によるシリケート粒子の表面変質

Surface alteration of silicate particle exposed to hydrogen plasma

木村 誠二 [1]

Seiji Kimura[1]

[1] 電通大

[1] University of Electro-Communications

進化した星や若い星の周囲ではアモルファスシリケートに加えて結晶質シリケートの赤外スペクトルが観測されているが、星間空間ではアモルファスシリケートによるブロードなピークが観測されている。その原因として塵がいろいろな環境を経験する間にショックウェーブや電離ガスなどにさらされて変成、分解あるいは蒸発したことによると考えられている。ショックウェーブでの変成に相当した高エネルギーのイオン照射の実験では、物理スパッタリングのために結晶質シリケートが非晶質化すると報告されている。我々は電離ガスによってシリケート粒子がそのように変質するかを調べるために、低エネルギーの水素プラズマとシリケート粉末を反応させる実験をおこなった。

シリケート粉末と水素プラズマとの反応は、粉末を乗せた石英ボートを放電管にセットし、真空排気後に水素ガスを流し、その後2.45GHzのマイクロ波によって水素プラズマを発生させておこなった。水素プラズマの条件は電子エネルギーが約10eV、処理中のサンプル温度は600~800K、ガス密度は約10Torrであり、プラズマ中には水素分子や原子およびそのイオンと電子が存在していると考えられる。使用した結晶質シリケートとして鉄を含んでいる天然オリビン粉末を用いた。オリビン粉末を水素プラズマに曝すことにより、その色は白から灰色に変化した。透過型電子顕微鏡観察をおこなった結果、未処理の粒子表面は角張った形状をしていたが、プラズマ処理後は丸い形状に変化し、その表面にはナノサイズの粒子が生成していた。そのESRスペクトルにはg値が2.07である強いシグナルが検出された。そのような強いシグナルおよびg値はレーザーパルス照射した鉄を含むシリケートに現れ、そのシグナルは鉄の微粒子によるピークだと報告されている。一方で、鉄を含んでいないシリケートに水素プラズマ処理した粉末やArプラズマ処理したシリケートではESRシグナルは検出できなかった。したがって、我々のESR測定の結果は水素プラズマによってシリケートに含まれている鉄イオンが還元されてナノサイズの鉄粒子が生成したことを示唆している。そのようなサンプルの反射スペクトルは可視領域において反射率の減少が見られたが、これは還元で生じた鉄粒子あるいは粉末の表面状態が変化したことによる物理的な散乱現象の違いによると考えられる。結晶質シリケートを同等の温度で通常の加熱処理を施しても粉末に変化は起こらず、Arプラズマ処理によっても粒子に変化は見られなかった。シリケート粉末の変質は水素プラズマ処理で顕著に見られた現象である。

類似の実験としてspace weatheringに関係した研究がいくつかのグループによって行われてきた。オリビンに水素イオンを照射すると鉄イオンの還元は起こるが反射スペクトルの変化は見られず、また紫外線照射だけでは反射スペクトルは変化するが鉄は生成せずに表面構造の変化によって反射率が減少すると報告されている。水素プラズマを使った我々の結果はそれらと比較して表面の変化が大きい傾向にある。水素プラズマ処理中には、粒子表面には水素原子・分子や電子、マイクロ波および紫外線が影響していると考えられる。そのような条件に曝されると、熱的效果による非晶質構造の結晶化や、活性化エネルギーの低下などの非熱的效果のような反応を促進させる効果がもたらされることが知られている。またプラズマ処理中に水素イオンの衝撃などによってシリケート中に欠陥が生じれば、その処理中は常に紫外線照射により電子が生成しているために、それが反応を促進させている可能性がある。そのような相乗効果により、水素プラズマはシリケート粒子の表面構造や化学結合の変質を効果的に促進させていると考えられる。