高純度α-石英のγ線照射による欠陥形成

γ-ray induced defect formation in high-purity α-quartz

梶原　浩一[1)]

Koichi KAJIHARA

1）首都大学東京　都市環境学部　分子応用化学コース

不純物をほとんど含まない高純度α-石英に高線量の ^{60}Co γ線を照射し、その真性欠陥過程を調べた。Si-Si 結合が照射線量とともに増加すること、金属不純物由来の光吸収帯がほとんど生じないことから、Si-O-Si 結合から O がはずれる Frenkel 機構が主な欠陥形成過程であること、この過程が、粒子照射によらない電子励起によって、Si-O-Si 結合に歪がなく、かつ不純物をほとんど含まない高純度α-石英でも進行することが実証された。Si-Si 結合形成の照射線量依存性から、形成されやすいが飽和する Si-Si 結合と、形成されにくいが飽和しない Si-Si 結合とが確認され、前者が不純物由来、後者が真性過程によるものであると推察された。

キーワード：高純度α-石英,真性欠陥過程

１．目的

赤外域から深紫外域にわたる広い透明領域を有し、化学的に安定で、かつ大きな結晶が容易に入手できる典型元素の結晶性酸化物であるα-石英は、酸化物での照射欠陥形成を調べるうえで重要なモデル物質である。また、α-石英と同じ組成をもつ重要な非晶質光学材料であるアモルファスシリカ(シリカガラス)と欠陥生成の挙動を比較することで、構造のランダムネス(Si-O-Si 結合角の分布)の有無が欠陥過程に及ぼす影響という、結晶と非晶質の真性欠陥過程の違いに関する本質的な知見が得られると期待される。しかし、従来のα-石英は天然石英を原料とするため、Al や Na などの金属不純物を含んでおり、不純物によらない欠陥形成を調べることが困難であった。今回の実験では、近年開発された、精製したシリカを原料とするため金属不純物をほとんど含まない高純度α-石英を用い、不純物に妨害されずに真性欠陥過程を調べることを目的とした。

２．方法

両面光学研磨した高純度α-石英に 6 通りの異なった線量で ^{60}Co γ線照射を行った。照射後、試料の可視・紫外・真空紫外光吸収測定を行った。また、赤外発光測定によって Frenkel 過程によって生成する可能性のある格子間酸素分子の有無を調べた。

３．結果及び考察

通常、α-石英は天然石英を原料として合成され、Al や Na などの金属不純物を含んでいるため、照射によって可視紫外吸収を生じて着色するが、高純度α-石英は、^{60}Co γ線照射後も無色であった。光吸収測定によって、Si-O-Si 結合から O がはずれて形成される Si-Si 結合に帰属される 7.6eV 光吸収帯が生じ、その強度が照射線量とともに増大すること、これ以外の光吸収はほとんど生じないことが確認された。この結果より、Si-Si 結合の形成が不純物の関与しない真性過程であること、この過程(Frenkel 過程)は Si-O-Si 結合にひずみのないα-石英でも進行することが明確に示された。一方で、格子間 O_2 の形成を伴って Si-Si 結合を生じる非晶質 SiO_2[1-3]とは異なり、格子間酸素分子(O_2)の生成は確認できなかった。しかし、熱処理を行うと Si-Si 結合が消滅することから、Frenkel 過程によって生じた O は O_2 を生成せずに過剰酸素としてα-石英中に存在していることが示唆された。Si-Si 結合の線量依存性から、高純度α-石英中の Si-Si 結合には形成されやすいが飽和する成分と形成されにくいが飽和しない成分とが存在することが確認され、前者が不純物由来、後者が真性欠陥過程によるものであると推察された。前者の成分を低減することで、α-石英の照射耐性をさらに向上できる可能性がある。

４．引用(参照)文献等

[1] K. Kajihara, M. Hirano, L. Skuja, H. Hosono, Chem. Lett. 36,266(2007)
[2] K. Kajihara, M. Hirano, L. Skuja, H. Hosono, Phys. Rev. B 78,094201(2008)
[3] K. Kajihara, M. Hirano, L. Skuja, H. Hosono, Mater. Sci. Eng. B 161,96(2009)