

## CLによる石英中の放射性損傷の評価

## Evaluation of radiation-damaged halo in quartz by cathodoluminescence

# 奥村 輔 [1]; 西戸 裕嗣 [2]; 豊田 新 [3]; 小室 光世 [4]; 蜷川 清隆 [5]

# Tasuku Okumura[1]; Hirotsugu Nishido[2]; Shin Toyoda[3]; Kosei Komuro[4]; Kiyotaka Ninagawa[5]

[1] 岡山理大・自然研; [2] 岡山理大自然研; [3] 岡山理大・理・応物; [4] 筑波大・生命環境; [5] 岡山理大

[1] Res. Inst. Nat. Sci., Okayama Univ. Sci.; [2] Res. Inst. Nat. Sci., Okayama Univ. Sci.; [3] Dept. Appl. Phys., Okayama Univ. Sci.; [4] Life Environment. Sci., Univ. Tsukuba; [5] Applied Phys. Okayama Univ. of Science

ウランやトリウムなどの放射線核種を含む鉱物（例えばジルコン、モナザイトなど）と接する石英には、カソードルミネッセンス（CL）により放射線損傷を視認化できる（Owen, 1988）。これは、一般にCLハロ（CL halo）と呼ばれている。本研究では、高感度・高分解能でCLを検出できるSEM-CLを用いて、 $\text{He}^+$ イオンを照射し生じた天然石英中の放射線損傷を定量的に評価した。

CL測定に供した試料は、ブラジル Minas Geraes 産単結晶石英である。 $\text{He}^+$ イオン照射は、日本原子力研究所高崎研究所内のタンデム加速器を用いて行った。 $^{238}\text{U}$ 核種による線を模擬した4 MeVの $\text{He}$ イオンを照射した。ビーム条件は、 $4\text{ cm}^2$ あたり4 MeV、 $0.3\ \mu\text{A}$ 、 $1.87 \times 10^{-12}\ \text{ions/s}$ である。 $\text{He}$ イオン照射量は、 $1.772 \times 10^{-5}\ \text{C/cm}^2$ から $3.544 \times 10^{-4}\ \text{C/cm}^2$ とした。

CL測定は、走査型電子顕微鏡（JEOL: JSM-5410）に回折格子型分光器（OXFORD: MonoCL2）を組み込んだSEM-CL装置によった。SEM-CL像観察ならびにCLライン分析は、加速電圧15 kV、照射電流1.0 nAの条件でスキャンモードにより行った。また、CLスペクトル測定は、照射電流2.0 nAの条件で光電子増倍管によるフォトンカウンティングにより得た。顕微ラマン測定にはThermoelectron社製 Nicolet Almegaを用い、Nd:YAGレーザー（波長532 nm）を励起光とした。ラマンスペクトルの二次元画像解析には、Atlusを使用した。

照射断面のSEM-CL像観察により、試料からCLハロが見出された。ハロの幅は、 $\text{He}$ イオン照射量の違いにかかわらず約14  $\mu\text{m}$ と一定である。ハロの断面をSEM-CLにより線分析した結果、CL強度は照射表面から内部に向かって指数関数的に増加し、約14  $\mu\text{m}$ の深さで最大となった。この強度変化は、粒子の電離阻止能（イオン化に伴うエネルギー損失量）を表すブラッグの曲線により近似される。これは、石英に対する粒子の飛程（到達距離）が約14  $\mu\text{m}$ であることを示しており、Owen（1988）により求められた $^{238}\text{U}$ の壊変による粒子の理論的な飛程とよく一致する。また、Komuro et al.（2002）は合成石英に対して同様の照射条件で生成させたCLハロをルミノスコープにより確認しており、その結果ともよく一致する。

CLスペクトル測定において、CLハロ部分ならびにバルク石英から青色領域の390nm付近と赤色領域の650nm付近にブロードなバンドスペクトルを得た。しかしながら、ハロ部分はバルク石英に比べ390 nm付近の青色領域におけるCL発光の増加がみられた。したがって、粒子によるCLハロは、青色領域に発光中心を有する構造欠陥に起因していると推察される。

一方、ラマン分光法を用いたハロ部分とバルク石英の比較から、ハロ部分では石英に特徴的なSi-O-Si伸縮振動のラマンピーク強度の低下とピーク幅の増大が明らかとなった。これは、ハロ部分に構造破壊が生じていることを示しており、青色CL発光はこの構造破壊に伴って生成した欠陥中心に起因していると推察された。

また、線分析結果を基にCL発光強度と $\text{He}^+$ イオン照射量との関係を求めた。CL発光は、照射量の増加とともに増大することを確認した。この相関から、石英のCLハロを線量計（地質線量計）として利用できることが示唆された。SEM-CLは10数 $\mu\text{m}$ のCLハロを定量的に評価できることから、年間線量率を見積もることが可能ならば、CLによる新たな微小年代測定への応用が可能である。

## 参考文献：

[1] Owen, M.R. (1988) Radiation-damage halos in quartz. *Geology*, 16, 529-532.

[2] Komuro, K., Horikawa, Y. and Toyoda, S. (2002) Development of radiation-damage halos in low-quartz: cathodoluminescence measurement after  $\text{He}^+$  ion implantation. *Mineral. Petrol.*, 76, 261-266.