

بررسی مورفوسکوپی بلورهای زیرکن در میکروگابروهای جنوب سلماس با استفاده از تصاویر کاتدولومینسانس

منیژه اسدپور

دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی

m.asadpour@urmia.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، مورفوسکوپی بلورهای زیرکن موجود در میکروگابروهای منطقه جنوب سلماس در شمال غرب دریاچه ارومیه با استفاده از مطالعات سنگ‌نگاری، بررسی‌های کانی‌شناسی و تصاویر کاتدولومینسانس (CL) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از بخش‌های سالم و غیرهوازده انجام شد و پس از جداسازی زیرکن‌ها، ریخت بلوری و ساختارهای داخلی آن‌ها به‌طور دقیق مطالعه شد. نتایج تصاویر CL نشان‌دهنده حضور جمعیت‌های متنوعی از زیرکن‌ها با منشأ ماگمایی، دگرگونی و وراثتی است. بر اساس طبقه‌بندی مورفوسکوپی Pupin، زیرکن‌ها در محدوده تیپ‌های S، L و G، به‌همراه دانه‌هایی خارج از نمودار پوپین قرار می‌گیرند. زیرکن‌های منشوری کشیده و کوتاه با روشنایی یکنواخت و زون‌بندی ضعیف عمدتاً به‌عنوان زیرکن‌های ماگمایی اولیه تفسیر می‌شوند، در حالی که زیرکن‌های نیمه‌گرد تا گرد با زون‌بندی نوسانی و ساختار هسته-حاشیه، به زیرکن‌های وراثتی و دگرگون‌شده نسبت داده می‌شوند. همچنین برای هر دانه زیرکن، شماتیک ریخت‌شناسی بر اساس تصاویر CL تهیه شد که امکان تطبیق دقیق‌تر ویژگی‌های مورفوسکوپی با سیستم پوپین را فراهم نمود. نتایج این مطالعه بیانگر تاریخچه پیچیده ماگمایی-تکتونیکی میکروگابروهای جنوب سلماس و نقش مورفوسکوپی زیرکن در بازسازی شرایط تبلور و تحول سنگ میزبان است.

کلیدواژه‌ها: زیرکن، کاتدولومینسانس، تقسیم بندی پوپین، مورفوسکوپی دانه،

Morphoscopic Study of zircon crystals in the mmicrogabbros of south Salmas using cathodoluminescence imaging

Manijeh Asadpour

Urmia University, Faculty of Sciences, Department of Geology

Abstract

In this study, the morphoscopy of zircon crystals from the Khannik microgabbros, located in the northwestern part of Lake Urmia, was investigated using petrographic and mineralogical analyses together with cathodoluminescence (CL) imaging. Sampling was carried out on fresh and unweathered rocks, and after zircon separation, crystal morphology and internal structures were examined in detail. CL images reveal the presence of multiple zircon populations with magmatic, metamorphic, and inherited origins. Based on the morphoscopic classification of Pupin, the studied zircons fall within the S-, L-, and G-type fields, as well as grains plotting outside the Pupin typology. Elongated and short prismatic zircons with homogeneous CL brightness and weak zoning are mainly interpreted as primary magmatic zircons, whereas subrounded to rounded grains displaying oscillatory zoning and core-rim structures are attributed to inherited and metamorphosed zircons. In addition, schematic morphologic representations were constructed for each zircon grain based on CL observations, allowing a more precise correlation between crystal morphology and the Pupin classification scheme. The results highlight the complex magmatic-tectonic history of the Khannik microgabbros and emphasize the significance of zircon morphoscopy in reconstructing crystallization conditions and the evolutionary history of the host rocks

Keywords: Zirco, Cathodoluminescence, Crystal morphology

۱- مقدمه

زیرکن ($ZrSiO_4$) یکی از فراوان‌ترین کانی‌های فرعی در سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی است که به دلیل پایداری شیمیایی و فیزیکی بالا، توانایی حفظ اطلاعات مربوط به شرایط تبلور و تحولات پساتبلوری را دارد. ریخت‌شناسی بلورهای زیرکن، به‌ویژه مورفولوژی خارجی و ساختارهای درونی آن‌ها، بازتابی از شرایط فیزیکی-شیمیایی محیط تبلور، ترکیب ماگما و فرآیندهای دگرگونی و تکتونیکی بعدی است (Pupin, 1980, Hoskin and Schaltegger, 2003).

مطالعات مورفوسکوپی زیرکن‌ها نشان داده است که شکل بلورها می‌تواند به‌عنوان شاخصی ترمومتریک و ژنتیکی برای تفسیر محیط تبلور مورد استفاده قرار گیرد. سیستم طبقه‌بندی ریخت‌شناسی (Pupin (1980) با معرفی تیپ‌های مختلف بلوری و شاخص A (اندیس آلکالینیت)، امکان تفسیر شرایط دمایی و شیمیایی ماگما را بر اساس شکل زیرکن‌ها فراهم کرده است. علاوه بر این، تصاویر کاتدولومینسانس (CL) ابزار مؤثری برای شناسایی نواربندی داخلی، هسته‌های موروثی و مراحل مختلف رشد بلور محسوب می‌شوند (Vavra, 1990). یکی از روش‌های مؤثر در بررسی شرایط تبلور و تاریخچه ژنتیکی زیرکن‌ها، مطالعه مورفوسکوپی بلورها و تحلیل ریخت‌شناسی آن‌ها است. ریخت بلوری زیرکن تابعی از عوامل متعددی از جمله دما، ترکیب شیمیایی ماگما، میزان اشباع زیرکن و نرخ رشد بلور می‌باشد و می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد محیط تبلور فراهم آورد. در این میان، سیستم طبقه‌بندی مورفوسکوپی (Pupin (1980) به‌عنوان یکی از پرکاربردترین چارچوب‌های ترمومتریک-ژنتیکی زیرکن، امکان تفکیک زیرکن‌های ماگمایی، دگرگونی و وراثتی و همچنین برآورد نسبی شرایط دمایی تبلور را فراهم می‌سازد. با وجود اهمیت این روش، مطالعات مورفوسکوپی زیرکن در سنگ‌های مافیک به‌ویژه میکروگابروهای شمال غرب دریاچه ارومیه محدود بوده است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش بررسی مورفوسکوپی بلورهای زیرکن در میکروگابروهای جنوب سلماس بر اساس تصاویر کاتدولومینسانس و سیستم (Pupin (1980) و تفسیر پیامدهای ماگمایی-تکتونیکی آن‌ها می‌باشد.

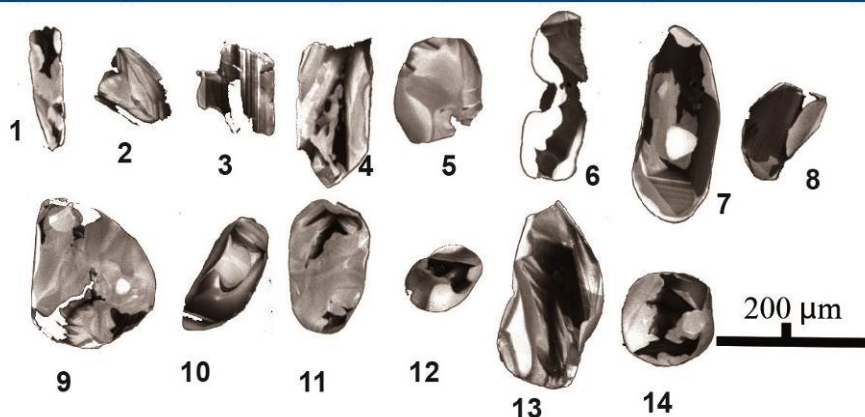
۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی دانه‌های زیرکن انجام شده است. نمونه‌برداری از نمونه‌های سالم و غیرهوازدده صورت گرفت تا تغییرات کانی‌شناسی واقعی سنگ‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در مجموع، ۱۵ نمونه از میکروگابروهای جنوب سلماس برداشت شد. پس از تهیه مقاطع نازک، مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان انجام گرفت.

به‌منظور بررسی مورفوسکوپی و ساختارهای درونی زیرکن‌ها، دانه‌های زیرکن از سنگ میزبان جدا شده و ۱۴ دانه منتخب بر اساس تنوع ریخت‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفتند. این دانه‌ها با استفاده از تصاویر کاتدولومینسانس (CL) بررسی و تصویربرداری شدند. طبقه‌بندی ریخت‌شناسی زیرکن‌ها بر اساس سیستم ترمومتریک (Pupin (1980) انجام شد. و شاخص A (اندیس آلکالینیت) برای تفسیر شرایط تبلور اولیه مورد استفاده قرار گرفت.

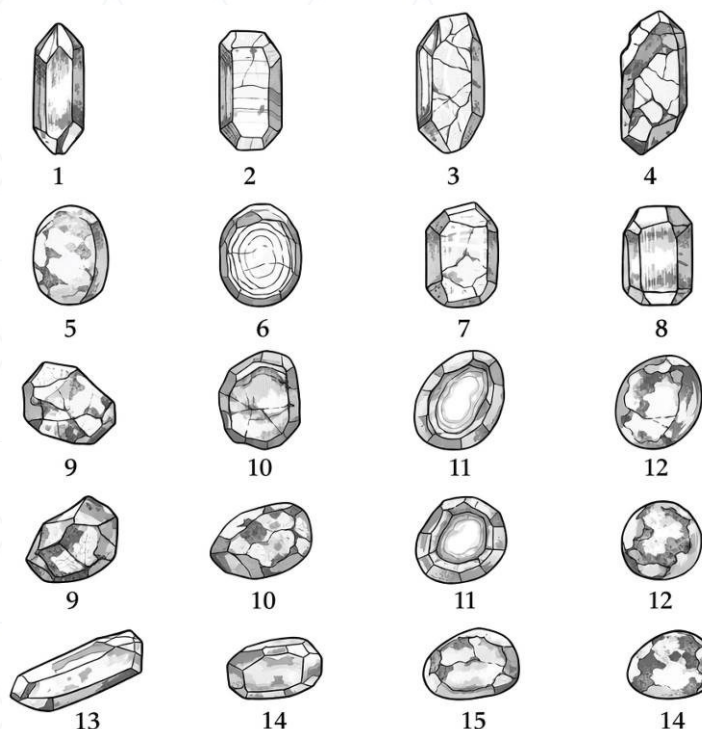
۳- بحث

بررسی مورفوسکوپی بلورهای زیرکن در میکروگابروهای جنوب سلماس، بر پایه تصاویر کاتدولومینسانس (CL) و طبقه‌بندی ریخت‌شناسی (Pupin (1980)، نشان‌دهنده حضور همزمان چندین جمعیت ژنتیکی از زیرکن‌ها با منشأ ماگمایی، دگرگونی و وراثتی است. تنوع ریختی و ساختاری مشاهده‌شده در ۱۴ دانه زیرکن مورد مطالعه، از منشوری نسبتاً شکل‌دار تا گرد و کاملاً بی‌شکل، بازتابی از تاریخچه پیچیده ماگمایی-تکتونیکی سنگ میزبان و برهم‌کنش ماگمای مافیک با سنگ‌های قدیمی‌تر پی‌سنگ در طی جایگیری میکروگابروها می‌باشد.



شکل ۱: تصاویر کاتدولومینسانس از زیرکن های گابروهای مورد مطالعه.

به منظور نمایش و مقایسه دقیق ویژگی‌های مورفوسکوپی، طرحواره‌های شماتیک ریخت‌شناسی بلورهای زیرکن (شکل ۲) بر اساس تصاویر CL تهیه شد. این طرحواره‌ها ویژگی‌های نسبی شامل نسبت طول به عرض بلور، میزان توسعه یا تخریب وجوه بلوری، گردشگری، حضور ساختار هسته-حاشیه و الگوی زون‌بندی داخلی را نشان می‌دهند. هر طرحواره متناظر با یک دانه زیرکن شماره‌گذاری شده در تصاویر CL بوده و طبقه‌بندی مورفوسکوپی آن‌ها بر اساس سیستم Pupin (1980) انجام شده است. لازم به تأکید است که این طرحواره‌ها بازسازی هندسه واقعی بلورها نیستند، بلکه نمایش شماتیک ویژگی‌های شاخص ریخت‌شناسی با هدف تفسیر ژنتیکی زیرکن‌ها می‌باشند.



شکل ۲: طرحواره‌های شماتیک ریخت‌شناسی بلورهای زیرکن انتخابی از میکروگابروهای جنوب سلماس

مطابق با طبقه‌بندی Pupin (1980) (جدول ۱)، ریخت بلوری زیرکن‌ها تابعی از شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما، به‌ویژه دما، ترکیب شیمیایی و نرخ رشد بلور است. در نمونه‌های مورد مطالعه، بخش قابل توجهی از زیرکن‌ها (مانند دانه‌های ۱، ۳ و ۱۳)

دارای ریخت منشوری کشیده با نسبت طول به عرض بالا و سطوح نسبتاً سالم بوده و در محدوده تیپ S-type قرار می‌گیرند. این تیپ ریختی معمولاً با تبلور در دماهای بالا و ماگماهای مافیک تا حدواسط مرتبط دانسته می‌شود (Pupin, 1980; Corfu et al., 2003) و حضور آن‌ها مؤید تبلور مستقیم زیرکن‌های ماگمایی اولیه همزمان با تکوین میکروگابروهای منطقه است. در مقابل، زیرکن‌های با ریخت منشوری کوتاه‌تر و ضخیم‌تر (مانند دانه‌های ۲، ۴ و ۸) در محدوده L-type قرار می‌گیرند که بیانگر شرایط دمایی متوسط تا نسبتاً بالا و کاهش نرخ رشد ترجیحی در امتداد محور c می‌باشد. این ویژگی‌ها می‌تواند ناشی از تغییرات موضعی در ترکیب ماگما، میزان اشباع زیرکن یا نوسانات جزئی در شرایط تبلور در طی سرد شدن ماگمای مافیک باشد (Pupin, 1980; Hoskin & Schaltegger, 2003).

بخش قابل توجهی از زیرکن‌های بررسی‌شده (مانند دانه‌های ۵، ۹، ۱۲ و ۱۴) دارای ریخت نیمه‌گرد تا کاملاً بی‌شکل (anhedral) بوده و در چارچوب کلاسیک نمودار Pupin به‌عنوان خارج از تیپ (out of typology) طبقه‌بندی می‌شوند. این زیرکن‌ها اغلب دارای زون‌بندی نوسانی، مرزهای فرسایش‌یافته و ساختارهای داخلی پیچیده در تصاویر CL هستند. چنین ویژگی‌هایی معمولاً به زیرکن‌های وراثتی نسبت داده می‌شود که پیش از جایگیری ماگمای مافیک، در سنگ‌های قدیمی‌تر پی‌سنگ یا سنگ‌های مسیر تبلور یافته‌اند و در طی تزریق ماگمای میکروگابرویی مجدداً وارد سیستم ماگمایی شده‌اند (Watson et al., 2006; Corfu et al., 2003). et al., 2006; Corfu et al., 2003). رشد مجدد ناقص دانست؛ فرآیندی که در آن، بلور زیرکن به‌طور کامل ذوب نمی‌شود، اما لبه‌های بلوری آن دچار فرسایش و از بین رفتن وجوه بلوری اولیه می‌گردد (Hoskin, 2000). این تفسیر با گستره سنی وسیع زیرکن‌های وراثتی (حدود ۳۷۰ تا ۵۴۱ میلیون سال) گزارش‌شده در مطالعات سن‌سنجی U-Pb (اسدپور و همکاران، ۱۳۹۲) سازگاری دارد.

در سیستم Pupin (1980)، علاوه بر شاخص دمایی (T)، اندیس آلکالینیته (A) نیز نقش مهمی در کنترل ریخت بلوری زیرکن‌ها ایفا می‌کند. توزیع زیرکن‌های مورد مطالعه در محدوده تیپ‌های S و L نشان می‌دهد که ماگمای مولد میکروگابروهای جنوب سلماس عمدتاً دارای گرایش کم‌قلیایی تا قلیایی متوسط بوده است. غلبه تیپ‌های منشوری کشیده (S-type) بیانگر شرایط ماگمایی با آلکالینیته پایین‌تر و دمای بالاتر است، در حالی که حضور تیپ‌های منشوری کوتاه‌تر (L-type) می‌تواند نشان‌دهنده افزایش نسبی آلکالینیته یا تغییرات موضعی در ترکیب ماگما در طی تبلور باشد. زیرکن‌های تیپ G و دانه‌های خارج از نمودار Pupin نیز احتمالاً بازتاب شرایط دگرگونی یا برهم‌کنش ماگمای مافیک با سنگ‌های غنی‌تر از عناصر قلیایی در سنگ‌های مسیر و پی‌سنگ هستند.

زیرکن‌هایی با ریخت نیمه‌گرد، ساختار هسته-حاشیه و زون‌بندی نسبتاً منظم (مانند دانه‌های ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱) در محدوده G-type قرار می‌گیرند. این تیپ معمولاً به زیرکن‌هایی نسبت داده می‌شود که یا در شرایط دگرگونی رشد کرده‌اند، یا زیرکن‌های وراثتی هستند که در طی یک رویداد دگرگونی یا ماگمایی متأخر دچار بازتبلور و رشد حاشیه‌ای شده‌اند (Pupin, 1980; Rubatto, 2002). حضور هسته‌های قدیمی با حاشیه‌های جوان‌تر در تصاویر CL بیانگر چندمرحله‌ای بودن تاریخچه رشد این زیرکن‌ها است.

منطقه جنوب سلماس در یک پهنه برشی و تکتونیکی فعال قرار دارد (حق‌پور و آقانباتی، ۱۳۸۳) و این فعالیت‌ها نقش مهمی در تغییر شکل و ویژگی‌های ساختاری زیرکن‌ها ایفا کرده‌اند. وجود شکستگی‌های داخلی، خمیدگی بلورها و اعوجاج در زون‌بندی CL، به‌ویژه در زیرکن‌های وراثتی و دگرگونی، نشان‌دهنده تأثیر تنش‌های تکتونیکی پس از تبلور است. عدم ترمیم این شکستگی‌ها و حفظ ساختارهای شکننده، حاکی از آن است که تغییر شکل در شرایط نسبتاً خشک و با حضور محدود فازهای سیال رخ داده است؛ زیرا در حضور سیالات فعال، انتظار می‌رود که بلورها از طریق بازتبلور پویا ترمیم شوند (Passchier and Trouw, 2005).

جدول ۲. طبقه‌بندی مورفوسکوپی زیرکن‌های میکروگابروهای جنوب سماس بر اساس سیستم (Pupin 1980).

شماره زیرکن	ریخت بلور	ویژگی‌های تصویر CL	تیپ Pupin (1980)	محدوده دمایی نسبی	تفسیر ژنتیکی
1	منشوری کشیده با انتهای نسبتاً سالم	روشنایی یکنواخت، بدون زون‌بندی مشخص	S	دمای بالا	زیرکن ماگمایی اولیه
2	منشوری کوتاه‌شده (Stubby)	زون‌بندی بسیار ضعیف	L	دمای متوسط تا بالا	زیرکن ماگمایی
3	منشوری کشیده با لبه‌های شکسته	CL یکنواخت	S	دمای بالا	زیرکن ماگمایی، متأثر از تنش
4	منشوری ناقص و نامتقارن	ناهمگنی خفیف در CL	L	دمای متوسط تا بالا	زیرکن ماگمایی
5	نیمه‌گرد تا بی‌شکل	زون‌بندی نامنظم	خارج از تیپ	متغیر	زیرکن وراثتی
6	نیمه‌گرد با کشیدگی کم	زون‌بندی نوسانی ناقص	G	دمای متوسط	زیرکن دگرریخت‌شده
7	منشوری بزرگ با هسته مشخص	هسته روشن و حاشیه تیره	G (هسته) / L (حاشیه)	متوسط	زیرکن وراثتی با رشد مجدد
8	منشوری کوتاه	CL تقریباً یکنواخت	L	دمای متوسط تا بالا	زیرکن ماگمایی
9	بی‌شکل و گرد شده	زون‌بندی نامنظم	خارج از تیپ	متغیر	زیرکن وراثتی
10	نیمه‌گرد با ترک‌های داخلی	CL ناهمگن	G	دمای متوسط	زیرکن وراثتی دگرریخت
11	نیمه‌گرد با مرز هسته-حاشیه	ساختار هسته-حاشیه	G	دمای متوسط	زیرکن وراثتی با باز تبلور
12	کوچک و گرد	روشنایی یکنواخت	خارج از تیپ	متغیر	زیرکن وراثتی یا آواری
13	منشوری کشیده و سالم	بدون زون‌بندی	S	دمای بالا	زیرکن ماگمایی اولیه
14	گرد و بی‌شکل	زون‌بندی نامنظم	خارج از تیپ	متغیر	زیرکن وراثتی

در مجموع، غلبه تیپ‌های S و L در نمودار Pupin (1980) بیانگر شرایط تبلور دمای بالا برای زیرکن‌های ماگمایی اولیه میکروگابروهای جنوب سلماس است که با ترکیب مافیک سنگ میزبان همخوانی دارد. حضور تیپ‌های G و زیرکن‌های نامنظم خارج از نمودار Pupin نیز نشان‌دهنده بقای زیرکن‌های وراثتی و تأثیر فرآیندهای دگرگونی و تکتونیکی پس از تبلور اولیه می‌باشد. این تنوع ریخت‌شناسی، ثبت‌کننده تاریخچه چندمرحله‌ای تبلور، بازبلوری و دگرشکلی زیرکن‌ها در محیط پویا و برشی شمال‌غرب دریاچه ارومیه است (Pupin, 1980; Corfu et al., 2003).

۴- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های مورفوسکوپی و تصاویر کاتدولومینسانس زیرکن‌های میکروگابروهای جنوب سلماس نشان می‌دهد که این دانه‌ها از تنوع قابل توجهی از نظر ریخت بلوری، ساختارهای داخلی و میزان حفظ وجوه بلوری برخوردارند. بر اساس طبقه‌بندی Pupin، زیرکن‌ها در محدوده تیپ‌های S، L و G به همراه دانه‌هایی خارج از نمودار پوپین قرار می‌گیرند. زیرکن‌های منشوری کشیده و کوتاه با روشنایی یکنواخت CL عمدتاً فاقد زون‌بندی مشخص بوده، در حالی که زیرکن‌های نیمه‌گرد تا گرد، اغلب دارای زون‌بندی نوسانی و ساختار هسته-حاشیه هستند. همچنین، وجود شکستگی‌ها و اعوجاج‌های بلوری در بخشی از زیرکن‌ها مشاهده می‌شود.

۵- مراجع

- آقناباتی، آ.، حقی پور، آ.، ۱۳۸۳. نقشه ۱:۱۰۰۰۰ سرو. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- اسدپور، م.، پورمعافی، س.م.، و هویس، ث.، ژئوشیمی، پترولوژی و تعیین سن توده مافیک - اولترامافیک غازان، شما غرب ایران، مجله پترولوژی، جلد ۴، شماره ۱۴، ص ۱ - ۱۶.
- Hoskin, P. W. O., & Black, L. P., 2000. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18, 423–439.
- Hoskin, P. W. O., & Schaltegger, U., 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. In: Hanchar, J. M., & Hoskin, P. W. O. (Eds.), *Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Vol. 53, Mineralogical Society of America, Washington, DC, pp. 27–62.
- Passchier, C. W., & Trouw, R. A. J., 2005. *Microtectonics* (2nd ed.). Springer-Verlag, Berlin, 366 p.
- Pupin, J. P., 1980. Zircon and granite petrology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73, 207–220.
- Rubatto, D. 2002. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U–Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, 184, 123–138.
- Vavra, G., 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106, 90–99.