

石英显微构造阴极发光特征研究

——以西藏甲玛岩体为例

彭惠娟¹, 汪雄武¹, 唐菊兴², 秦志鹏¹, 侯 林¹, 周 云¹

1 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037

摘 要: 根据石英在阴极射线显示的生长结构差异, 可以区分不同世代的石英斑晶, 揭示岩浆演化过程。本次研究以西藏甲玛岩体中石英斑晶为例, 采用光学显微镜阴极发光仪(OM-CL)和扫描电镜阴极发光仪(SEM-CL)。研究表明甲玛矿区中基性岩体有 5 个世代的石英斑晶。早期石英斑晶至少经历了两次岩浆混合作用: 第一次基性岩浆的混入, 石英斑晶核部形成了浑圆状重熔表面, 然后石英经历了较稳定的生长阶段, 形成均匀的生长环带; 随着岩浆的快速上升侵位, 岩浆储层中压力减小, 导致第二次基性岩浆混入, 形成富 Ti 的波状、港湾状重熔表面和石英钾长石外壳。

关 键 词: 阴极发光; 石英; 显微结构; 岩浆混合

中图分类号: P578.4⁺94 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2010)03-0279-05

The Characteristics of Cathodoluminescence Visualized Microstructure in Quartz:

A Case Study from the Jiama Igneous Rock in Tibet

PENG Huijuan¹, WANG Xiong-wu¹, TANG Ju-xing², QIN Zhi-peng¹, HOU Lin¹, ZHOU Yun¹

1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Abstract: Cathodoluminescence is an effective method for studying micro structures of quartz. We studied igneous rocks of Jiama in Tibet by using two scanning electron microscope cathodoluminescence (SEM-CL) and optical microscope CL (OM-CL). The results indicate that there are five generations of quartz phenocrysts. Early magmatic quartz phenocrysts have gone through at least two times of magma mixing events. Owing to the first mixing with mafic magma, resorption surfaces appeared around the core of quartz phenocrysts. And then, the quartz has experienced stable growth conditions, forming a steady growth zone with low CL contrasts. The rapid ascent of magma was accompanied by second magma mixing event, which caused wavy (or embayed) resorption surfaces with Ti rich overgrowth and K-feldspar quartz mantle.

Key words: cathodoluminescence; quartz; microstructure; magma mixing

花岗岩是地壳和地幔相互作用的产物。如欧洲中部 Variscan 造山带花岗岩岩基、我国冈底斯带花岗岩以及华南花岗岩。虽然岩石的主元素、稀土元素、微量元素和同位素地球化学研究可以提供很多岩浆作用过程和岩浆混合的证据, 但使用这些数据解释岩浆作用的基本原则是岩石学特征的辨别, 难

以展示其化学变化过程^[1~6]。花岗岩全岩化学组分只是其组成矿物的综合反映。作者认为, 更深入的岩浆演化研究应该建立在岩浆演化过程的单矿物斑晶(如长石和石英)显微化学和显微构造研究的基础上。虽然长石对于熔体物理化学条件改变的敏感性比石英强, 但由于花岗岩中的长石一般都会因为晚

收稿日期: 2010-01-25 收到, 03-04 改回

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAB01A01); 中金集团公司青藏专项(1212010818089); 西藏自治区矿产资源潜力评价(1212010813025); 成都理工大学矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目

第一作者简介: 彭惠娟(1985—), 女, 硕士研究生, 从事岩矿测试和矿床学研究。E-mail: 346665401@qq.com.

期岩浆或后期热液流体的相互作用而发生蚀变,而石英的抗蚀变能力更强。因此,石英斑晶的环带可以作为花岗岩岩浆成分、结晶时物理化学条件改变的重要标志,揭示岩浆演化过程。

石英阴极发光特性(CL)反映了石英颗粒中的一些特殊显微构造(如环带构造、熔蚀表面等)。不同物理化学条件下形成的石英阴极发光的颜色和亮度都有差异。此外,石英CL发光的颜色、生长环带的变化都与石英中微量元素含量有关。因此,CL能反映晶体生长的物化条件和各种相关外界因素的信息,这些反映非常灵敏,没有其他测试分析方法可以替代,有很大的利用价值。

在过去的30多年中,石英CL在地质研究中的应用有了很大的进展,被广泛应用于沉积岩石来源的判断、火成岩的岩浆混合和岩浆演化的研究,成为研究火成岩石生长和蚀变形式的常规方法,为火成岩研究提供了新的方法和思路^[7~12]。笔者通过西藏甲玛铜-多金属矿区成矿岩体石英阴极发光特征的研究,初步划分了成矿花岗岩中石英斑晶的世代,得到了岩浆混合的新证据。

本矿区位于西藏特提斯-喜马拉雅构造域一级构造单元冈底斯-念青唐古拉板片中段,南邻雅鲁藏布江板块结合带,北为念青唐古拉弧背断隆(即拉萨微型大陆)。前者即特提斯洋壳消减带为晚期构造碰撞带,后者是中生代从冈瓦纳古陆分裂出来的块体,晚侏罗世与欧亚大陆拼合,此后成为新特提斯洋北部活动边缘的陆缘部分。区内侵入岩主要分布于甲玛-日多弧内局限盆地的中部和南部,多以复式岩基、岩株和岩脉的形式产出。甲玛岩体为辉绿玢岩-闪长玢岩-花岗(闪长)斑岩岩石组合。

1 分析方法

甲玛矿区有酸性和中基性两个侵入岩系列:前者以花岗斑岩为代表,14.9 Ma,中基性侵入体有花岗闪长斑岩和闪长玢岩,闪长玢岩的年龄为13.4 Ma。我们采集了这两个岩石系列的花岗斑岩、花岗闪长斑岩、花岗闪长玢岩和石英闪长玢岩样品。中基性岩石系列普遍有镁铁质微粒包体(MME),长石具反环带和筛状黑云母等岩浆混合特征。

采用光学显微镜阴极发光(OM-CL)仪和扫描电镜阴极发光(SEM-CL)仪,结合电子探针分析(EPM A),得到石英斑晶微量元素含量。样品OM-CL影像在美国波特兰应用岩石学实验室测定,所用仪器为Nuclide ELM-2b CL,电子枪工作电压为14kV。影像记录由NIKON微处理UFX-II系统设

备和NIKON FX-35A反射式照相机完成。SEM-CL图像在挪威地质调查局拍摄完成。图像由JEOL系统收集,使用电压为30 keV,灯丝电流为200 nA。电子探针分析在宜昌地质调查研究院分析完成。

2 石英斑晶研究

2.1 石英斑晶世代及类型划分

Axel Müller, Thomas^[13,14]运用石英阴极发光特性成功区分了Erzgebirge东部火成杂岩体中石英斑晶的世代及生长阶段,并证明该岩体中存在多种岩浆混合作用。石英斑晶生长形式间的相互关系显示相同的环带类型代表石英来自于同一岩浆源,具有相似的物理化学条件。另一方面,不同类型石英的生长形式也不同。它们可能来自于岩浆源的不同层位,来自岩浆的不同期次,或者代表了较老的石英在形成新一期石英核之前完全熔解。因此每个火山岩系统,其石英环带形式都可以作为它独特的指纹记录。斑晶中的生长环带指示了石英在不断演化的岩浆储集层中的生长过程。一些岩石包含两个或更多斑晶世代,并以某一个世代为主。每一个石英世代都代表了一次成核事件。每一个石英世代还包含多个生长阶段。运用普通光学显微镜很难判断石英斑晶世代关系,但不同世代的石英斑晶具有不同阴极发光特征的核部以及环带形式。这样,就能够重建一个岩浆期次的结晶作用时间史。

本次研究根据样品中石英的SEM-CL特性和结构(结晶习性、晶体大小),首先区分了两个系列的岩石,并划分出石英斑晶的世代和晶体类型(图1)。中基性岩石系列(花岗闪长玢岩-花岗闪长斑岩-石英闪长玢岩组合)的石英斑晶结构较为复杂,具有生长环带和明显的重熔表面。

第I世代石英斑晶多见于花岗闪长玢岩,为稀有的自形石英斑晶,粒径3~5 mm,显示复杂的石英环带和钾长石外壳。总的来说,这种石英斑晶具暗色CL核部,核部边缘有明亮的发光晕。这一世代的石英斑晶经历了3个主要的生长阶段(图中箭头标出部分)。可以分为两种类型:Type6边缘较平滑,内部有明显的骸晶状结构和网脉状裂隙;Type7为港湾状结构,在“港湾”内部也有生长环带。

第II世代石英斑晶主要见于花岗闪长玢岩,斑晶粒度较大,粒径为5~10 mm。较大的斑晶常破碎成2~3个单晶。这种石英斑晶也有暗色CL核部和较为明显的生长环带;斑晶边缘常为波状、浑圆状,有细的明亮的CL重熔边缘。这一世代的石英斑晶经历了两次主要的生长阶段(Type5)。

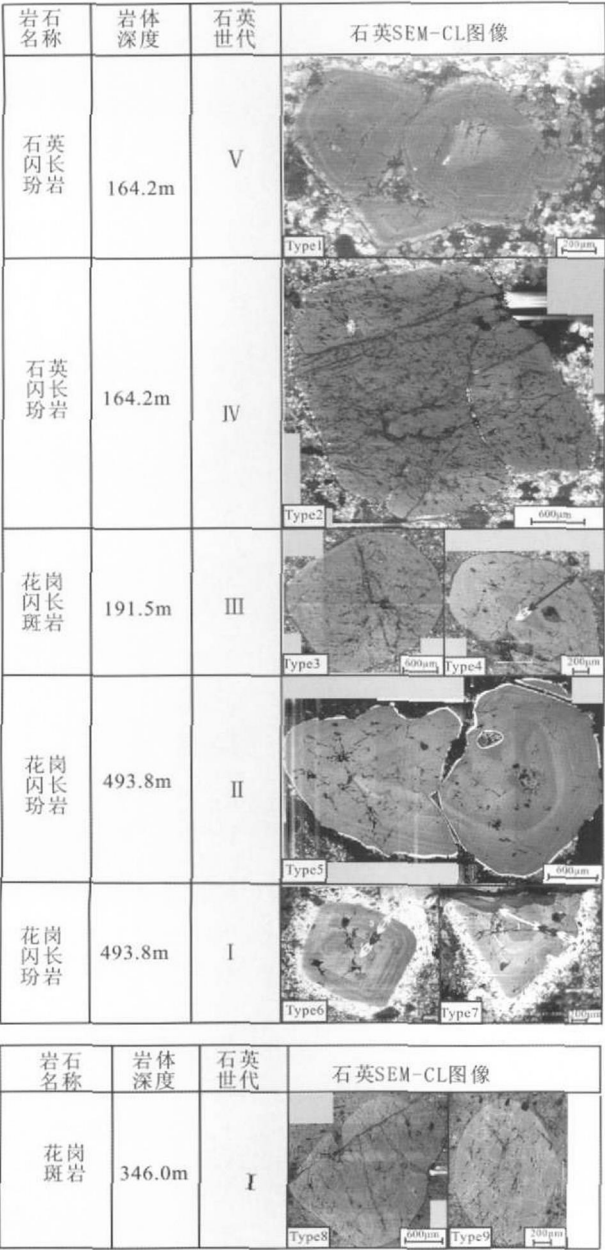


图1 西藏甲玛斑岩铜矿区石英斑晶世代及类型
Fig. 1 The generations and types of quartz phenocrysts from the Jiama porphyry copper deposit in Tibet

第 III 世代石英斑晶见于黑云母花岗闪长斑岩,也是早期斑晶。重熔较强烈,环带不明显,未见显微裂纹;斑晶粒度多为 2~ 5 mm。Type3 多为浑圆状,Type4 则为港湾状,且具暗色 CL 核,这可能是由于早期石英斑晶受到强烈重熔作用,使原来晶核完全或大部熔解,因此这类斑晶也经历了两个主要的生长阶段(箭头表示部分)。

第 IV 世代石英斑晶见于石英闪长玢岩中,属于晚期石英斑晶。粒径较大,5 mm~ 10 mm。次生结构叠加明显,岩浆生长环带几乎不可见,斑晶边缘具有轻微的重熔,但是斑晶依然具有狭窄而微弱的

明亮 CL 增生边(Type2)。第 V 世代石英斑晶也见于石英闪长玢岩中,为最晚期石英斑晶,粒径为 1~ 2 mm。岩浆生长环带明显,无重熔现象(Type1)。

酸性岩石系列(花岗斑岩)中只观察到一个世代的石英斑晶。斑晶有轻微重熔,未见反应边和环带结构,斑晶内部有明显的网脉状裂纹。根据斑晶粒度大小和重熔边形状,将这一世代斑晶划分为两种类型: Type8 粒径为 3~ 5 mm,有港湾状重熔边缘; Type9 粒径小于 1 mm,主要呈浑圆状。

2.2 石英斑晶的重熔表面

研究样品的石英斑晶有浑圆状、波状、锯齿状和港湾状四种重熔表面(图 2)。

图 2(A) 中石英斑晶经历了两次主要的重熔事件:第一次重熔使暗色的核部出现明亮的晕(黑色箭头所指),并使核部重熔边缘呈浑圆状;第二次发生在具明亮 CL 加大边的地方(白色箭头所指),形成锯齿状边缘。图 2(B) 中石英斑晶的重熔发生在亮白色 CL 加大边处,形成波状边缘。图 2(C) 为浑圆状石英斑晶边缘,石英晶体中有网脉状愈合裂隙。图 2(D) 石英斑晶有强烈的重熔边缘。与图 2(A) 相似,这种石英斑晶也经历了两次重熔事件:第一次重熔使石英斑晶核部呈浑圆状,并有狭窄的亮白色晕(黑色箭头所指);第二次使石英斑晶形成港湾状边缘(白色箭头所指)。

图 2(A) 和图 2(B) 中的石英斑晶都有较均匀的生长环带,指示深部岩浆储集层相对稳定的生长环境。斑晶边缘显示有重熔反应边,指示岩浆上升和侵位时,斑晶与寄主岩浆间出现不平衡现象。岩浆上升侵位后,岩浆储集层被腾空,有利于深部岩浆的灌入,从而可能就发生岩浆的混合。电子探针分析测得晶体细的发光的增生边 Ti 平均含量为 300×10^{-6} ,明显高于核部的 Ti 含量(平均 24×10^{-6}),也表明末期有岩浆混合作用。

2.3 石英斑晶的钾长石外壳

石英斑晶具有钾长石覆盖物可能与岩浆物理化学条件的改变有关,这种改变使钾长石晶体具有石英核。实验研究及岩相学观察指出石英被钾长石覆盖可能具有两种途径:①两种不同组分的岩浆混合^[15~ 16];②花岗质熔体在几乎恒温条件下迅速减压结晶^[17~ 18]。石英晶体周围重熔,被钾长石,黑云母,以及钛磁铁矿覆盖,表明石英斑晶被突然置于一种新的环境,在这种环境下石英是不平衡的,因此石英斑晶进行了结构调整,形成了表面的覆盖物。所研究的样品中,发现部分石英斑晶有明显的钾长石

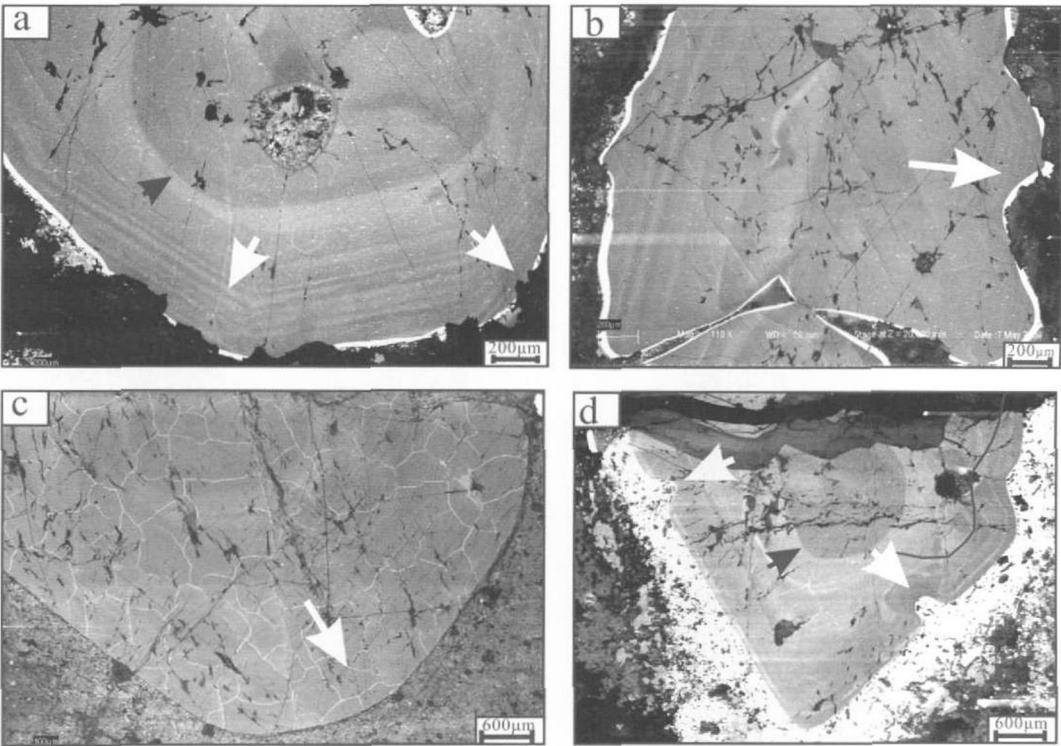


图 2 西藏甲玛斑岩铜矿区岩体石英斑晶重熔表面

Fig. 2 The resorption surfaces of quartz phenocrysts from the Jiam a porphyry copper deposit in Tibet

外壳(图 3)。图 3(A) 为光学显微镜阴极发光仪拍摄的照片。石英斑晶粒度较大, 强烈重熔, 呈典型的破布状和港湾状。在红褐色 CL 石英斑晶外包裹有明显的亮蓝色外壳。电子探针测定显示外壳的成分为钾长石, Ti 含量平均为 200×10^{-6} 。图中左侧石英斑晶具明显的筛状结构, 根据文献^[19] 的研究, 可将筛状晶体解释为捕获晶, 这种晶体有发育的海绵蜂窝状结构, 解释了较热岩浆的相互作用。蜂窝状结构中的包体和铁镁质矿物暗示铁镁质岩浆对捕获晶的渗透, 再平衡作用使晶体正常环带最外边发育并形成了蜂窝状结构。甲玛矿区花岗岩岩体中普遍出现这种结构, 说明长英质岩浆与铁镁质岩浆的混

合。图 3(B) 为 SEM-CL 图片, 深色 CL 的石英晶体具微弱的生长环带, 指示斑晶在岩浆储层中稳定的生长环境。晶体外部有明显白色 CL 的钾长石外壳, 紧密包裹石英斑晶, 厚度约 150 μm , 且与石英斑晶晶界明显。说明铁镁质岩浆的混入可能发生在原始岩浆快速上升的过程中。

3 结 论

(1) 石英斑晶在火成岩中分布广泛, 阴极发光是观察石英颗粒显微构造的有效技术方法。CL 可以反映石英结晶过程中所经历的每个阶段中的构造变化, 包括结晶核在岩浆上升、存储、补给、混合过程中

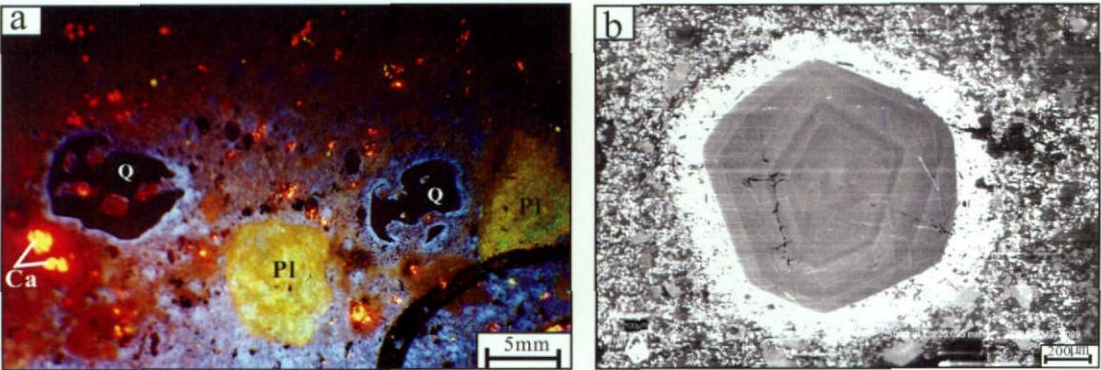


图 3 西藏甲玛斑岩铜矿区岩体石英斑晶钾长石外壳

Fig. 3 The quartz mantled K-feldspar of the Jiam a porphyry copper deposit in Tibet

的生长和熔解状况。石英斑晶中一般有锯齿状、波浪状、浑圆状和港湾状四种重熔边缘。其高亮度的边缘显示石英中有较高含量的 Ti, 指示晶体运动进入了岩浆房的深部, 或者与更加基性的岩浆发生了混合。尤其是石英的重熔表面和钾长石外壳为岩浆混合作用提供了新的有力证据。

(2) 甲玛铜-多金属矿区岩体中石英斑晶阴极发光特征的初步研究发现, 中基性岩石系列中有 5 个世代、7 种类型的石英斑晶; 而酸性岩中只发现 1 个世代、2 种类型的石英斑晶。岩浆混合主要发生在中基性的岩石系列中。这类岩体中的石英斑晶, 至少经历了两次岩浆混合作用: 第一次基性岩浆的混入形成了石英斑晶核部浑圆状的重熔表面; 然后石英经历了较稳定的生长阶段, 形成均匀的生长环带; 随着岩浆的快速上升侵位, 岩浆储层中压力减小, 导致了第二次基性岩浆的混入, 形成了富 Ti 的波状、港湾状重熔表面和钾长石外壳。另外, 在岩浆快速上升过程中也造成了石英斑晶的骸晶状晶体。酸性岩石的石英斑晶未经强烈的熔蚀, 也没有明显的岩浆混合现象。从成矿规律看, Cu 矿化和 Mo 矿化与中基性岩石系列有关。这一结果与石英斑晶阴极发光特征所显示的结论一致。因此石英斑晶阴极发光特征可以直接判断岩体所经历的岩浆混合作用, 对于成矿岩体的判断也有一定的指示作用。

(3) 花岗岩岩浆演化过程中物理化学条件的信息通过以下三点获得: 石英阴极发光特征所显示的生长形式, 石英斑晶中微量元素的含量和分布, 石英中的熔融包裹体。如果能将石英 CL 特征与微量元素, 以及不同生长环带中的包裹体研究结合起来, 必定会为岩浆过程的研究提供新的思路和方法。

致 谢: 研究过程中得到美国波特兰应用岩石学实验室 Jim Clak 教授和挪威地质调查局 Axel Müllert 教授的帮助, 论文在写作过程中得到宜昌地质矿产研究所梁约翰老师的帮助和指导, 在此表示衷心感谢!

参考文献 (References):

[1] Goldstein E. Über das Auftreten roten phosphoreszenzlichtes an geissler'schen Röhren: Bericht der deutschen physikalischen Gesellschaft [M]. 1907: 598–605.

[2] Laemmlein G. Korrosion und Regeneration der Porphyr Quarze [J]. Z. Kristallogr., 1930, 75: 109–127.

[3] Smith J V, Stenstrom R C. Electron excited luminescence as a petrologic tool [J]. Geol., 1965, 73: 627–635.

[4] Sippel R F. Simple device for luminescence petrography [J].

Rev. Sci. Instrum., 1965, 36: 1556–1558.

[5] Schneider N. Dash lumineszenzaktive strukturunventar von quarzplänokristen in Rhyolithen. Göttinger Arb. [J]. Geol. Paläont., 1993, 60: 81.

[6] Watt G R, Wright P, Galloway S, McLean C. Cathodoluminescence and trace element zoning in quartz phenocrysts and xenocrysts [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1997, 61: 4337–4348.

[7] Müller A. Cathodoluminescence and characterization of defect structures in quartz with applications to the study of granites rocks [D]. Norway, 2000–229.

[8] Müller A, Kronz A, Breiter K. Trace elements and growth pattern in quartz: A fingerprint of the evolution of the sub volcanic poděš granite system (Krušné Hory, Czech Republic) [J]. Bulletin of Czech Geological Survey, 2002, 77: 135–145.

[9] Müller A, René M, Behr H J. Trace elements and cathodoluminescence of igneous quartz in topaz granites from the Hub Stock [J]. Mineralogy and Petrology, 2003, 79: 167–191.

[10] Müller A, Breiter K, Seltmann R. Quartz and feldspar zoning in the Eastern Erzgebirge pluton (Germany, Czech Republic): Evidence of multiple magma mixing [J]. Lithos, 2005, 80: 201–227.

[11] Wark D A, Hildreth W, Spear F S, Cherniak D J, Watson E B. Pre-eruption recharge of the Bishop magma system [J]. Geology, 2007, 35: 235–238.

[12] Wiebe R A, Wark D A, Hawkins D P. Insights from quartz cathodoluminescence zoning into crystallization of the Vinal-haven granite, coastal Maine [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2007, 154: 439–453.

[13] Müller A, Lennox P, Trzebski R. Cathodoluminescence and microstructural evidence for crystallization and deformation processes of granites in the Eastern Lachlan Fold Belt (SE Australia) [J]. Mineral Petrol., 2002, 143: 510–524.

[14] Müller A, Thomas R, Wiedenbeck M. Water content of granitic melts from Cornwall and Erzgebirge: A Raman spectroscopy study of melt inclusions [J]. European Journal of Mineralogy, 2006, 18: 429–440.

[15] Hibbard M J. The magma mixing origin of mantled feldspar [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1981, 76: 158–170.

[16] Wark D A, Stimac J A. Origin of mantled (rapakivi) feldspars: Experimental evidence of a dissolution and diffusion-controlled mechanism [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1992, 111: 345–361.

[17] Nekvasil H. Ascent of felsic magmas and formation of rapakivi [J]. American Mineralogist, 1991, 76: 1279–1290.

[18] Eklund O, Shebanov A D. Origin of the rapakivi texture by sub-isothermal decompression [J]. Precambrian Research, 1999, 95: 129–146.

[19] Andersson U B, Eklund O. Cellular plagioclase intergrowths as a result of crystal-magma mixing in the Proterozoic and rapakivi batholith, SW Finland [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1994, 117: 124–136.