

オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州
南東部沿岸 Bingi Bingi Point 複合深成岩体の
マグマ分化末期の環境
—角閃石の波状累帯構造に基づいて—

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部マグマ班 (2024)

稲本晴香 陰山麻愉 永野千世 藤田詩桜 松田理沙 村尾倖生 横山桃子 飯田凌央
石井漸 岡本莉空 永井翔 中田天晴 中村賢矢 富士佳蓮 前川司 (指導：川勝和哉)



オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州南東部沿岸 Bingi Bingi Point 複合深成岩体のマグマ分化末期の環境 —角閃石の波状累帯構造に基づいて—

兵庫県立姫路東高等学校 科学部地学系研究部マグマ班

稲本晴香 陰山麻愉 永野千世 藤田詩桜 松田理沙 村尾倖生 横山桃子 飯田凌央 石井漸
岡本莉空 永井翔 中田天晴 中村賢矢 富士佳蓮 前川司 (指導：川勝和哉)

要 旨

オーストラリア南東部のニュー・サウス・ウェールズ州南東部沿岸 Bingi Bingi Point は複合深成岩体の一部をなし、古生代デボン紀末期の 2 種類の異なるマグマが十分に混ざりあうことなく、不完全な混入のようすを残して固結している。本地域は主に閃緑岩からなっており、それをトーナル岩が包み込むように固結している。閃緑岩にはトーナル岩からのびる支脈が多くみられるほか、トーナル岩中にブロック状や紡錘形に周囲が融解して引き延ばされた形状の閃緑岩の捕獲岩が、2 つの岩体の接触面に沿って一方向に配列している。閃緑岩やトーナル岩を同質マグマから生じたアプライト脈が貫入している。最後に玄武岩の貫入が数度起こった。

トーナル岩の支脈の影響を受けている閃緑岩の角閃石の淡緑色リム部から、結晶の c 軸方向に発達した波状累帯構造が多数発見された。波状累帯構造は幅数 μm 程度の細い帯が波動のように繰り返す構造で、外側の帯が内側の帯を切るように形成されていることや、異なる角閃石の結晶に平行に連続するような形状で形成されていることから、結晶の外から数度にわたる熱水の循環があったことを示している。波状累帯構造は淡褐色コア部にはみられない。一方、閃緑岩体中央部の角閃石の淡緑色リム部からも波状累帯構造が発見されるが、それらは不規則な形状に取り残されたコアの間隙に波状累帯構造が発達しており、閃緑岩自身の豊富な熱水が激しく循環したことを物語っている。波状累帯構造は淡緑色リム部と自形の磁鉄鉱が共存しているほか、角閃石の外縁部にはスフェーンがみられることから、淡緑色リム部とそこに発達した波状累帯構造は酸化的環境下の熱水残液の循環によって形成されたと考えられる。

角閃石の波状累帯構造の成分分析の結果は、I 型 Edenite 型を中心とした組合せ置換が優勢である。また、マグマ分化過程下で結晶化した角閃石には見られず、マグマの飽和・脱水による熱水残液によって置換された角閃石の特徴とされる Al^{VI} が 0.6 以下の値を示す。M1-M3 サイトの Fe^{3+} は、このサイトの Na、Ti、 Fe^{3+} の合計の半分以上を占めている。 $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$ の値は 0.18~0.50 と低い。 $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}_{\text{total}})$ の値は、コア部からリム部に向けて、magnesio hornblende~actinolitic hornblende~actinolite と減少している。不規則なコア部は magnesio hornblende である。角閃石の波状累帯構造が発達する淡緑色リム部の Cl は微量である。これらの特徴は、酸化的環境下における二次再平衡を経験した深成岩類と共通であり、角閃石のリム部がさまざまな激しさの熱水残液循環の影響を受け、波状累帯構造を形成したと考えられる。本調査地域は古生代デボン紀末期の花崗岩類であり、西南日本山陽帯と山陰帯の深成岩類は中生代白亜紀~古第三紀にかけて活動したマグマである。露頭調査によって熱水残液の影響を受けたことが明らかになった角閃石から、時代や地域を越えて同じ微細構造が発見されたことは、角閃石の波状累帯構造が熱水残液の循環の指標となる可能性を示している。

キーワード

マグマ分化 magma differentiation 熱水残液 hydrothermal solution 捕獲岩 xenolith
波状累帯構造 Oscillatory Zoned Structure (OZS) 組合せ置換 coupled substitution
サブソリダス subsolidus

Late Magma Differentiation at Bingi Bingi complex, Southeast NSW, Australia

— Based on Oscillatory Zoned Structure of Amphiboles of Granitoids —

Hyogo Prefectural Himeji Higashi Senior High School Science Club

Haruka INAMOTO, Mayu KAGEYAMA, Chise NAGANO, Shion FUJITA, Risa MATSUDA,
Koki MURAO, Momoko YOKOYAMA, Ryo IIDA, Zen ISHII, Riku OKAMOTO, Syo NAGAI,
Tensei NAKATA, Kennya NAKAMURA, Karen FUJI, and Tsukasa MAEKAWA

Abstract

Bingi Bingi Point, located on the southeastern coast of New South Wales in Australia, is part of a complex pluton in which two different types of magma from the late Devonian solidified without complete mixing. The area is mainly composed of diorite, with tonalite making up the “cap” of the point. The diorite is penetrated by many hydrothermal veins emerging from the tonalite, and block- and spindle-shaped xenoliths of diorite, which have been elongated by melting, are aligned along the contact surface between the two rock bodies. Both the diorite and tonalite are further intruded by aplite veins formed from homogeneous magma. Finally, basalt intrudes as well.

In the pale green rims of the amphibole crystals found in the diorite, which is influenced by hydrothermal solution from the tonalite, numerous Oscillatory Zoned Structure (OZS) developed across the c-axis of the crystals. OZS is a structure in which thin bands several μm wide repeat like waves. OZS is characterized by the outer zone cutting the inner zone and by the parallel nature of non-continuous amphibole crystals, which suggests that hydrothermal solutions have circulated the outside of the crystals several times. No OZS is observed in the pale brown core. The rim has an irregular structure caused by recrystallisation fragmenting the original magnesio-hornblende core, with gaps filled by actinolite displaying OZS. The pale green rim, in which OZS has developed, coexists with euhedral magnetite, and sphene is found on the outer edge of the amphibole. The coupled Edenitic substitution patterns in the OZSs dominate the amphibole and indicate an oxidizing environment. The Al^{VI} value is less than 0.6. It is a characteristic of hydrothermal solutions produced from, and dehydrating, saturated magmas. Fe^{3+} in the M1-M3 sites comprises more than half the total of Na, Ti, and Fe^{3+} . The $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ value is 0.18~0.50 and the $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_{\text{total}})$ gradually decreases from core to rim. The OZS contains low traces of Cl. This suggests that the pale green rim and the OZS developed due to the circulation of hydrothermal solution in an oxidizing environment.

OZSs of amphiboles are known to have been formed by circulation of hydrothermal solution,

and this result is in good agreement with the results of the outcrop survey. OZS of amphibole is an indicator of the environment during the late-stage magma differentiation process.

keyword : magma differentiation hydrothermal solution xenolith Oscillatory Zoned Structure (OZS) coupled substitution subsolidus

Abstract

Bingi Bingi Point, in New South Wales, Australia, is part of a complex pluton formed from the incomplete mixing of late Devonian magmas. In the rims of amphibole crystals found in the diorite, which is influenced by hydrothermal solution from the tonalite, numerous Oscillatory Zoned Structure (OZS) developed across the c-axis of the crystals. This suggests that hydrothermal solutions have circulated the outside of the crystals several times. EPMA analysis shows that the coupled substitution patterns in OZSs of amphibole also indicate an oxidizing environment. OZS of amphibole is an indicator of the environment during the late-stage magma differentiation process.

Abstract

Bingi Bingi Point, in southeastern New South Wales in Australia, is part of a complex pluton of diorite and tonalite formed by the incomplete mixing of late Devonian magmas. Hydrothermal veins emerging from the tonalite penetrate the diorite, and elongated block- and spindle-shaped xenoliths of diorite are aligned along the contact surface between the two rock bodies. Both the diorite and tonalite are further intruded by aplite veins formed from homogeneous magma. Finally, basalt also intrudes.

Oscillatory Zoned Structure (OZS) is a structure of wave-like repeating μm -order width bands, and is characterized by the cutting of the inner zone by the outer and the parallel nature of non-continuous amphibole crystals. The presence of OZS indicate repetitive circulation of hydrothermal solution. Recrystallization has fragmented the magnesio-hornblende core of the amphibole, with actinolite filling in the structure as a “rim”. The rims show OZS in the c-axis. No OZS is observed in the core. The pale green rim coexists with euhedral magnetite, and titanite is found on the outer edge of the amphibole.

The Al^{VI} value of the amphibole is below 0.6, indicating a hydrothermal solution produced from, and dehydrating, a saturated magma. Fe^{3+} in the M1-M3 sites comprises half the combined total of Na, Ti and Fe^{3+} . The $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ value is $0.18 \sim 0.50$ and the $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_{\text{total}})$ gradually decreases from core to rim. The OZS in the actinolite contains trace amounts of Cl. This suggests the rim and the OZS formed due to the circulation of an oxidizing solution.

OZSs of amphiboles are known to have been formed by the circulation of hydrothermal solution, and this result is in good agreement with the results of the outcrop survey. OZS in amphibole is an indicator of the environment during the late-stage magma differentiation process.

Abstract

Amphiboles found in the diorite of the pluton at Bingi Bingi Point, in southeastern New South Wales in Australia, display Oscillatory Zoned Structure (OZS), indicating the repeated circulation of oxidizing hydrothermal solution. The pluton was formed by the incomplete mixing of late Devonian magma and is comprised of diorite surrounded by tonalite. Hydrothermal veins from the tonalite penetrate the diorite, and elongated xenoliths of diorite are observed on the contact surfaces of the rock types. The pluton is also intruded by aplite veins and basalt.

OZS indicates the repeated circulation of hydrothermal solution, and is a structure of wave-like repeating μm -order width bands, characterized by the cutting of the inner zone by the outer and the parallel nature of non-continuous amphibole crystals. Recrystallization has fragmented the magnesio-hornblende core of the amphibole, with actinolite filling in the structure as a “rim” which shows OZS in the c-axis. No OZS is observed in the core. The rim coexists with euhedral magnetite, and titanite is found on the outer edge of the amphibole.

The Al^{VI} is below 0.6, indicating the hydrothermal solution of a dehydrated saturated magma. Fe^{3+} in the M1-M3 sites comprises half the combined total of Na, Ti and Fe^{3+} . The $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ value is 0.18~0.50 and the $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}_{\text{total}})$ gradually decreases from core to rim. The OZS contains trace amounts of Cl. This suggests the rim and the OZS formed due to the circulation of an oxidizing solution.

This result is in good agreement with the results of the outcrop survey. OZS in amphibole can be used as an indicator of the environment during the late-stage magma differentiation process.

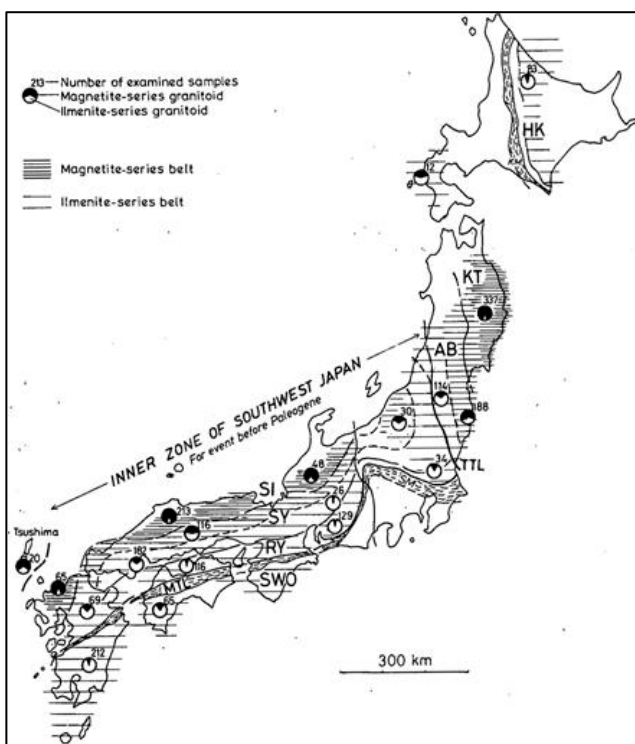
1. 研究の背景と目的

西南日本内帯は、岩石の化学組成や構成鉱物、帯磁率、放射年代などによって、本州北部磁鉄鉍系列の山陰帯と南部チタン鉄鉍系列の山陽帯、さらに四国の領家帯に三分されている（[図 1](#)/Ishihara, 1971、Ishihara, 1981、Murakami, 1974、飯泉ほか, 1985）。

山陰帯の花崗岩類の角閃石は淡褐色コアと淡緑色リムからなる単純な累帯構造をなしていることは古くから知られており、マグマ過程早期に角閃石が晶出した場合と輝石が晶出した後角閃石が晶出した場合で、角閃石の SiO_2 に対する Al_2O_3 の割合が異なることが示されていた（先山・田中, 1984）。さらに、角閃石の単純な累帯構造からマグマ分化過程末期の累進的酸化環境を推定している（山口, 1984）。

1987 年になって、山陰帯大東－横田石英閃緑岩の角閃石から、著しく発達した波状累帯構造が発見された（Kwakatsu and Yamaguchi, 1987a）。この波状累帯構造は、結晶の成長方向（c 軸）に幅数 μm の微細な帯状構造が何重にも繰り返して発達する構造で、マグマ分化末期の流体相（熱水残液）の循環によって、既に結晶化している角閃石のリム部が二次的に再平衡し、イオン置換によって形成されることが示された（Kwakatsu and Yamaguchi, 1987b）。熱水残液の循環は、マグマに含まれる H_2O の脱水と発泡によって起こる（Kennedy, 1955）。角閃石の波状累帯構造は、豊富な熱水残液の循環が繰り返された記録であり、山陰帯の深成岩類は高い酸素分圧条件下のサブソリダス過程で流体相の循環が起こったことを示すものであるとされた（Kwakatsu and Yamaguchi, 1987b）。

筆者らは 2019 年から、西南日本内帯の山陽帯に広く分布する白亜紀深成岩類の研究を行っており、山陽帯の深成岩類の角閃石から波状累帯構造の発見を目指した。山陰帯と山陽帯の形成過程を波状累帯構造を用いて比較すること、それを通じて波状累帯構造がサブソリダス過程の指標となるのかどうかを確認することが目的であった。2023 年に山陽帯白亜紀－古第三紀の揖保川花崗閃緑岩の角閃石から、明瞭な波状累帯構造を発見し（[図 2](#)/兵庫県立姫路東高等学校科学部, 2023）、これをもとにして山陰帯と山陽帯のマグマ分化過程を比較検討し、角閃石の波状累帯構造は、マグマ分化過程末期の流体相によって形成されることを明らかにするとともに、波状累帯構造がその指標として有効であることを示した（[図 3](#)）。



[図 1](#) 西南日本内帯の山陰帯、山陽帯、領家帯 (Ishihara, 1971)

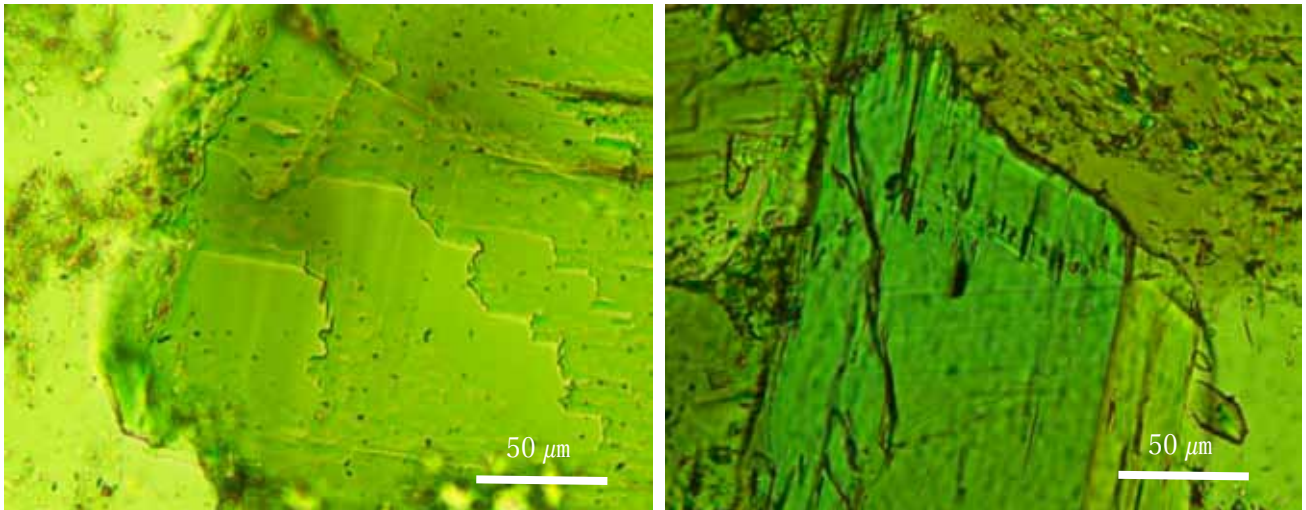


図2 揖保川花崗閃緑岩の角閃石の角閃石の波状累帯構造（兵庫県立姫路東高等学校科学部, 2023）

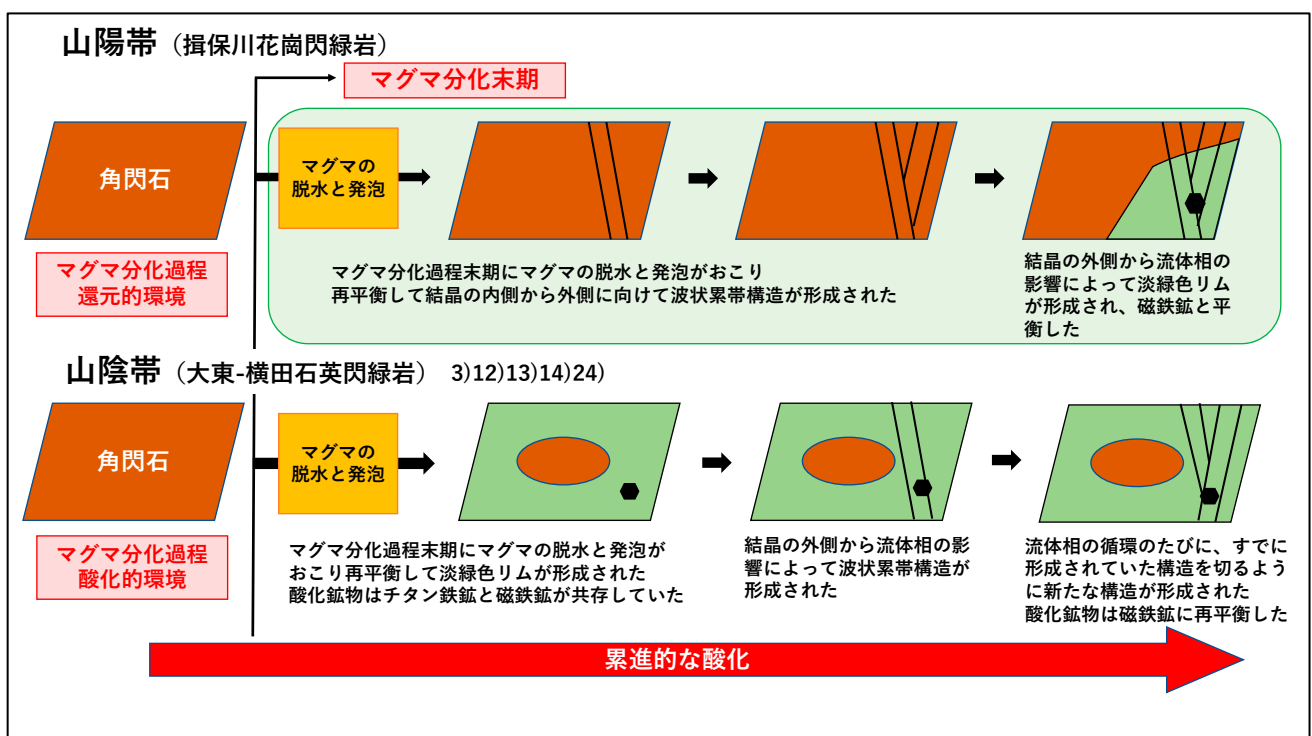


図3 山陽帯と山陰帯の花崗岩類の角閃石に波状累帯構造が形成されるモデル図
(兵庫県立姫路東高等学校科学部, 2023)

このように、日本国内ですでに多くの成果を上げているマグマ分化末期の環境推定に関する研究の成果を基にして、19名で5日間にわたって本研究を行った、オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州南東部沿岸地帯の露頭調査と岩石・鉱物学的な研究の成果をまとめ、21個の岩石試料を採取し、試料の研磨薄片を作成して偏光顕微鏡で観察を行った。京都大学理学部の協力を得て、EPMA分析装置(Electron Probe Micro Analyzer)を用いて、角閃石から新たに発見した波状累帯構造を、筆者ら自身で2日間にわたって成分分析を行い、日本国内の成果と比較検討した。

先行研究によると、オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州のシドニーから南へ約 350km の場所にある、ユーロボダラ国立公園の東に隣接する Bingi Bingi Point には、古生代デボン紀（約 3 億 8000 万年前）の 2 種類の異なるマグマ（Whalen and Chappell, 1988）が、十分に混ざりあうことなく地表 10km にわたって位置している。本地域の深成岩類は、Lachlan Fold Belt に位置する Moruya Batholith の一部である（図 4／Prendergast, 2007・Prendergast et al., 2012）。これらの深成岩の割れ目に、幅 4m のアプライト脈が貫入しており、さらに 3000 万年前に玄武岩マグマが割れ目に沿って貫入したとされている（Branagan and Packham, 2000）。本調査地域は、異なるマグマの不完全な混入のようすを残しており、マグマ分化過程を知る重要な地域であるが、広域の地質構造に関する研究以外の詳細な岩石鉱物学的研究はなされていない。

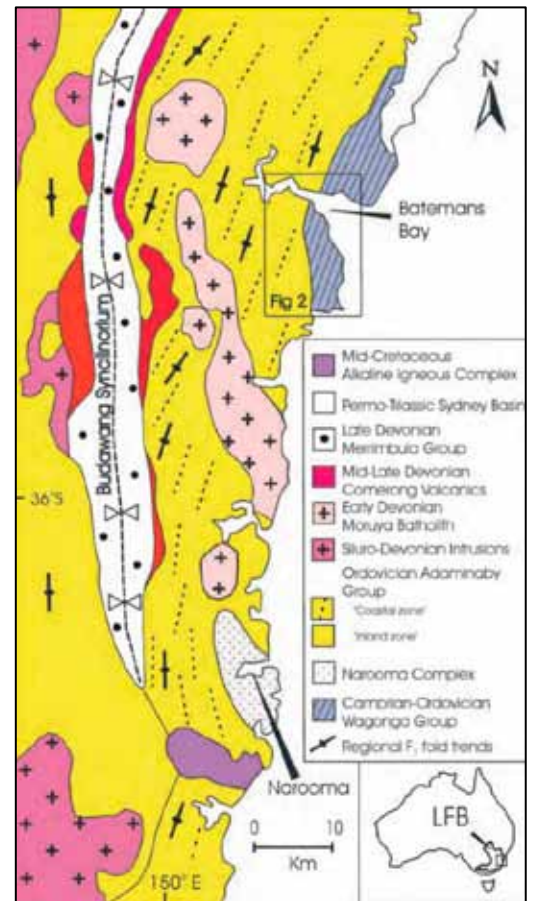


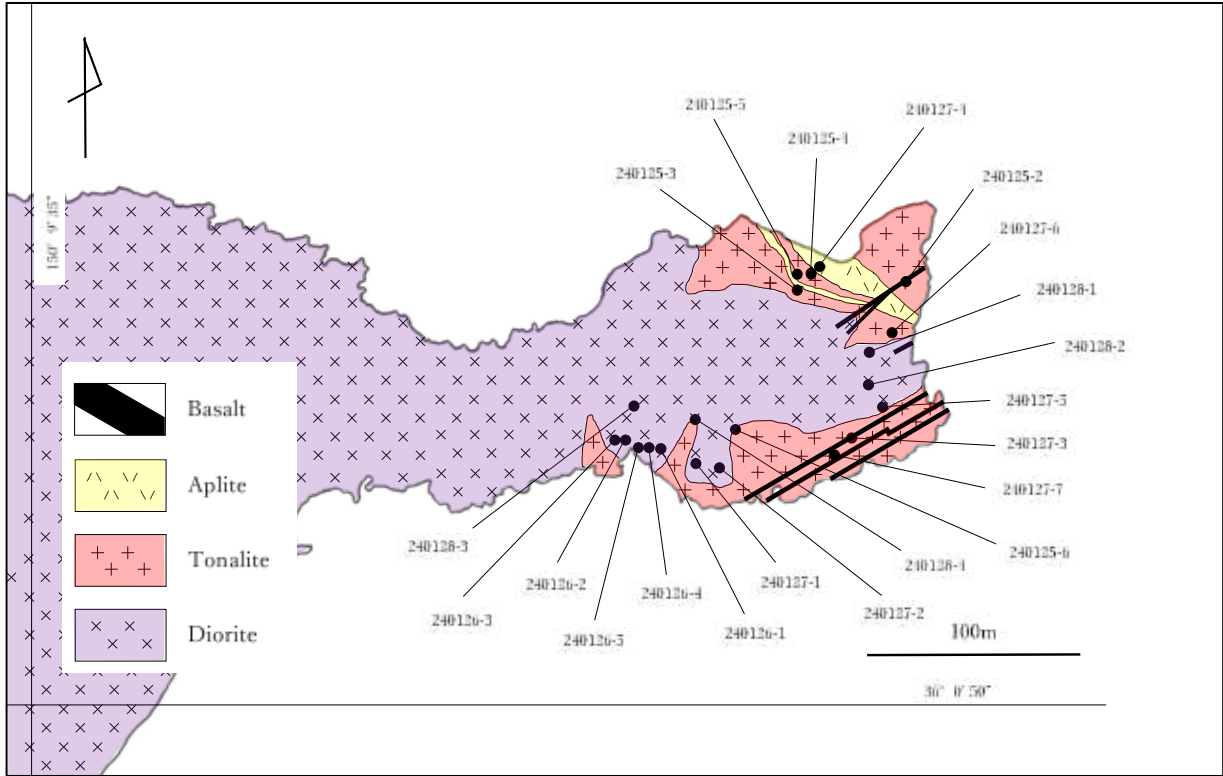
図 4 調査地域の広域地質図 (Prendergast, 2007)



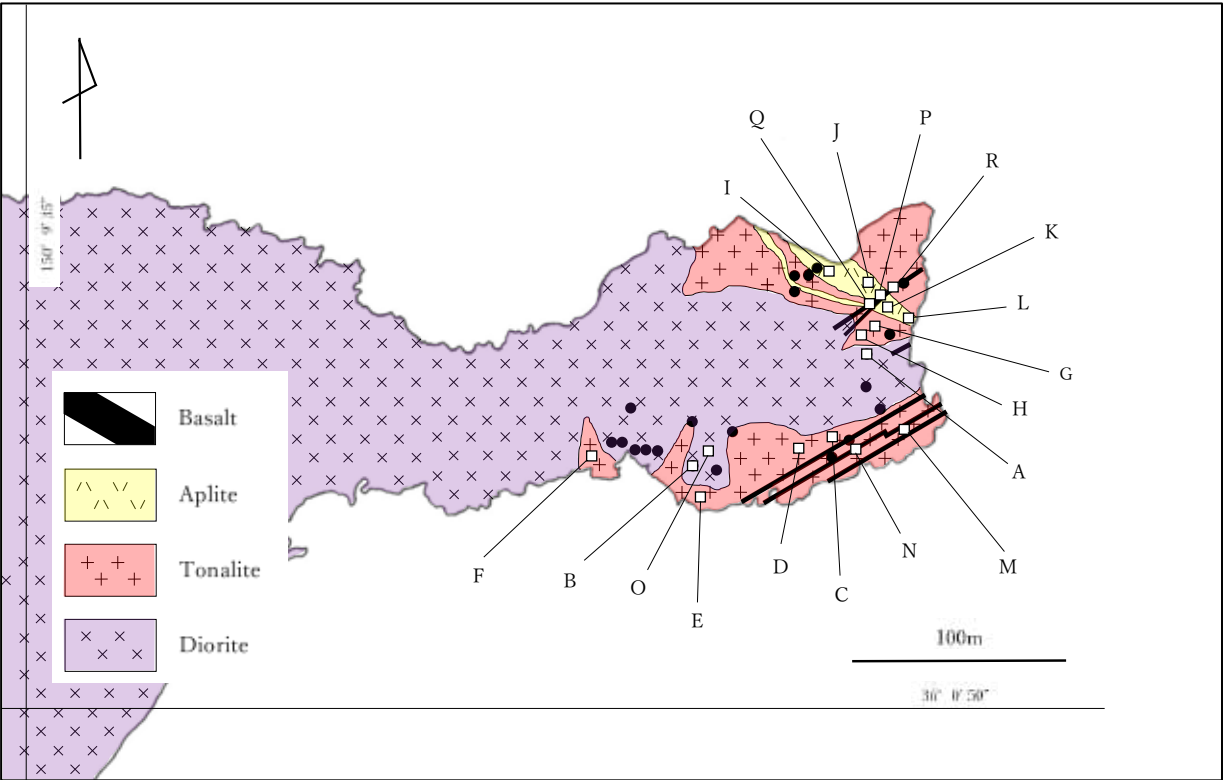
図 5 露頭調査地点 (Google Earth)

2. 調査地域の概要

調査地域は、Bingi Bingi Point 海岸線沿いの、周囲約 1.5km（[図 5](#)／南緯 36° 0′ 50″、東経 150° 9′ 22″）付近を中心とする露頭である。本研究では、露頭調査と岩石試料の採取を行い、岩石の分布と相互の関係を明らかにした（[図 6](#)）。[図 7](#)には、岩石記載のポイントを示す。



[図 6](#) 調査地域の岩石分布図と試料採取地点



[図 7](#) 岩石記載のポイント（□の A～R 地点）

(1) 閃緑岩

調査地域の大部分を占めており、風化の影響をほとんど受けていない。2mm～5mm 程度の粗粒な有色鉱物が目立つ（[図 7](#)の地点 A/[図 8](#)）。岩体の周縁部には、周囲のトーナル岩から二次的に支脈が入り込んでいる様子が見られ、ペグマタイトのような自形の角閃石や石英の巨晶が晶出している（地点 B/[図 9](#)）。



[図 8](#) 調査地域中央部の閃緑岩（地点 A）



[図 9](#) 閃緑岩に熱水支脈が入り角閃石や石英の巨晶が晶出している（地点 B）

(2) トーナル岩

調査地域の東部から西部に向けて、閃緑岩を包み込むように不規則に分布している。全体に閃緑岩の岩片が捕獲岩として包有されている。閃緑岩との接触部付近では、熱水支脈が不規則に染み込むように見られ、大小の閃緑岩の角ばったブロック状の捕獲岩がトーナル岩マグマの中に落ち込んでいる（地点 C～F/[図 10](#)）。ブロックの周縁部はゆるやかに溶食されて、やや丸みを帯びている。閃緑岩との接触部から離れるにつれて、閃緑岩は餅のように引き延ばされ、周囲がより強く溶食されて紡錘形となる（地点 G～H/[図 11](#)）。溶食されて紡錘形となった閃緑岩の捕獲岩がもとの閃緑岩と接触する付近には、細粒の有色鉱物（主に角閃石）が配列しており、トーナル岩マグマから熱の影響を受けたことを示している（地点 G/[図 12](#)）。トーナル岩に包有される閃緑岩の捕獲岩は、概ね閃緑岩との接触面にほぼ平行になるように配列している（[図 13](#)）。[表 1](#)に測定した閃緑岩捕獲岩の走向を、[図 14](#)には配列の散布図と測定数値の標準偏差を示す。



図 10 閃緑岩との接触部付近でブロック状の閃緑岩片を捕獲岩として包有するトーナル岩
(1 : 地点 C / 2 : 地点 D / 3 : 地点 E / 4 : 地点 F)



図 11 トーナル岩全面に包有される閃緑岩の捕獲岩は餅のように引き延ばされている
(1 : 地点 G / 2 : 地点 H)



図 12 トーナル岩に包有される閃緑岩の捕獲岩の周囲には細粒の角閃石が配列している（地点 G）

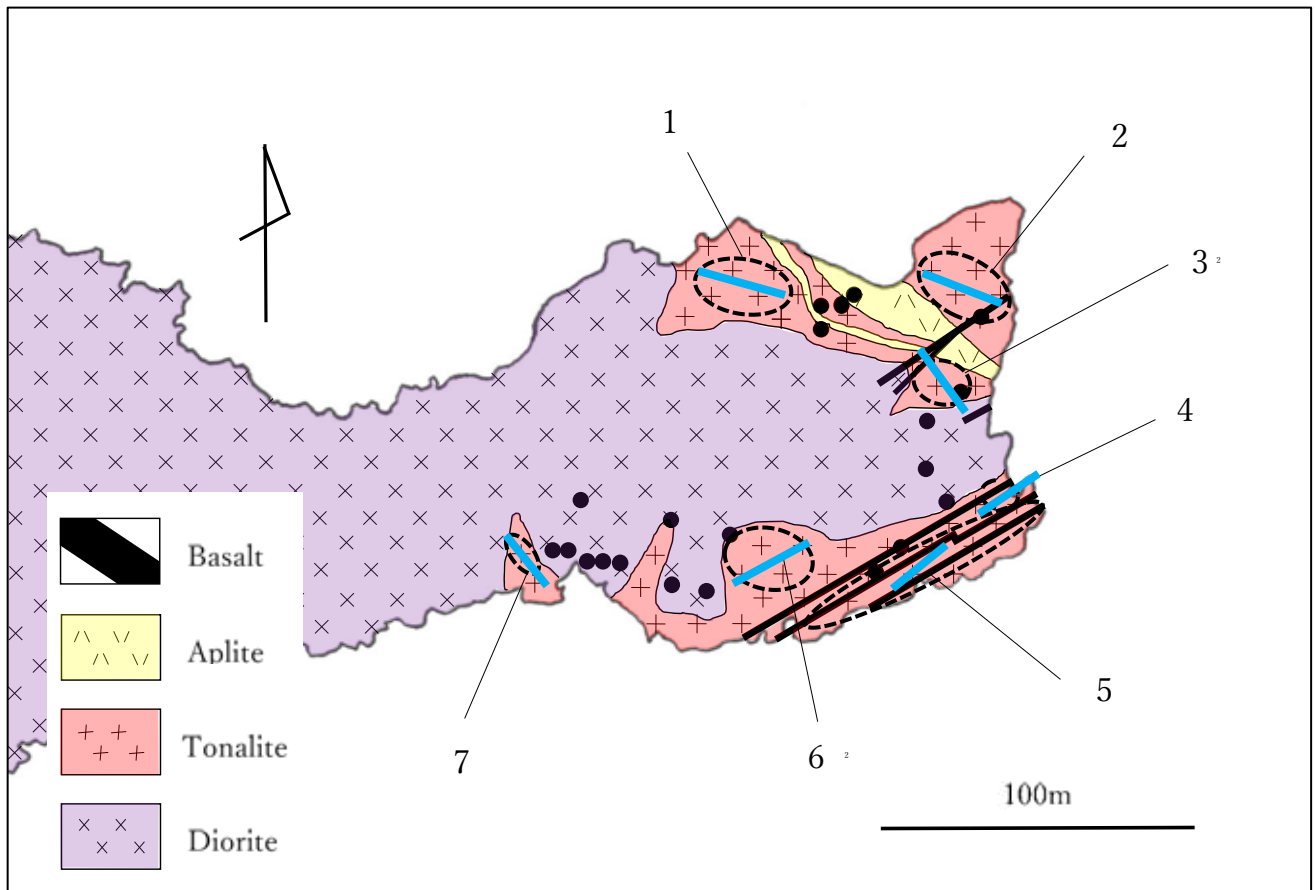
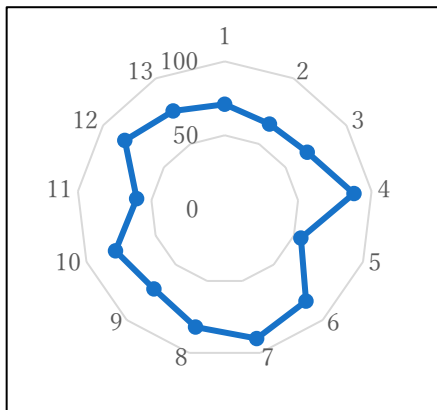


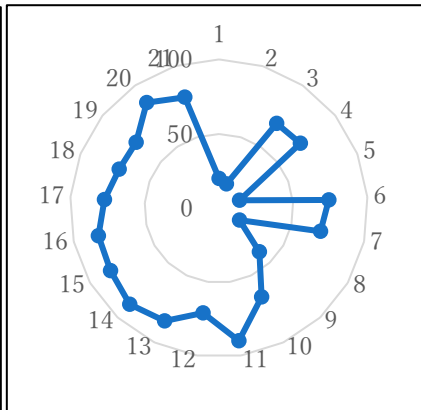
図 13 閃緑岩を包み込むトーナル岩に取り込まれる閃緑岩捕獲岩の走向（地域 1～7 の青線）

表 1 トーナル岩に取り込まれた閃緑岩捕獲岩の走向一覧

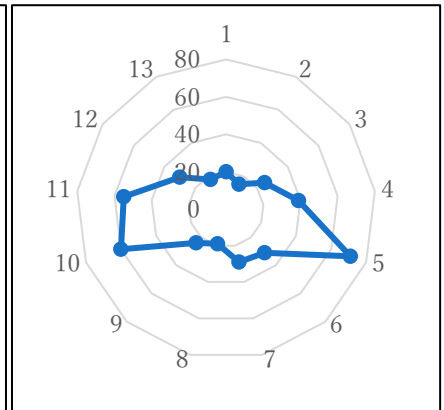
	地域 1	地域 2	地域 3	地域 4	地域 5	地域 6	地域 7
岩片 1	N71W	N20W	N20W	N14E	N27E	N61E	N20W
岩片 2	N65W	N17W	N15W	N15E	N55E	N32E	N15W
岩片 3	N68W	N69W	N25W	N82E	N56E	N43E	N25W
岩片 4	N88W	N70W	N39W	N68E	N74E	N16E	N25W
岩片 5	N55W	N15W	N71W	N73E	N19E	N60E	N39W
岩片 6	N83W	N74W	N31W	N69E	N78E	N60E	N71W
岩片 7	EW	N70W	N29W	N34E	N14E	N85E	EW
岩片 8	N82W	N16W	N19W	N33E	N21E	N69E	N18W
岩片 9	N72W	N40W	N24W	N35E	N32E	N55E	N30W
岩片 10	N79W	N66W	N60W	N83E	N46E	N80E	N26W
岩片 11	N60W	EW	N55W	N87E	N32E	N77E	
岩片 12	N82W	N71W	N30W	N60E	N50E	N85E	
岩片 13	N75W	N84W	N18W	N24E	N65E	N82E	
岩片 14		N88W		N83E	N54E		
岩片 15		N84W		N82E	N66E		
岩片 16		N83W			N76E		
岩片 17		N77W					
岩片 18		N72W					
岩片 19		N71W					
岩片 20		N86W					
岩片 21		N78W					
平均	N75W	N64W	N34W	N56E	N48E	N62E	N36W
標準偏差	10.262	24.929	17.046	26.219	20.628	20.552	23.556



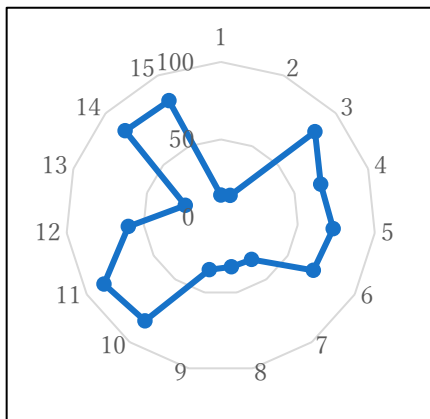
地域 1 (標準偏差 10.2622)



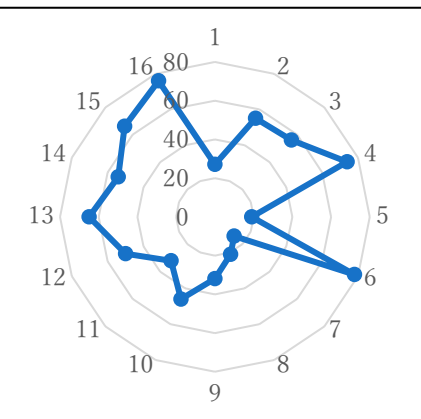
地域 2 (標準偏差 24.929)



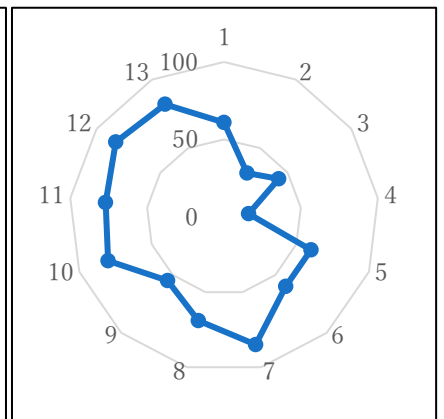
地域 3 (標準偏差 17.0457)



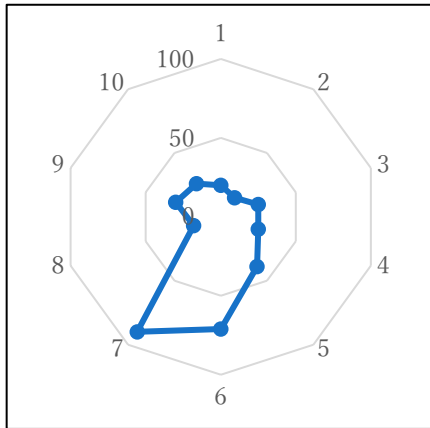
地域 4 (標準偏差 26.2192)



地域 5 (標準偏差 20.6283)



地域 6 (標準偏差 20.5519)



地域7（標準偏差 23.5561）

図 14 閃緑岩捕獲岩配列の散布図（地域 1 ～ 7）

（3）アプライト脈

Bingi Bingi Point 北西から南東部に N49W～N66W の方位で、閃緑岩とトーナル岩を貫くアプライト脈がみられる。アプライト脈は全体に淡黄色で、微細な有色鉱物からなる直径 10mm 前後の集合体を斑点状に含んでいる（図 15／地点 I）。アプライト脈は、北西部で幅が 3m をこえるが、南東に向かって次第に薄くなり、ついにはトーナル岩の中で分断されるように消える。地点 J では、様々な大きさの閃緑岩やトーナル岩の大小の岩片を捕獲岩としてブロック状に取り込んでいる（図 16／地点 J）。岩片はいずれもその周囲が溶食されており、K 地点では、それらの閃緑岩やトーナル岩の捕獲岩が紡錘形を呈して、N56W～N78W の走向に配列している（図 17／地点 K）。これはアプライト脈の貫入と同じ方位である。また南東部では、明瞭な流離様の構造が確認できる（図 18／地点 L）。



図 15 黒色の有色鉱物の集合体（地点 I）



図 16 岩片をブロック状に取り込む（地点 J）



図 17 周囲が強く溶食されたさまざまな大きさの閃緑岩やトータル岩の捕獲岩の配列（地点 K）



図 18 明瞭な流離様の構造（地点 L）

（4）玄武岩

Bingi Bingi Point 南部には、表面が赤く酸化した玄武岩脈（走向 N56E～N71E）と黒色の玄武岩脈（走向 N47E～N69E）の 2 種類が、北東から南西方向にほぼ平行にのびている（図 19／地点 M）。一方、Bingi Bingi Point 北部の玄武岩は走向 N48E で北東から南西にのびている（図 23／地点 R）。南部（地点 M）の表面が赤く酸化した玄武岩脈は幅 10cm 程度でほぼ一定で、幅 20cm～最大幅 140cm の黒色の玄武岩に切られており、さらに固結後に張力が働いて途中で左右にずれている（図 20／地点 N）。南部および北部の黒色玄武岩脈は、いずれも閃緑岩やトータル岩、アプライト脈を切って直線的に伸びている（図 21／1：地点 O／2：地点 P、図 22／地点 Q、図 23／地点 R）。玄武岩との接触部のアプライトには、黒色玄武岩による熱の影響がみられる（図 22／地点 Q）。赤色および黒色玄武岩は、いずれもアプライトの岩片を捕獲岩として包有している（図 20／地点 N、図 23／地点 R）。これらの玄武岩は、岩石分布図に記すことができない程度の小規模で、調査地域の南西方向に点々と伸びて顔を出しているのが確認できる。



図 19 赤色と黒色の玄武岩脈（地点 M）



図 20 黒色玄武岩によって切られる横ずれした赤色玄武岩（地点 N）



図 21 黒色玄武岩がトーナル岩を貫く（1：地点 O／2：地点 P）



図 22 玄武岩とアプライトの接触部（地点 Q）



図 23 玄武岩中のアプライト捕獲岩（地点 R）

3. 岩石試料

採取した岩石の特徴を簡潔に表 2 にまとめた。岩石試料の写真は図 24 に示す。調査地域の大部分を占めている閃緑岩には、周囲のトーナル岩からのびて石英や斜長石が大きく発達している支脈が見られるほか、閃緑岩片がトーナル岩に包有されている。また、閃緑岩との接触部のトーナル岩には、細粒の角閃石が配列している様子が確認できる。

表 2 岩石試料の簡潔な記載

試料番号	岩石名	特 徴
240125-2	玄武岩	黒色玄武岩。1～2 mm長の斜長石が斑状に見られる。
240125-3	玄武岩	黒色玄武岩。1～2 mm長の斜長石が斑状に見られる。
240125-4	アプライト	全体に淡黄色。1 mm以下の有色鉱物が部分的に斑状に濃集している。石英が目立ち、流理様の構造が見られる。最大長 8 mmの針状の自形角閃石が配列している。
240125-5	アプライト	全体に淡黄色。部分的に 1 mm以下の有色鉱物が集合して、直径 10mm程度の斑状模様を作っている。石英が目立ち、流理様の構造が見られる。最大長 8 mmの針状の自形角閃石が配列している。
240125-6	閃緑岩／トーナル岩	閃緑岩には、最大 3 mmの明瞭なへき開面を持つ自形の粒状の角閃石が多く、石英は少ない。これと接するトーナル岩は、最大 3 mmの自形角閃石や最大 10 mmの粒状の石英および斜長石からなる。 閃緑岩のモード組成は、石英 4%、斜長石 56%、カリ長石 6%、角閃石 31%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、ルチル、変質鉱物をわずかに含む。トーナル岩は、石英 19%、斜長石 62%、カリ長石 6%、角閃石 11%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、ルチル、わずかな変質鉱物からなる。
240126-1	閃緑岩	15 mm×2 mm程度のへき開面が明瞭な自形～半自形の長柱状の角閃石が目立つ。その他 10 mm×4 mm程度の長石や粒状の石英からなる。
240126-2	閃緑岩	最大 20 mm×7 mmのへき開面が明瞭な自形角閃石の間を長石が埋めている。
240126-3	閃緑岩	3 mm×4 mm程度のへき開面が明瞭な自形～半自形の角閃石、5 mm×3 mm程度の短柱状の長石からなる。
240126-4	トーナル岩	最大 10 mm×5 mmの石英が多く、最大 5 mm×3 mmの自形～半自形の角閃石や長石が見られる。
240126-5	閃緑岩	最大長 5 mmの明瞭なへき開面を持つ自形角閃石や長石が目立つ。熱水脈がみられる。モード組成は、石英 4%、斜長石 46%、カリ長石 4%、角閃石 44%、そのほか磁鉄鉱、燐灰石、スフェーンである。
240127-1	閃緑岩／トーナル岩	最大 10 mm×3 mmの短柱状の自形角閃石や斜長石、粒状の石英からなる。

240127-2	閃緑岩／トータル岩	トータル岩に包有された閃緑岩片は、多くの5 mm×5 mm程度の明瞭なへき開を持つ自形角閃石であり、細粒の斜長石や石英を含む。これと接するトータル岩は、最大3 mm×2 mmの長柱状の自形角閃石や最大5 mm×4 mmの斜長石、粒状の石英からなる。境界部の閃緑岩の角閃石は細粒～中粒であり、明瞭な境界線を形成している。 閃緑岩のモード組成は、石英3%、斜長石58%、カリ長石6%、角閃石29%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、変質鉱物である。トータル岩は、石英17%、斜長石60%、カリ長石6%、角閃石12%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、変質鉱物である。
240127-3	玄武岩	黒色の玄武岩。1～2 mm長の斜長石が斑状に見られる。ガラスの成分が多い。
240127-4	トータル岩／閃緑岩	トータル岩が閃緑岩を包有している。閃緑岩片の自形角閃石、斜長石は最大2 mmであり、閃緑岩の接触部はより細粒である。トータル岩は最大10 mm×3 mmの自形角閃石や10 mm×4 mm程度の斜長石、カリ長石（最大20 mm×10 mm）からなっている。
240127-5	閃緑岩	最大5 mmの明瞭なへき開面を持つ自形の角閃石が目立つ。モード組成は、石英4%、斜長石57%、カリ長石6%、角閃石30%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、燐灰石、変質鉱物である。
240127-6	閃緑岩／トータル岩	最大5 mmの明瞭なへき開面を持つ自形の角閃石と長石が目立つ。最大30 mm×20 mmの自形石英や最大20 mm×7 mmの自形長石などからなるペグマタイト脈と接している。
240127-7	玄武岩	全体に酸化されて淡赤色化している。1～2 mm長の斜長石にまじって最大10 mm×5 mmの斜長石が斑状に見られる。ガラスの成分が多い。
240128-1	トータル岩／閃緑岩	最大10 mm×10 mmの自形角閃石や、20 mm×8 mmの自形斜長石、粒状の石英からなるトータル岩と、2 mm×1 mmの自形角閃石、最大5 mm×3 mmの斜長石、細粒状の石英からなる閃緑岩の接触部。接触部の閃緑岩には細粒の角閃石が配列している。
240128-2	閃緑岩	最大長5 mmの明瞭なへき開面を持つ自形の角閃石と長石が目立つ。モード組成は、石英3%、斜長石58%、カリ長石5%、角閃石31%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、変質鉱物からなる。
240128-3	閃緑岩	最大長3 mmの明瞭なへき開面を持つ自形角閃石が多く、石英はわずかである。
240128-4	トータル岩／閃緑岩	最大10 mm×10 mmの自形角閃石や、20 mm×8 mmの自形斜長石、粒状の石英からなるトータル岩と、2 mm×1 mmの自形角閃石、最大5 mm×3 mmの斜長石、粒状の石英からなる閃緑岩の接触部。接触部の閃緑岩には細粒の角閃石が並んでいる。 トータル岩のモード組成は、石英17%、斜長石61%、カリ長石6%、角閃石13%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、変質鉱物である。

	閃緑岩は、石英 4%、斜長石 60%、カリ長石 4%、角閃石 29%、そのほか磁鉄鉱、スフェーン、燐灰石、変質鉱物である。
--	---



試料 240125-2



試料 240125-3



試料 240125-4



試料 240125-5



試料 240125-6



試料 240126-1



試料 240126-2



試料 240126-3



試料 240126-4



試料 240126-5



試料 240127-1



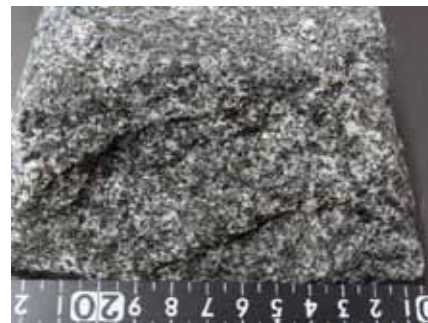
試料 240127-2



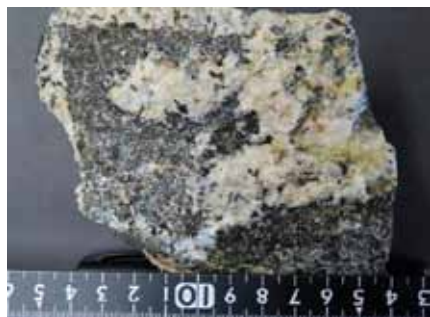
試料 240127-3



試料 240127-4



試料 240127-5



試料 240127-6



試料 240127-7



試料 240128-1



試料 240128-2



試料 240128-3



試料 240128-4

図 24 採取した岩石試料

4. 岩石薄片の記載（角閃石を中心に）

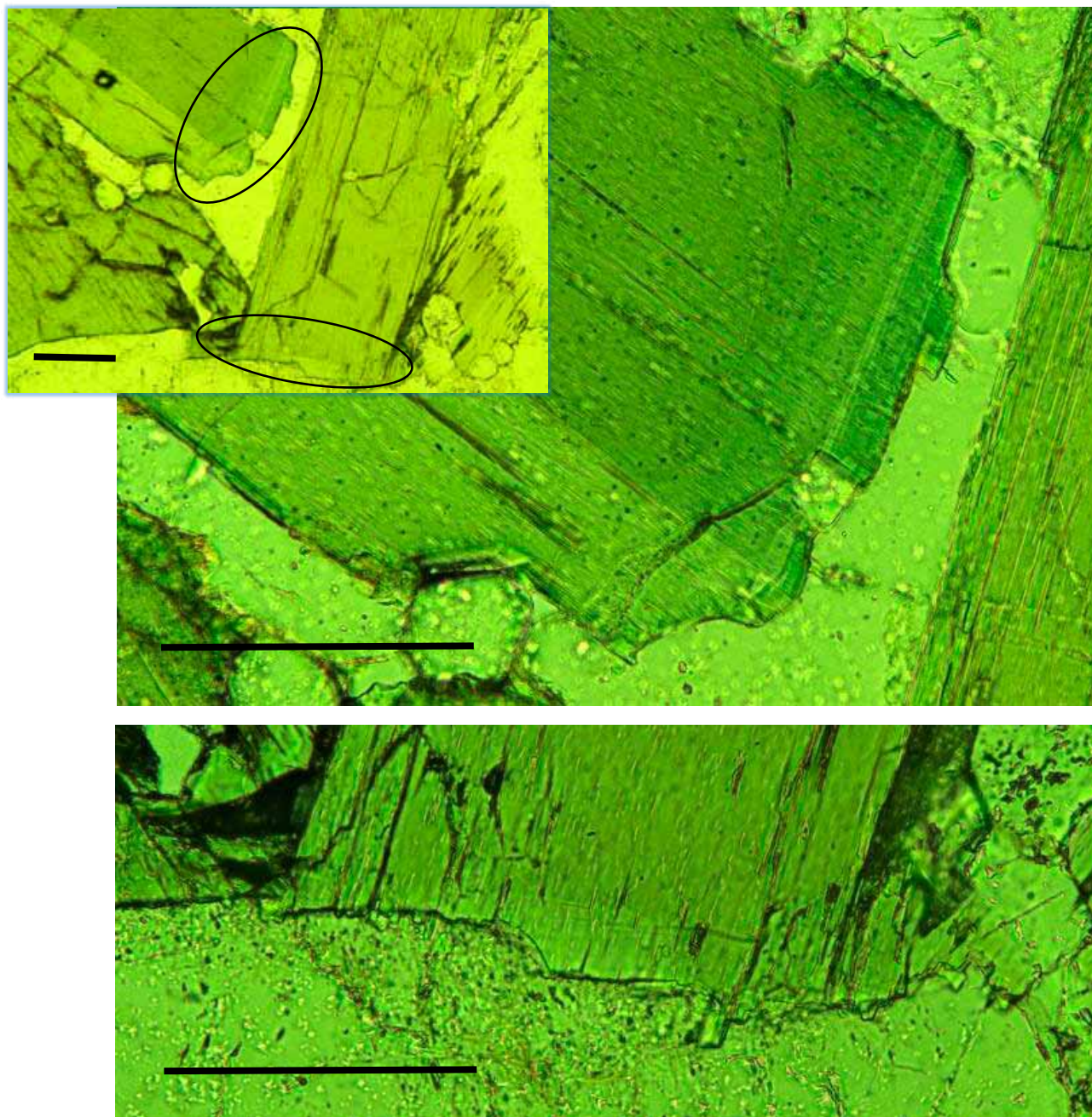
閃緑岩およびトータル岩試料（試料番号 240125-6、240126-5、240127-2、240127-5、240128-2、240128-4）の研磨薄片を各試料 2 枚ずつ合計 12 枚作成し、偏光顕微鏡で詳細に観察した。

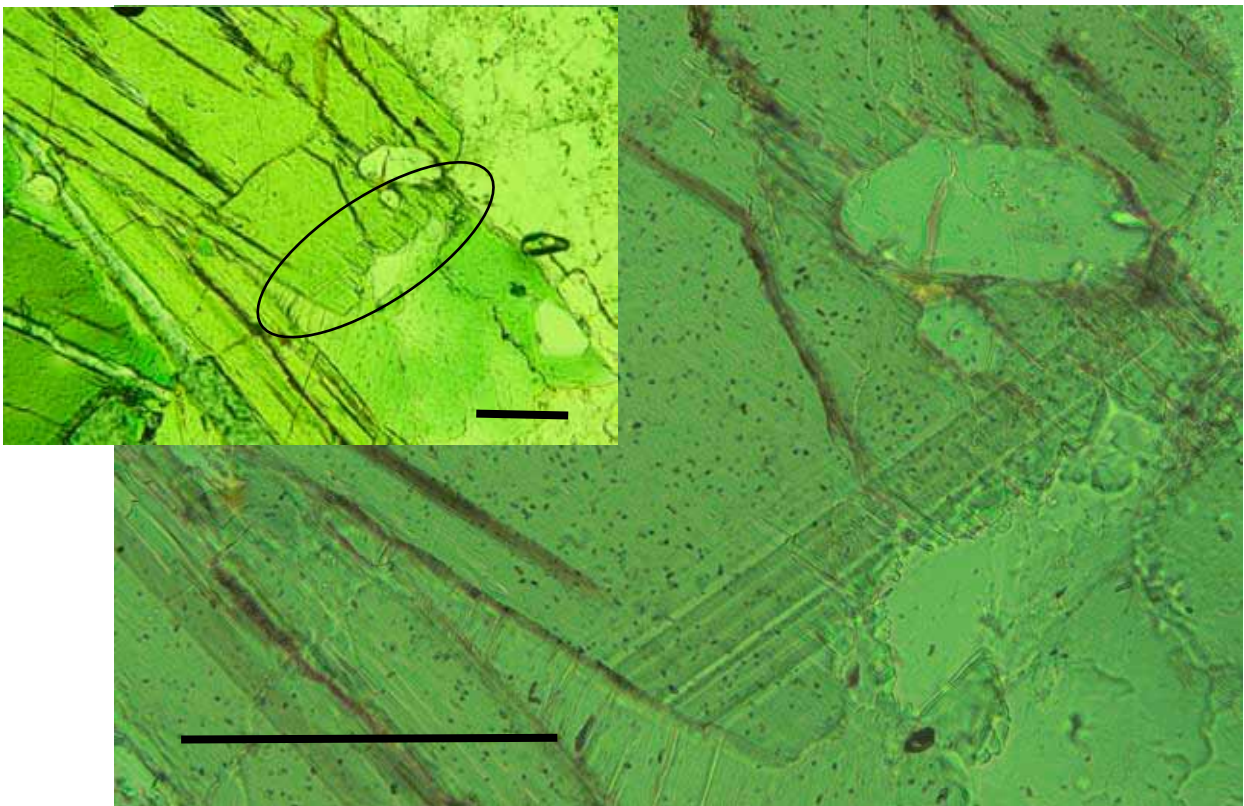
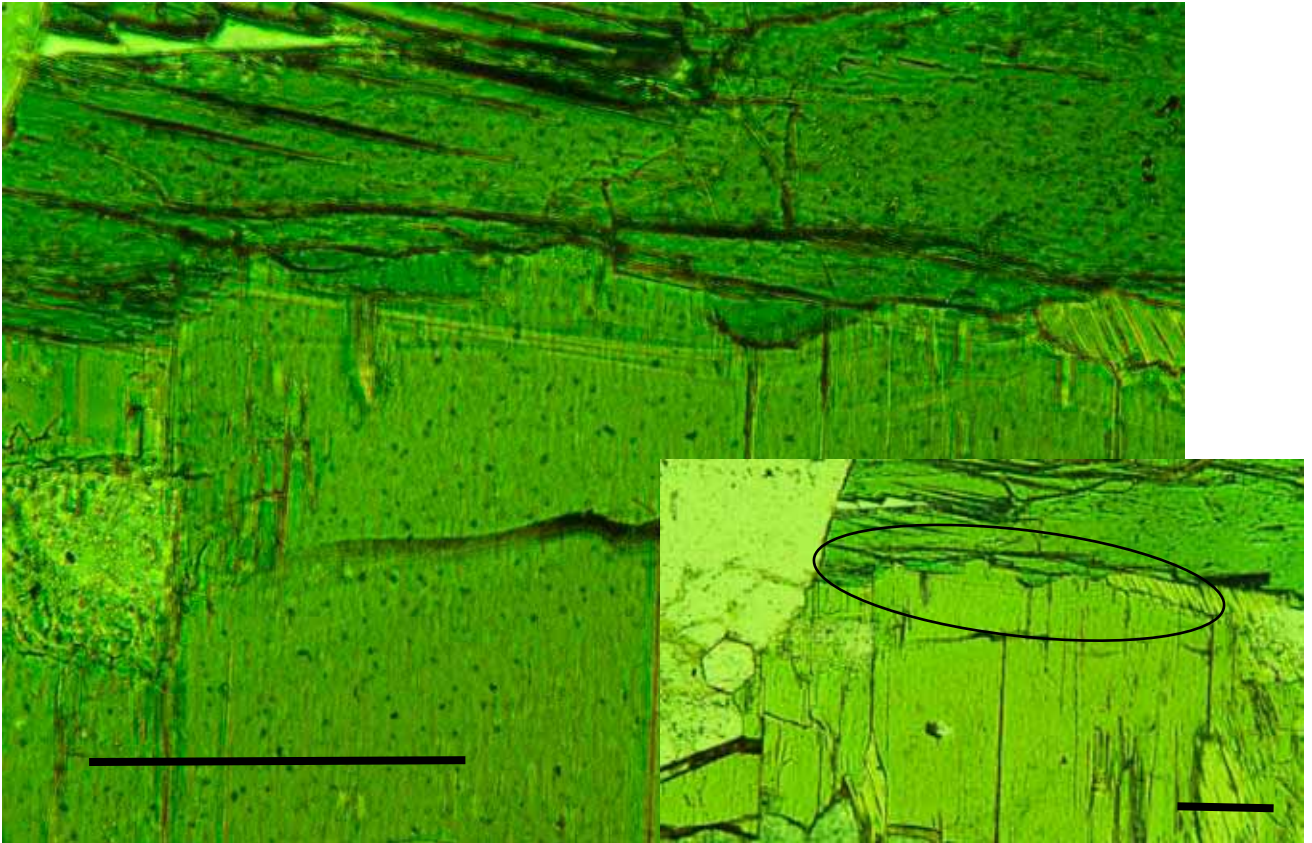
閃緑岩とトータル岩はいずれも構成鉱物は同じで、斜長石と角閃石を多く含むほか、他形で鉱物間を充填するように、スフェーン、磁鉄鉱、リン灰石をわずかに含む。磁鉄鉱は少ないが、角閃石の淡緑色リム部に自形や半自形の磁鉄鉱が共存している。測定した各岩石試料のモード組成を表 2 に示した。

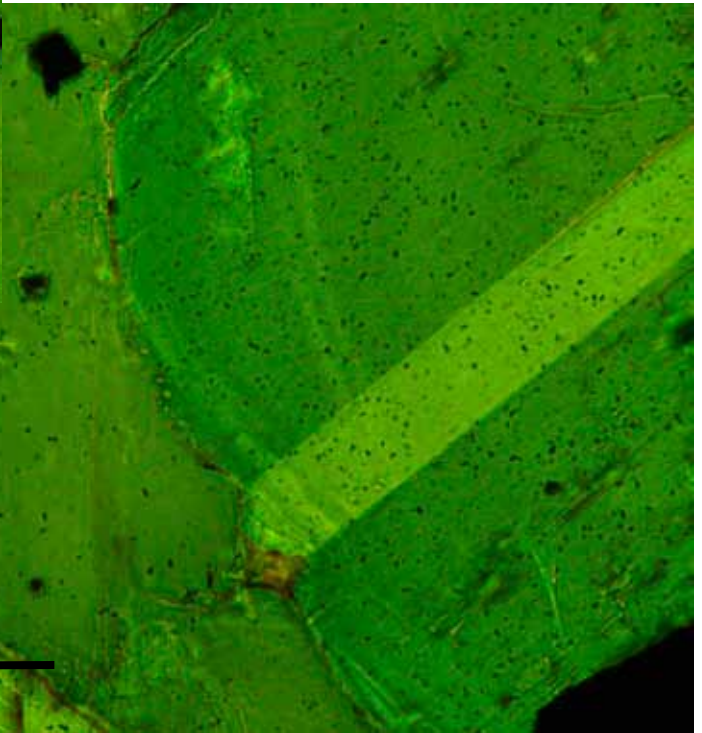
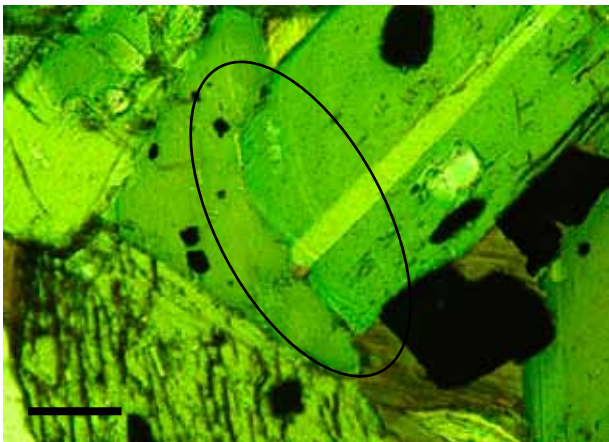
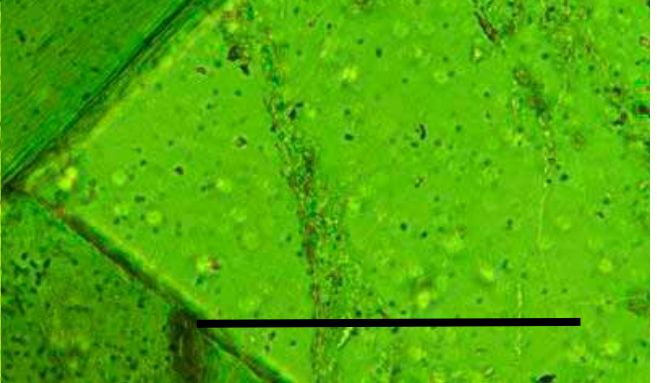
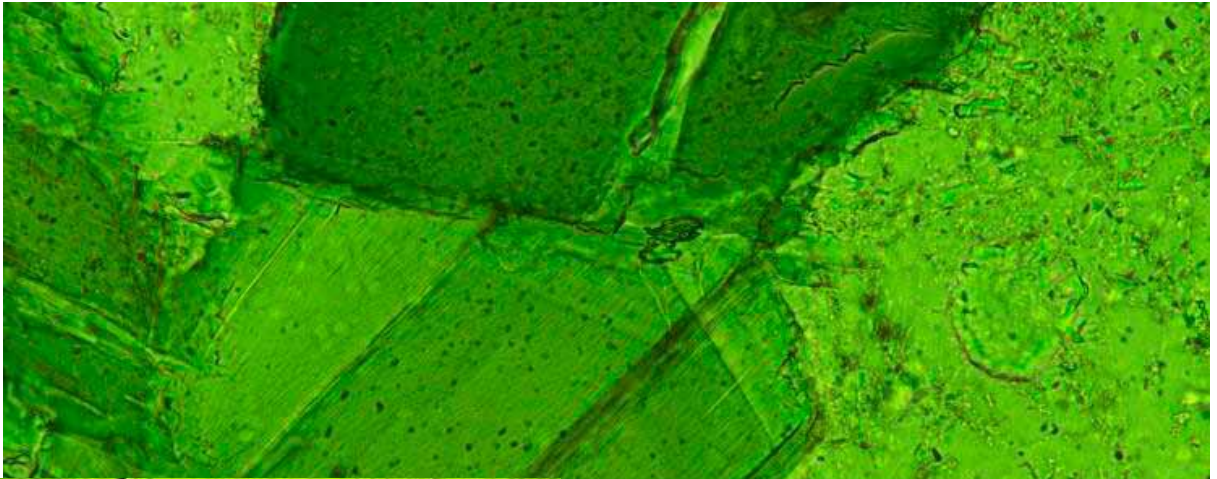
閃緑岩の角閃石から、明瞭な波状累帯構造を発見した（図 25～図 30）。特に、トータル岩と接する閃緑岩（試料番号 240125-6、240126-5、240127-2、240127-5、240128-4）から多く発見された。たとえば試料 240127-5 の閃緑岩からは、25mm×35mm の薄片から 80 個以上の波状累帯構造が発見された。西南日本山陰帯では 2～3 個程度、山陽帯では 1 枚の 1 個見つかるかどうかという頻度であることを考えると極めて発達の高。波状累帯構造は、淡緑色のリム部に発達しており、淡褐色のコア部からは発見できない。角閃石の波状累帯構造は、結晶成長の c 軸方向に結晶の外縁部に形成されている。波状累帯構造の多

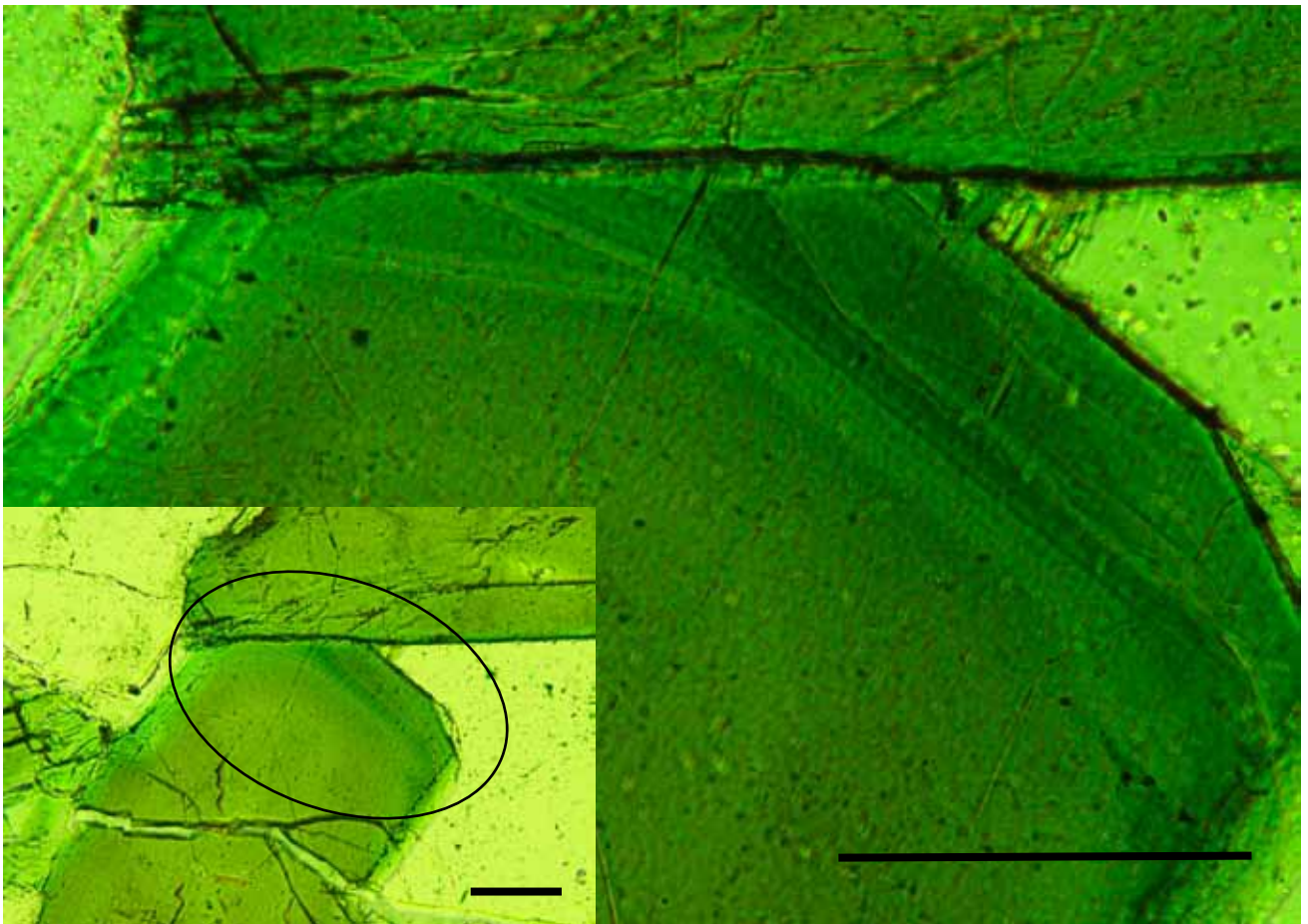
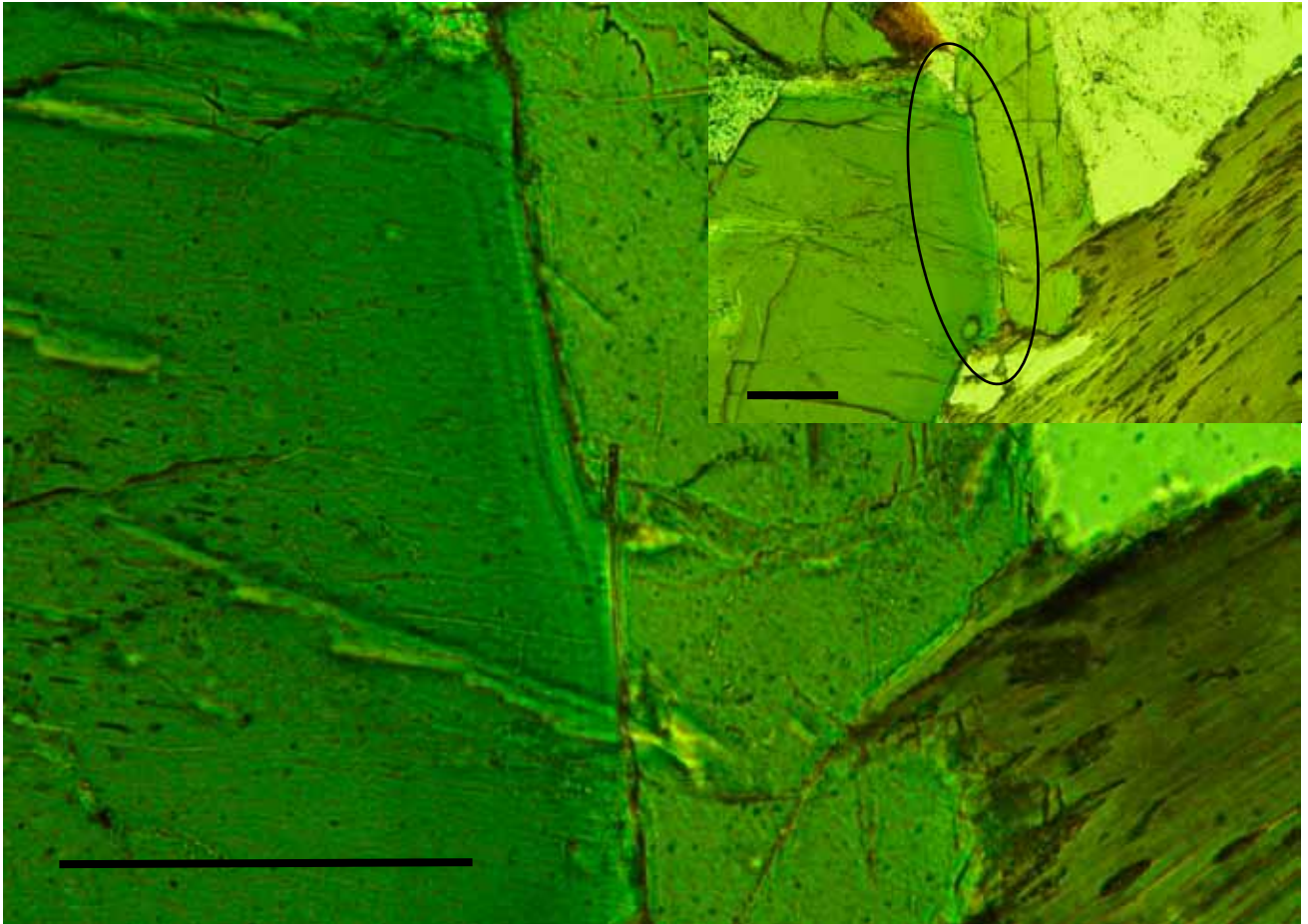
くは、途中で折れ曲がったり、外側の累帯構造によって内側の累帯構造が切られたりしており、結晶の外側から数度の熱水残液の作用を受けて形成されたことを示している。

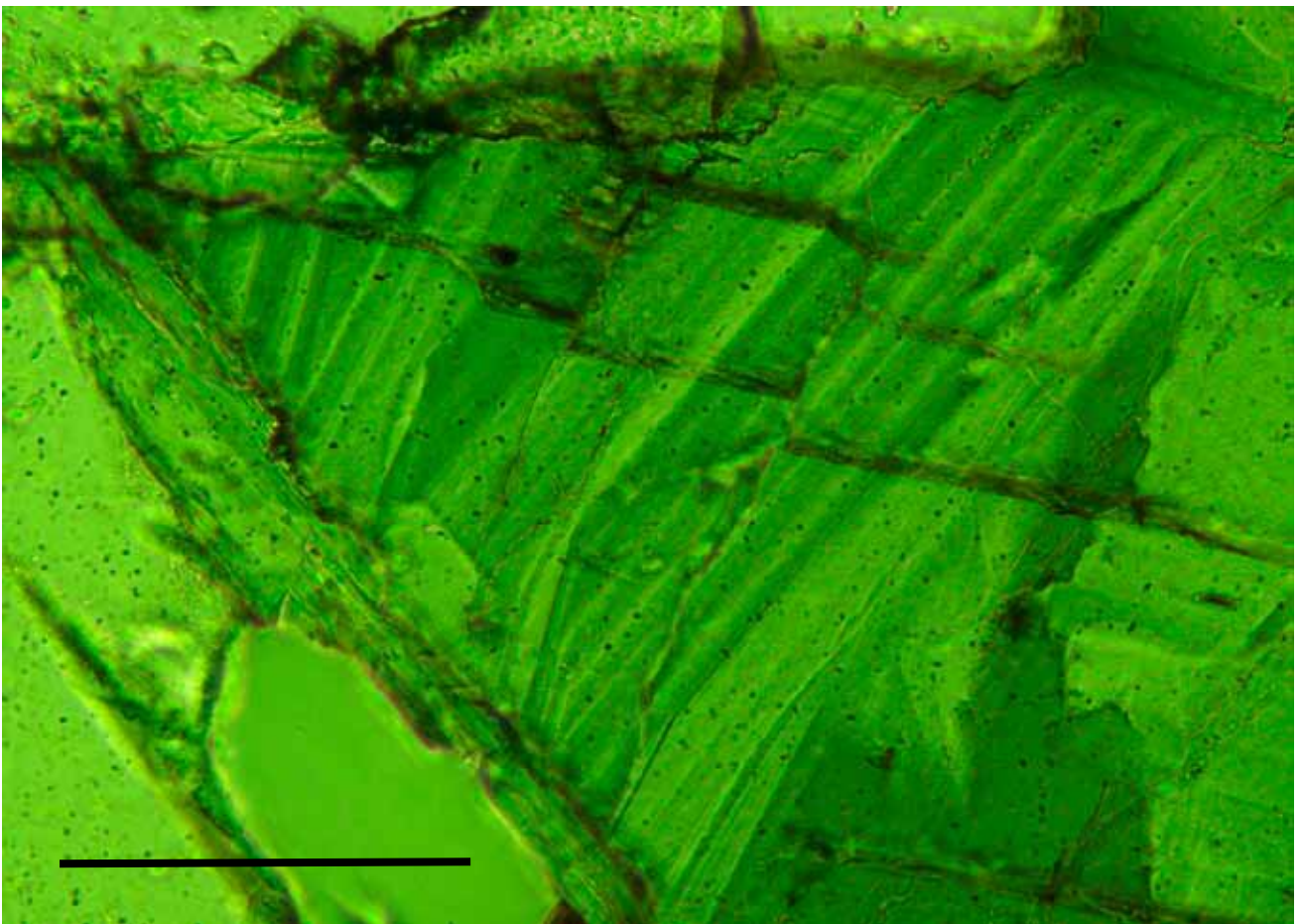
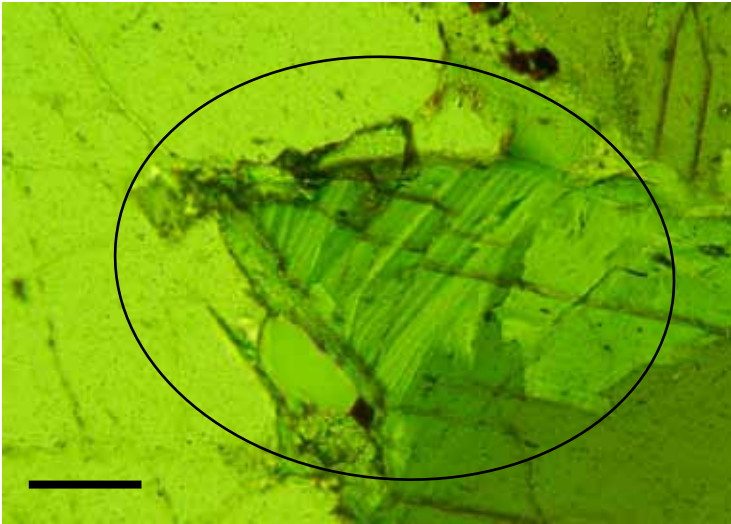
一方、トータル岩との接触部から離れている閃緑岩（試料番号 240128-2）の角閃石には不定形にコア部が残存し、その間隙に波状累帯構造が発達している。波状累帯構造をなす帯 1 本の幅は大きく変化しており、うねるような形状である。

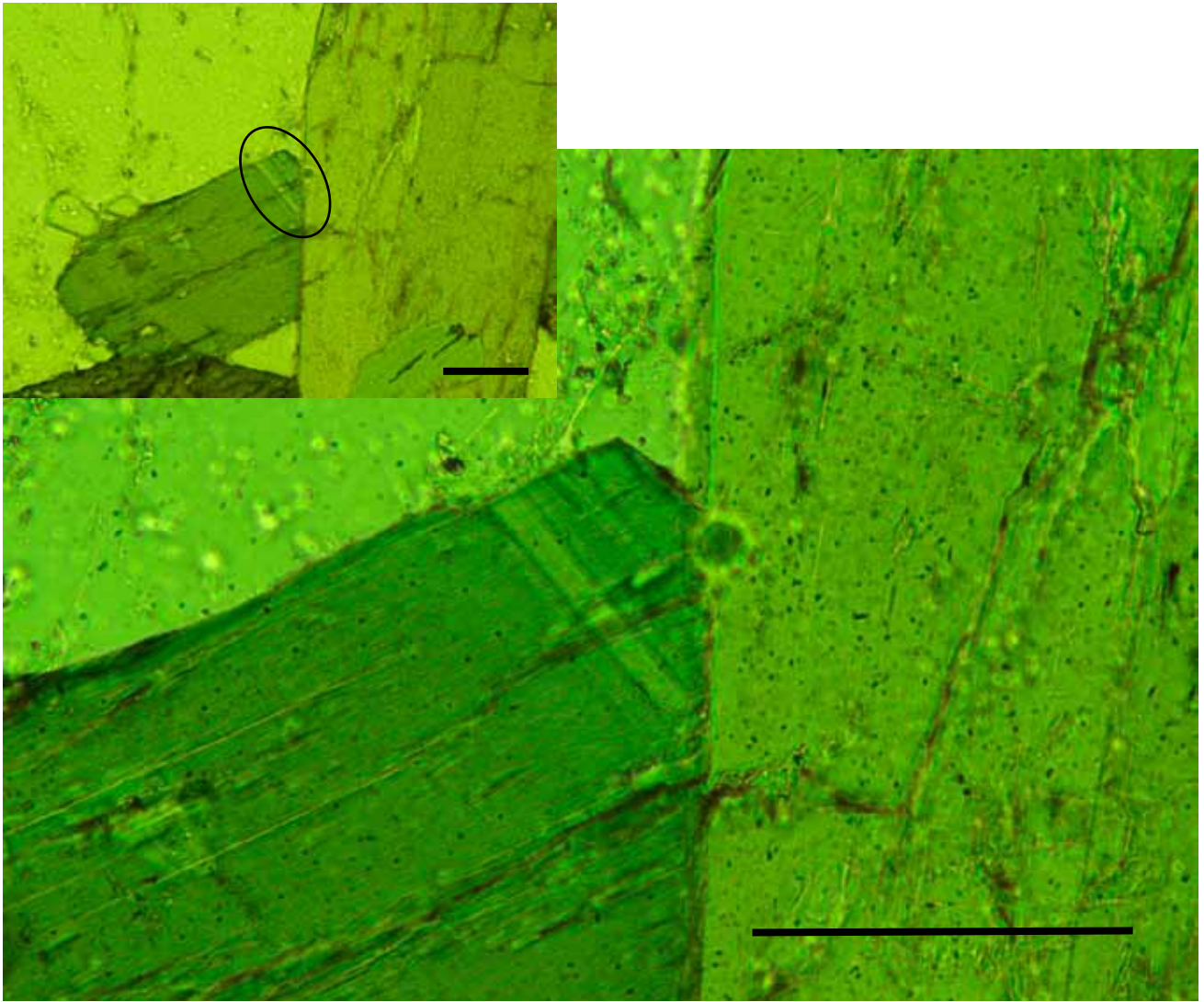


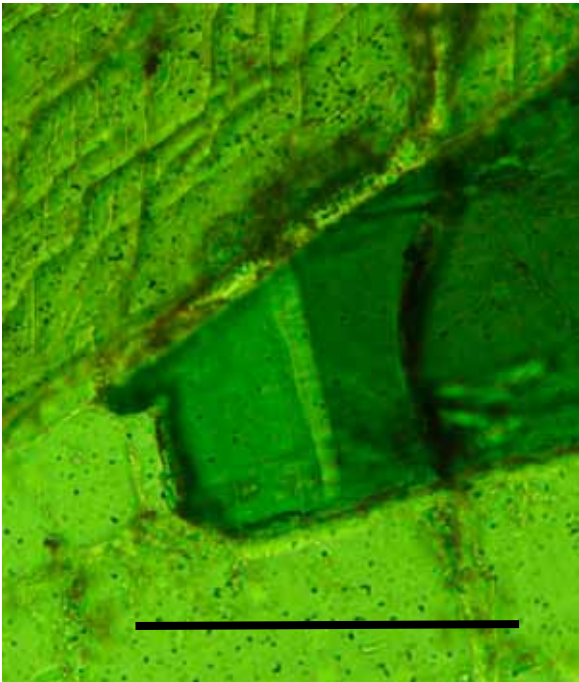
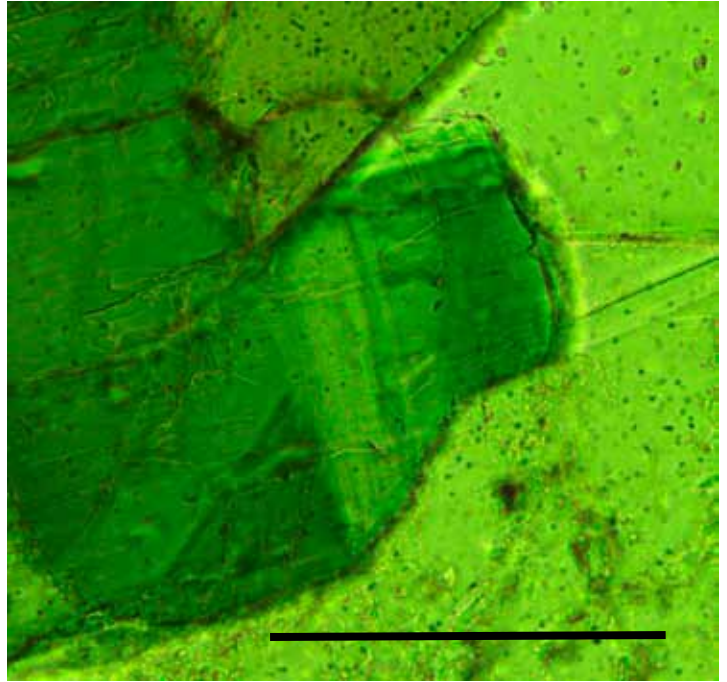
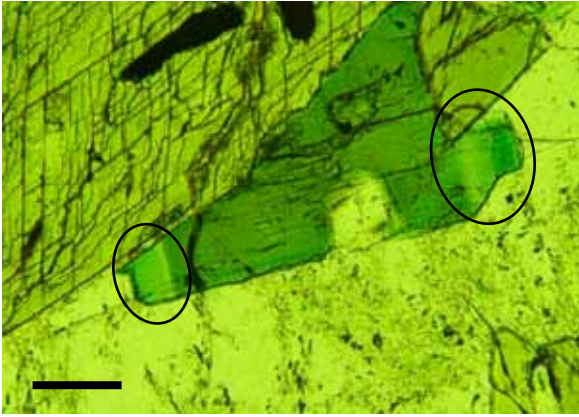












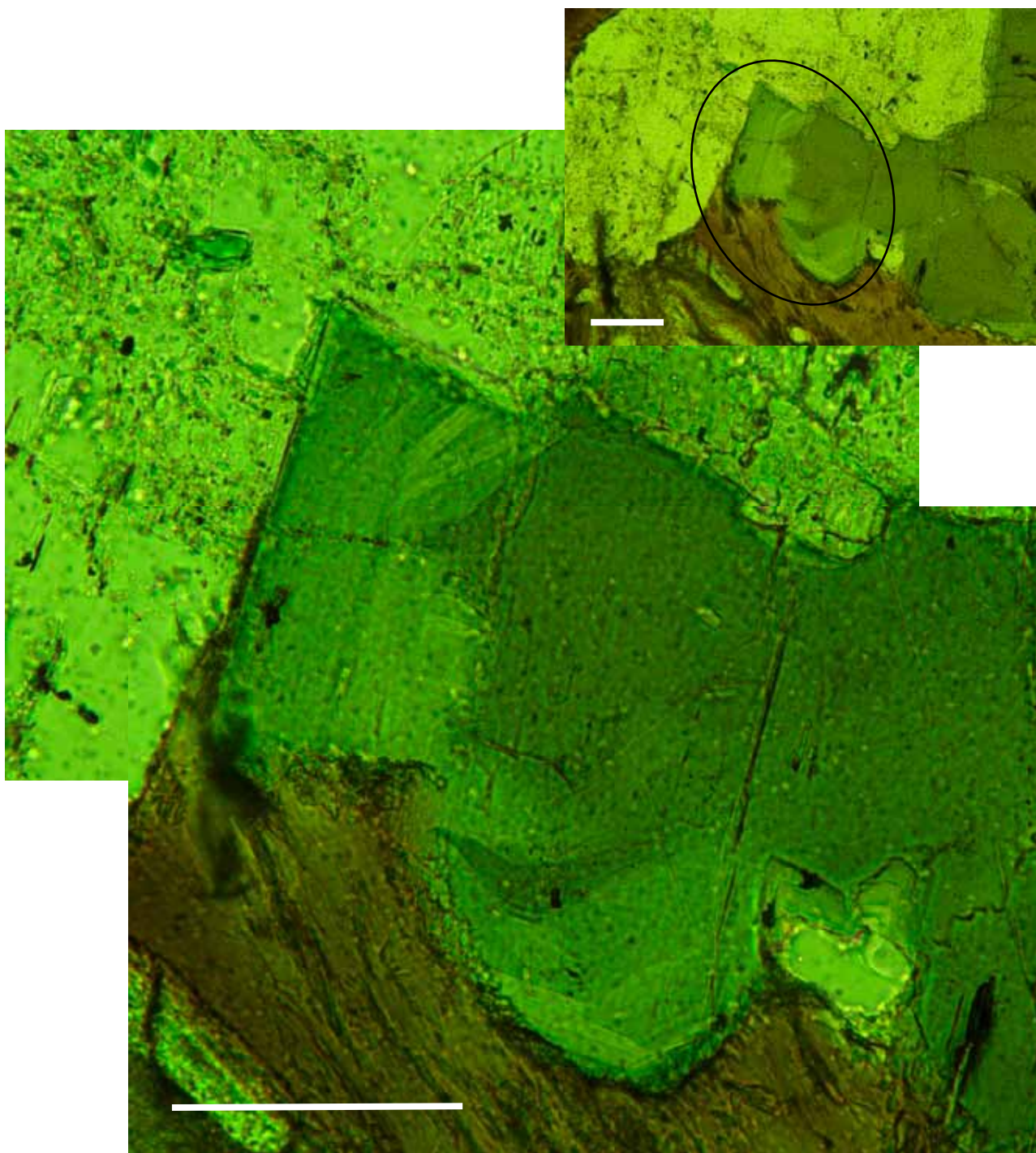
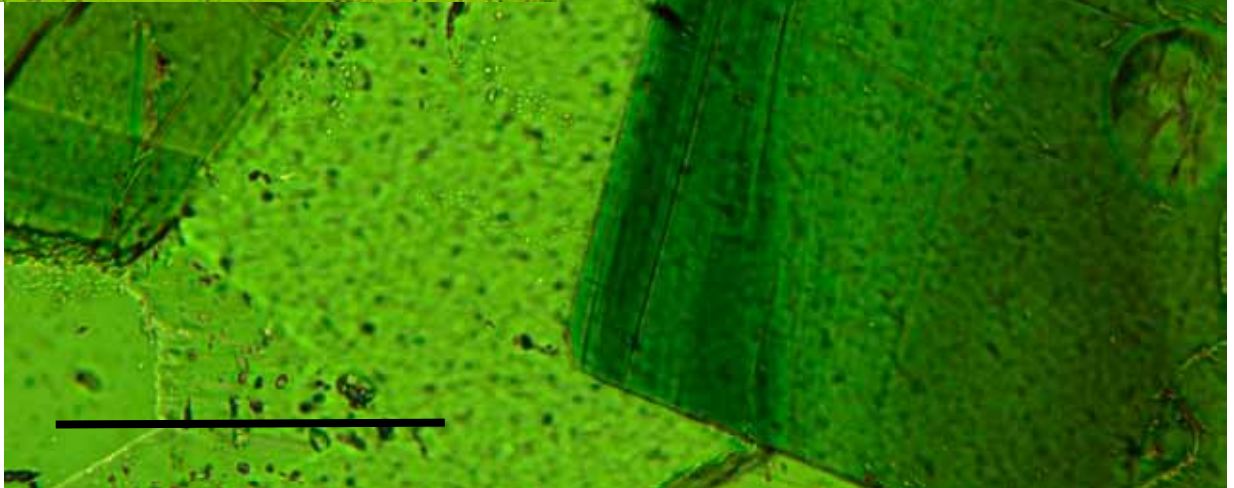
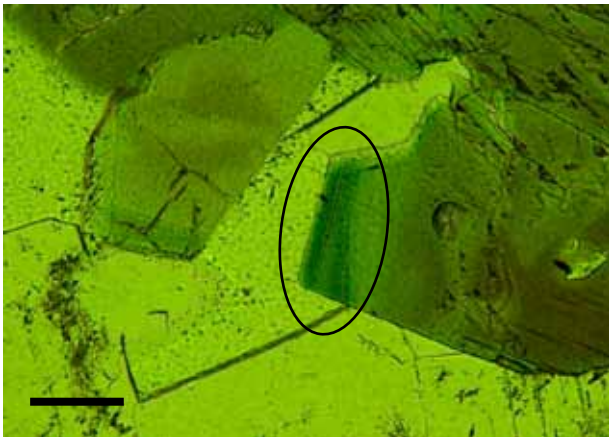
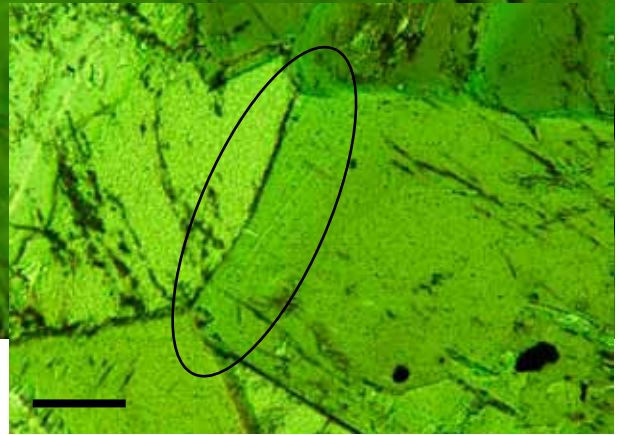
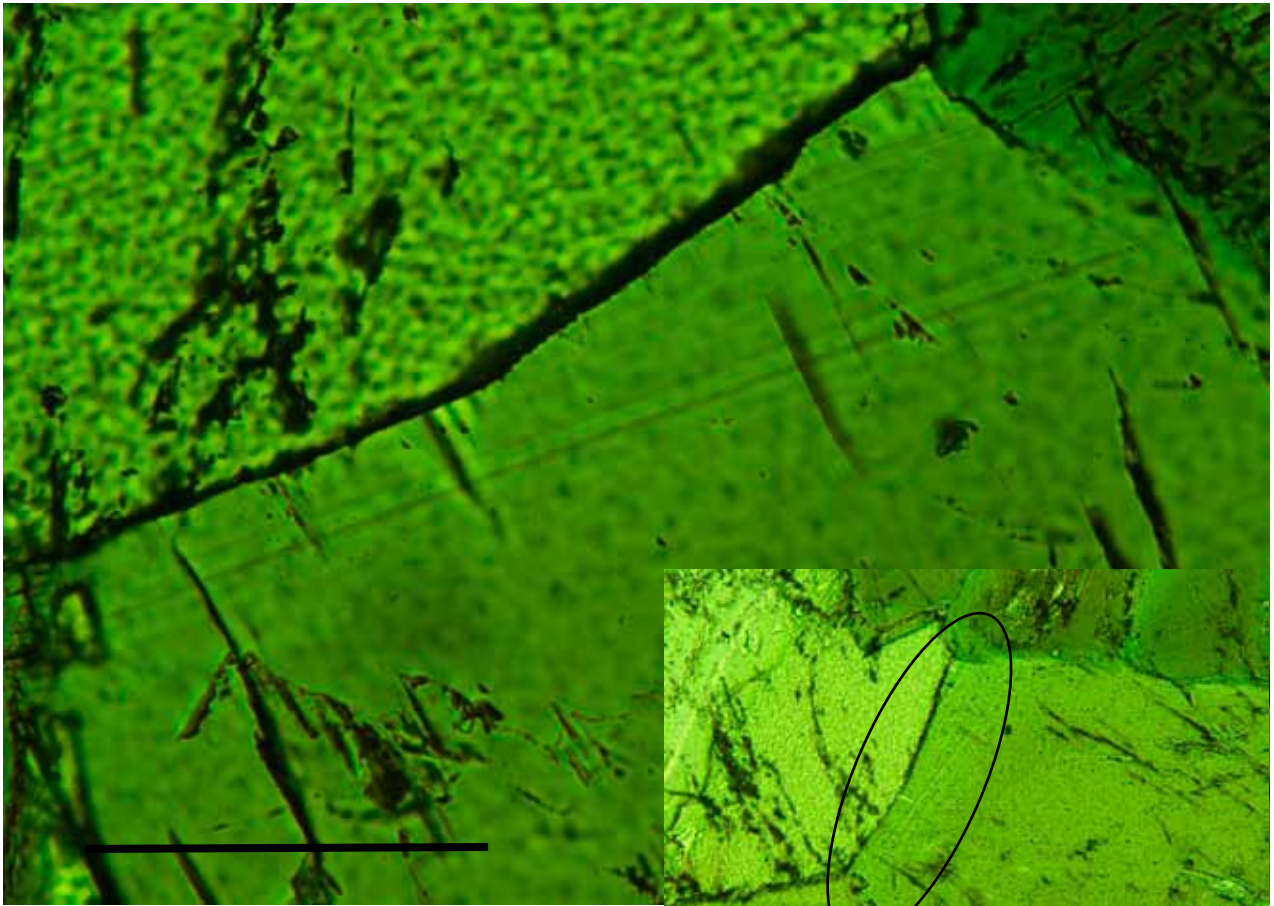
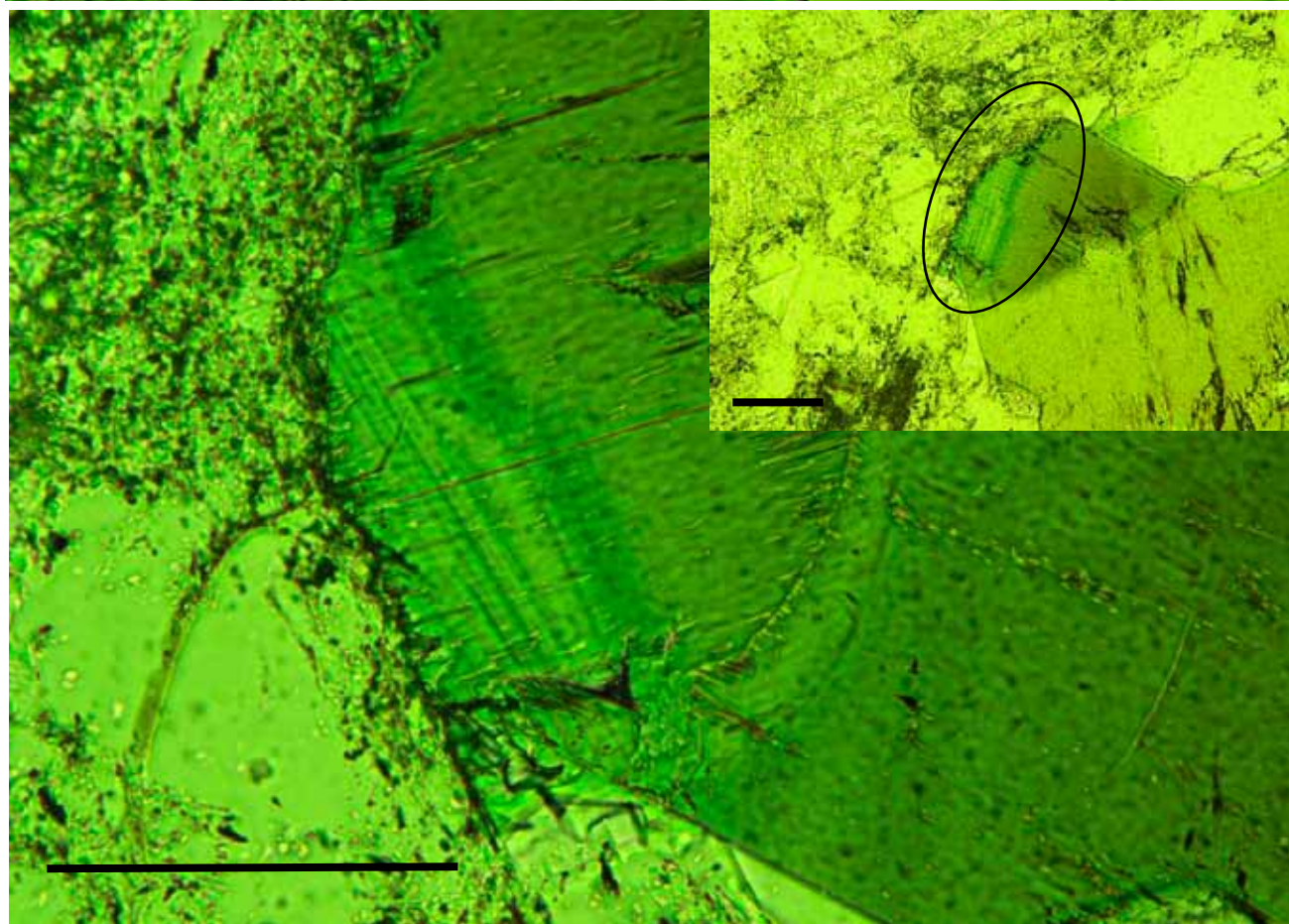
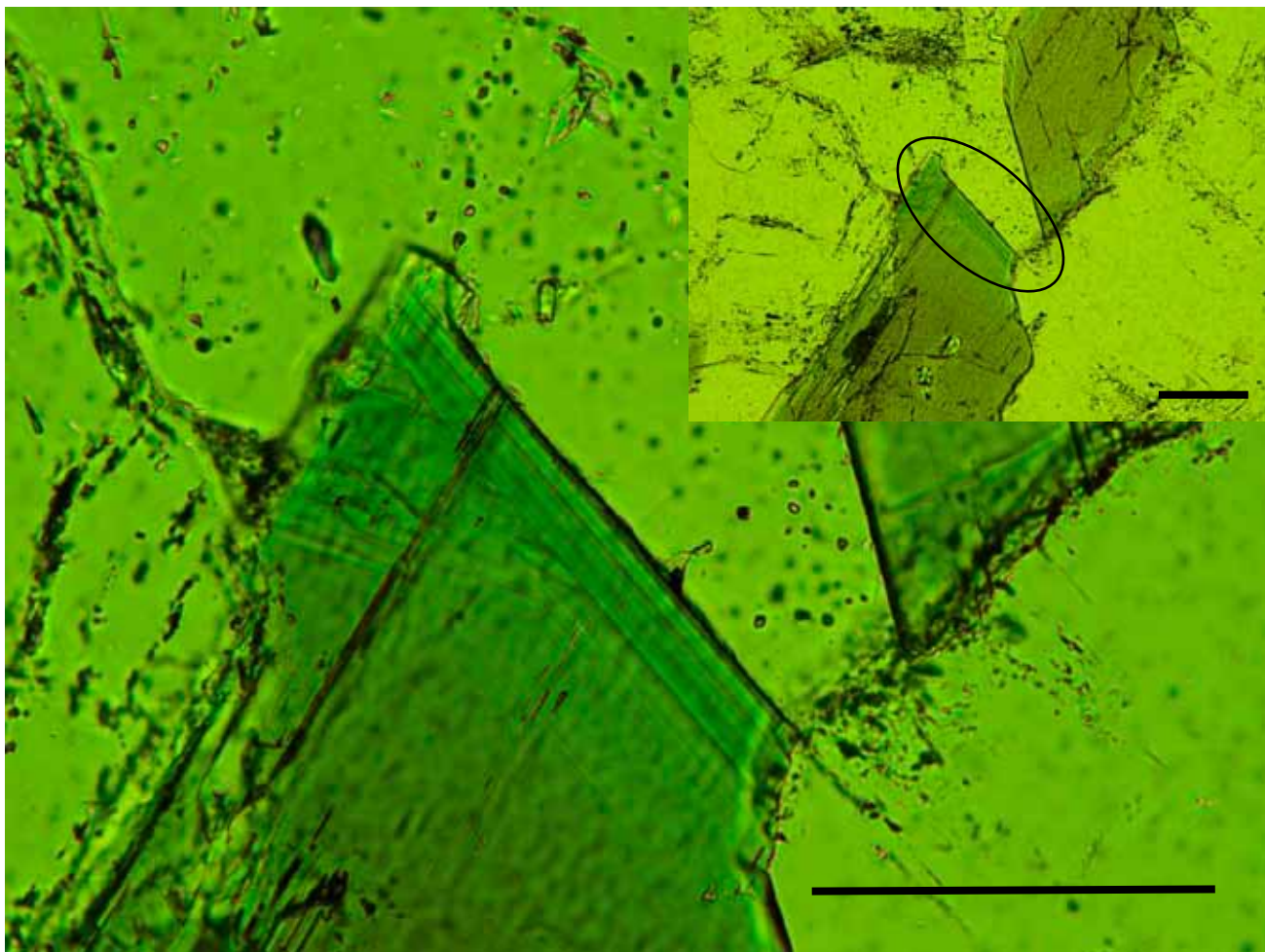
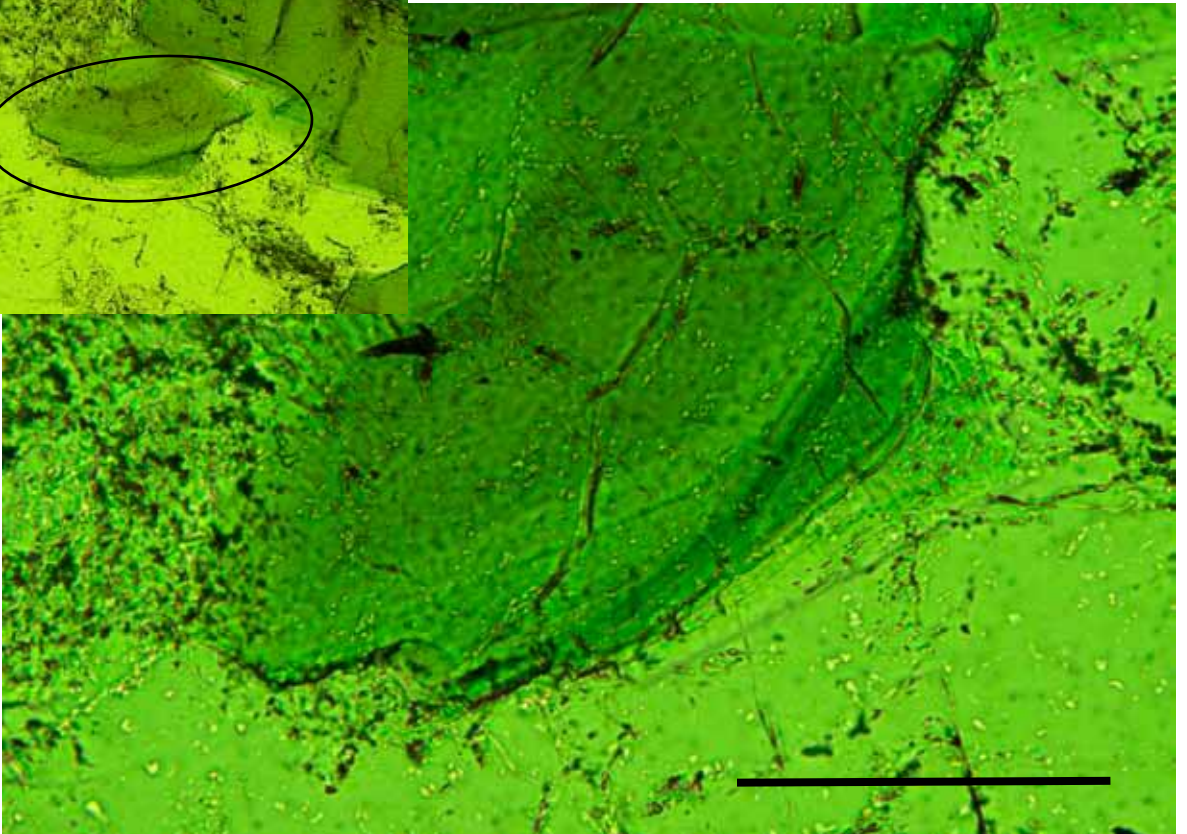
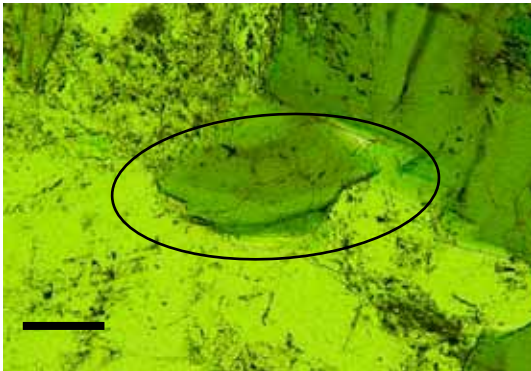
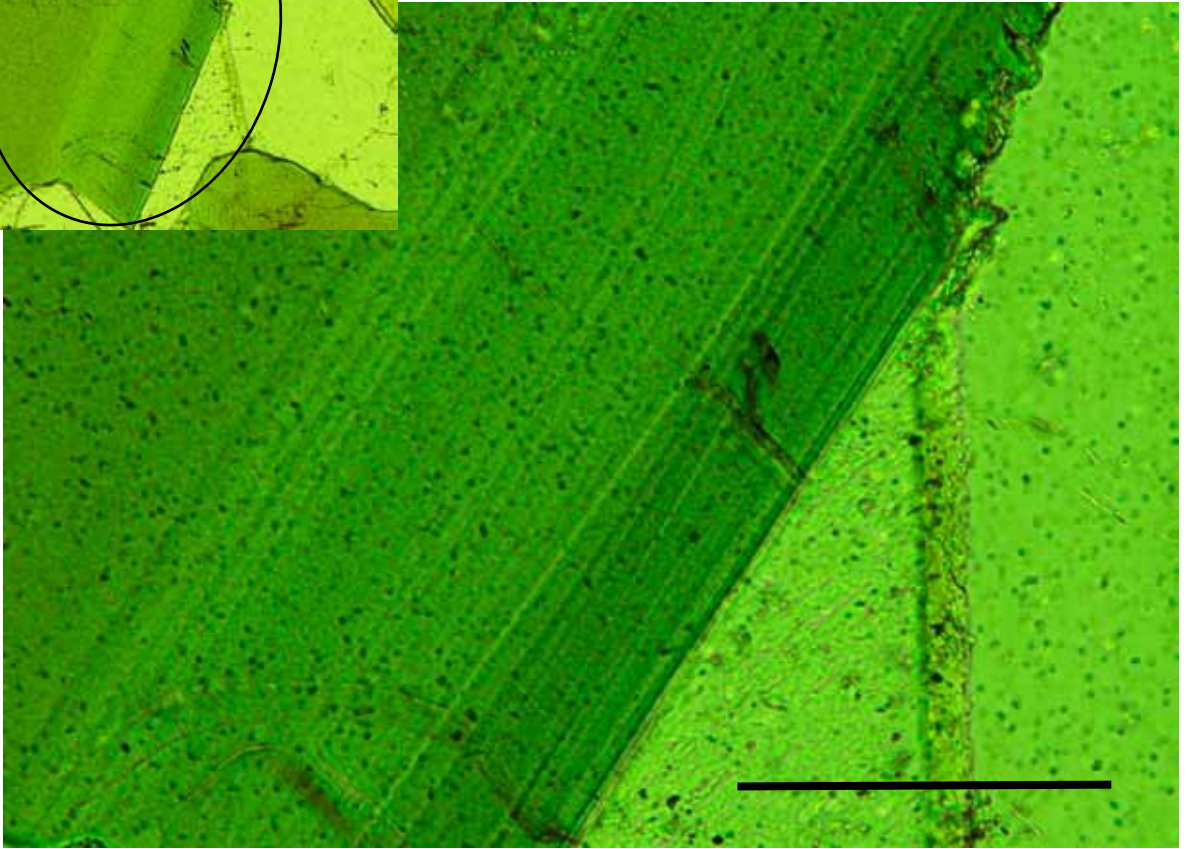
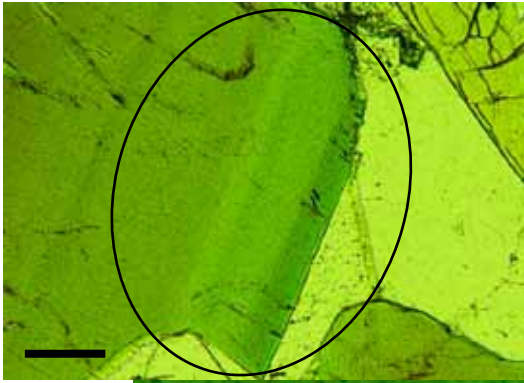
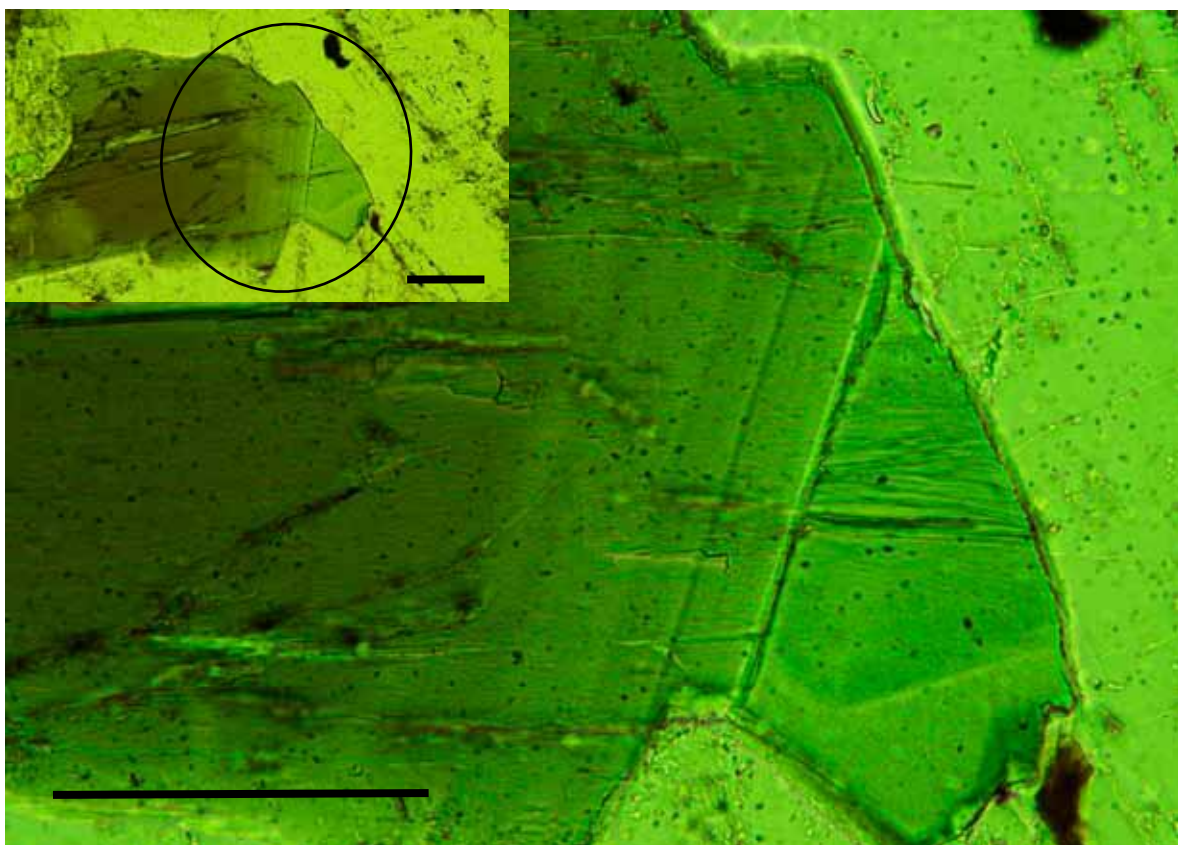
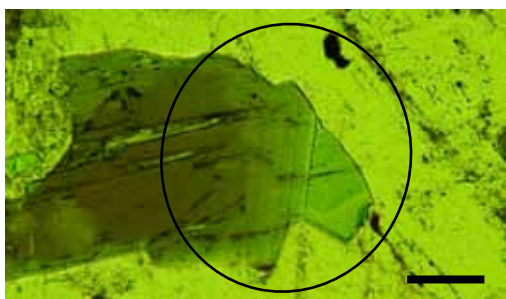
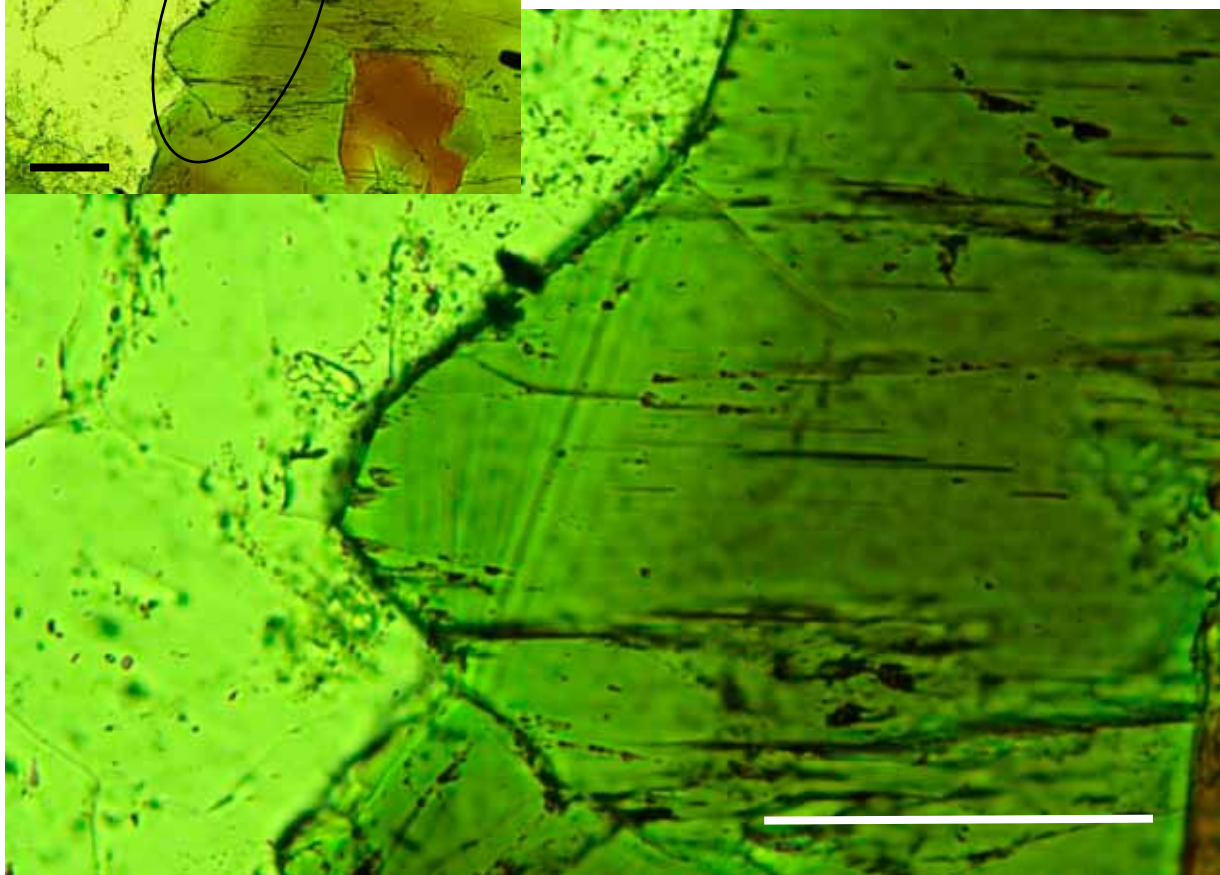
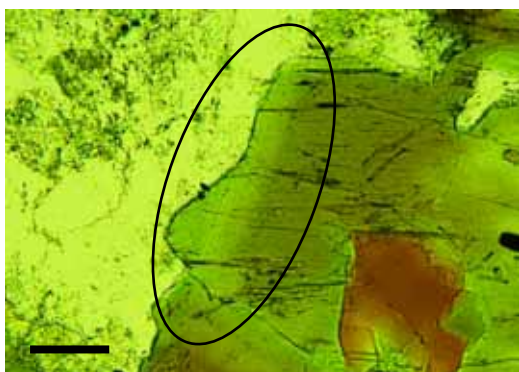


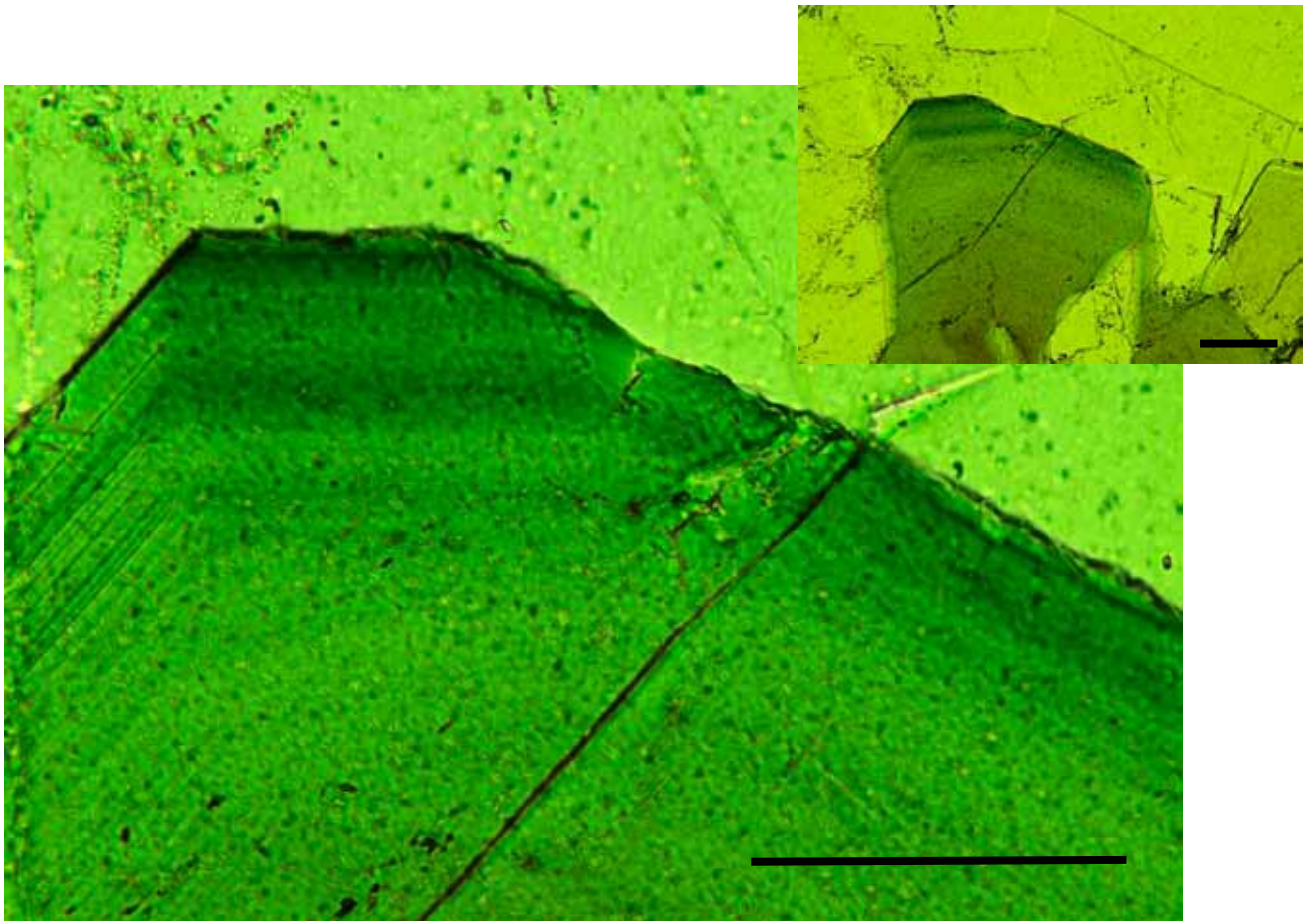
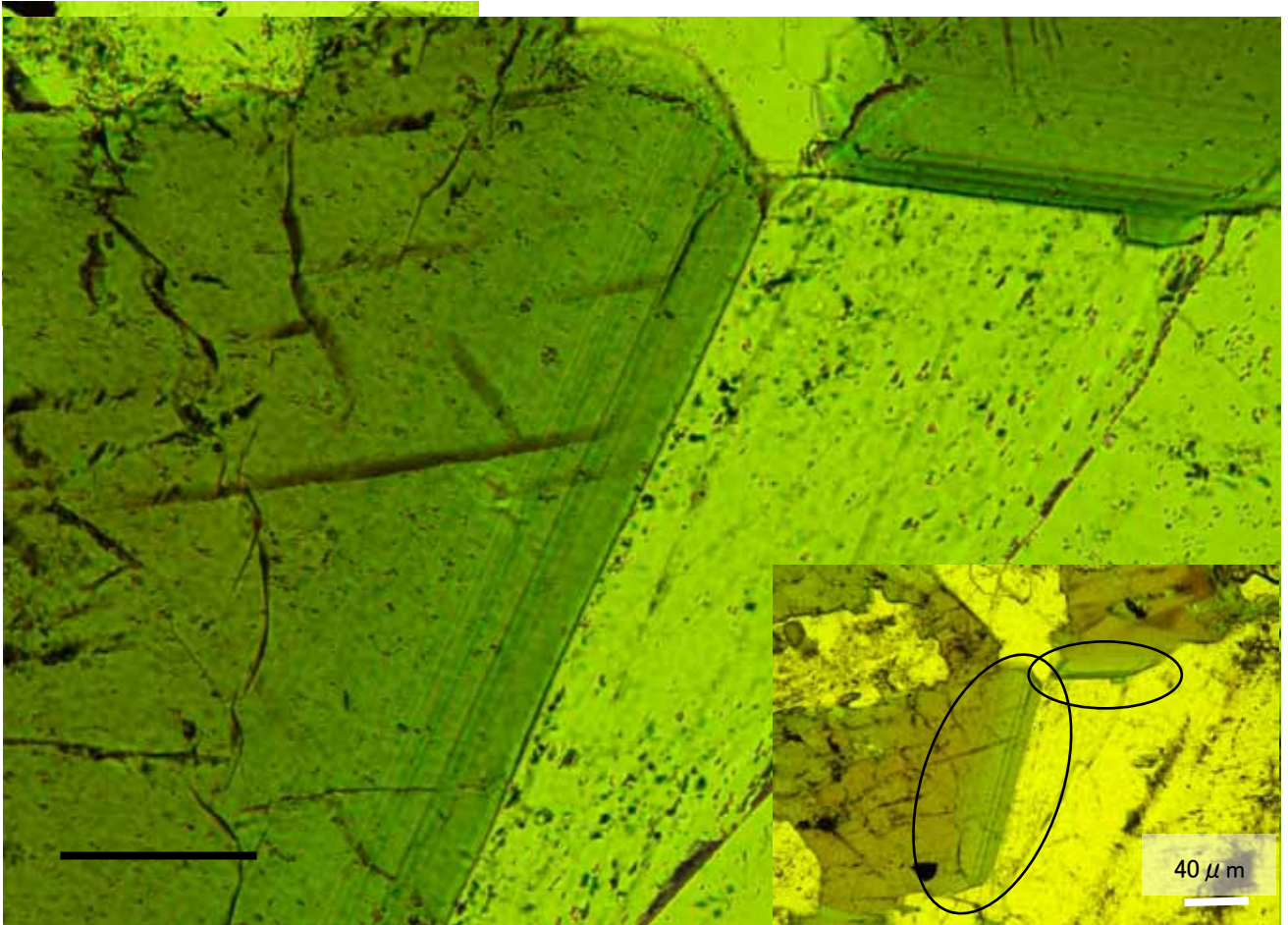
図 24 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造 (試料 240125-6 / オープンニコル)
(小ウインドウ 200 倍、大ウインドウ 400 倍 : スケールバー 10 μ m)

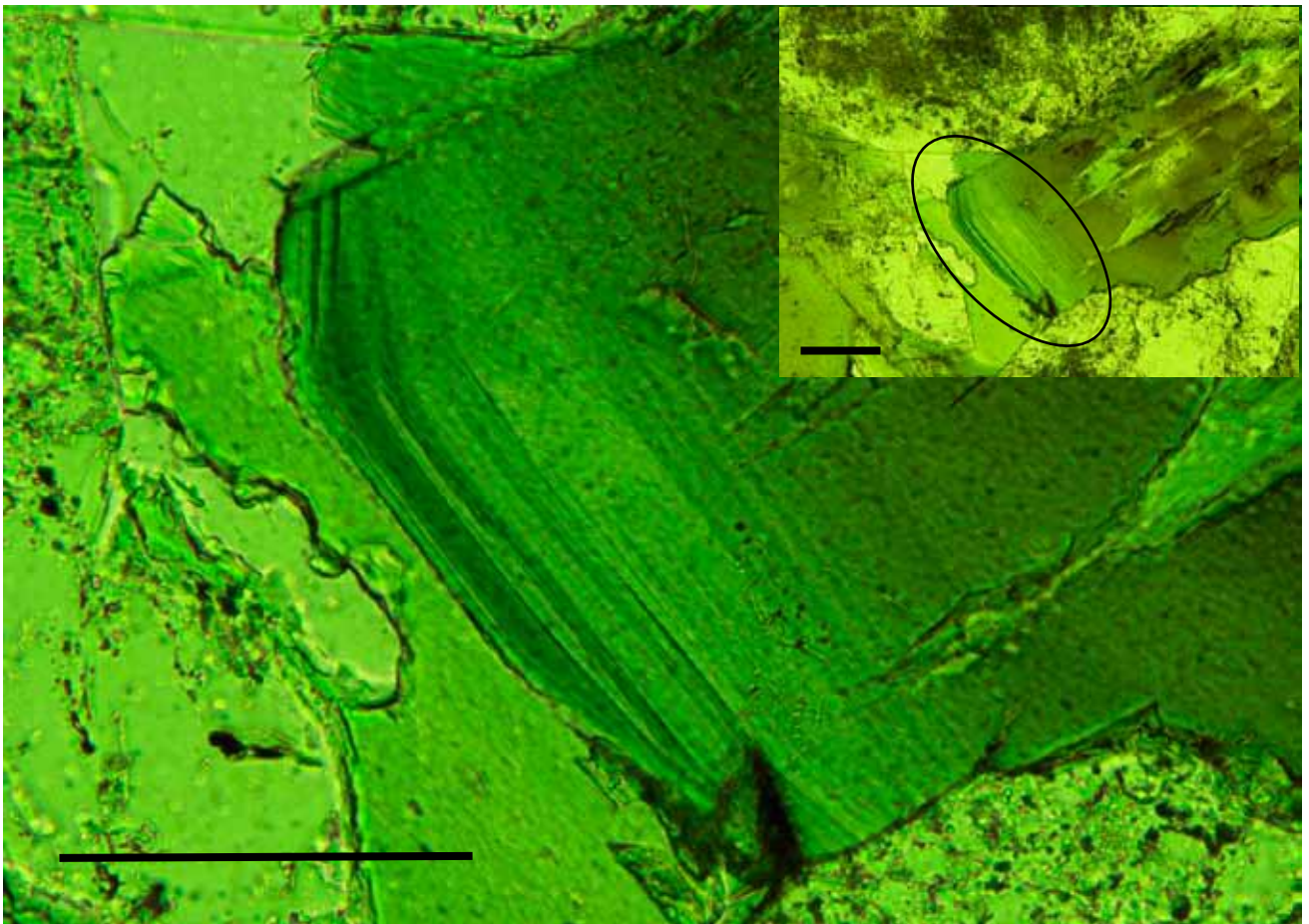
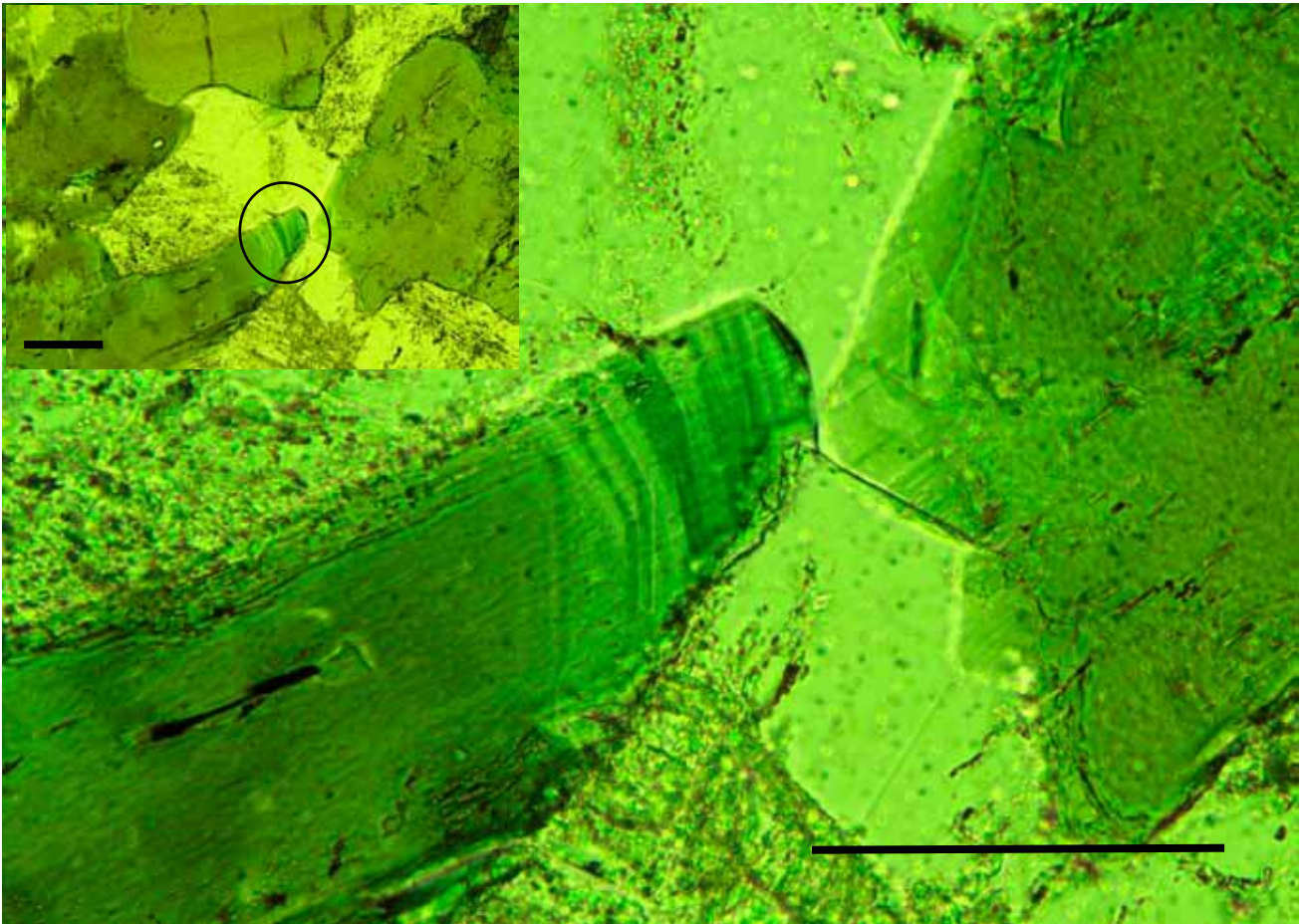


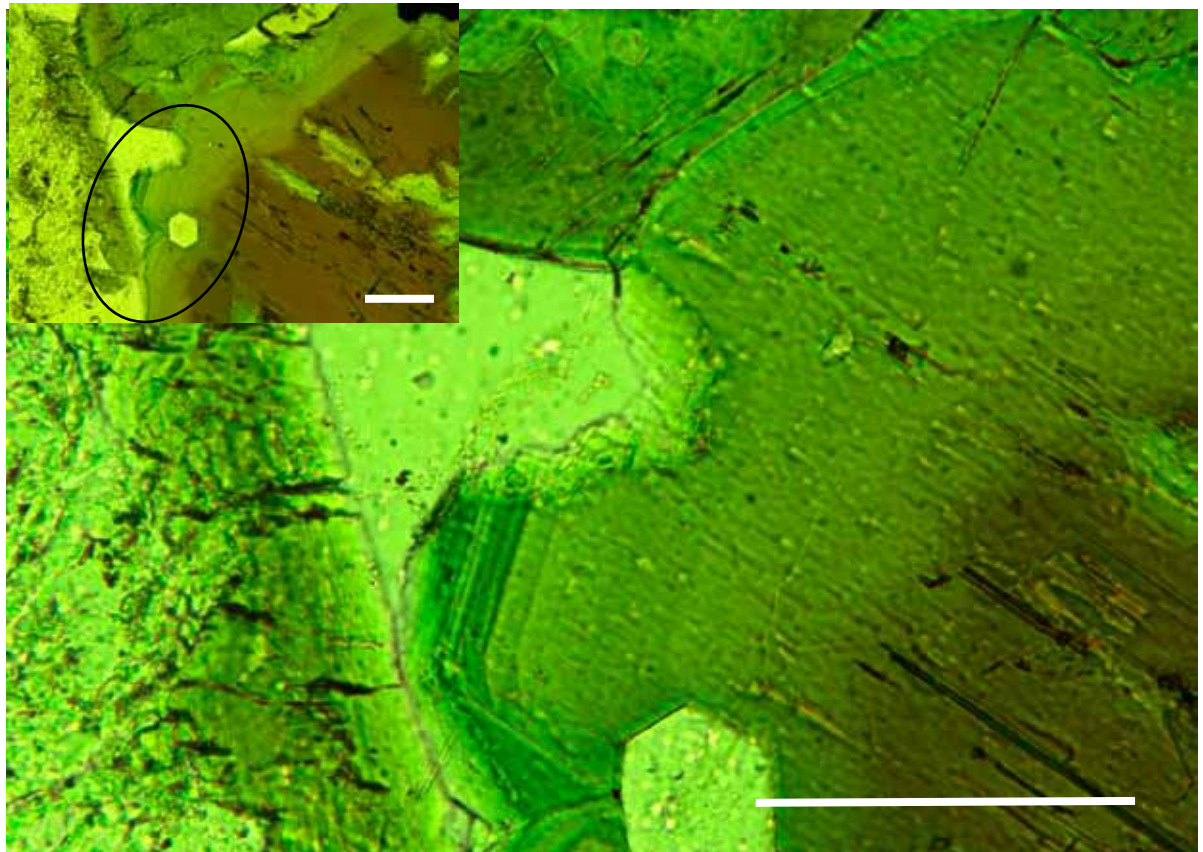
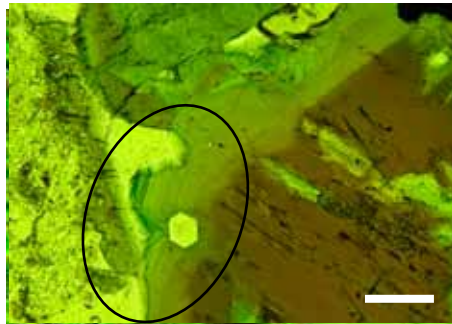
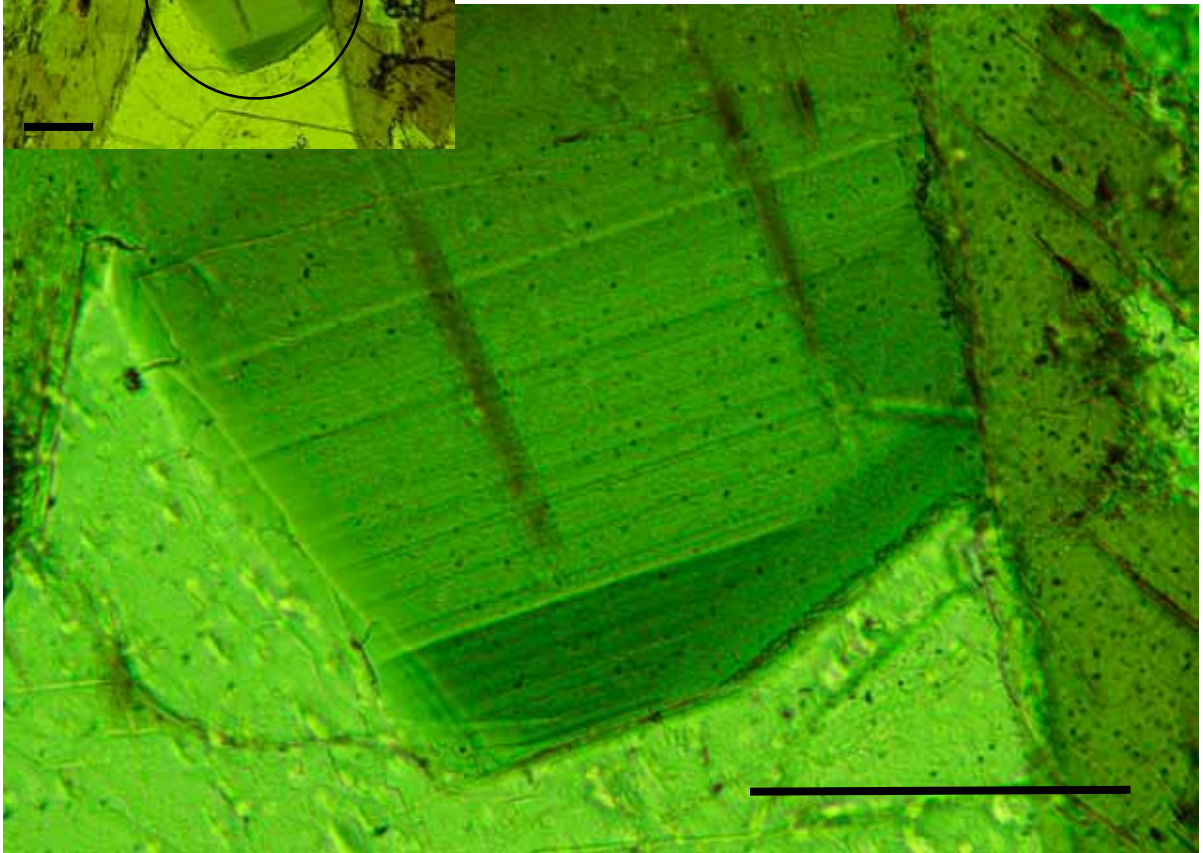
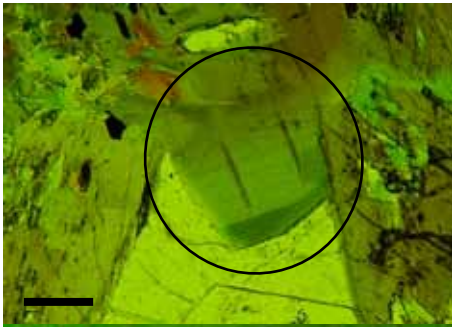


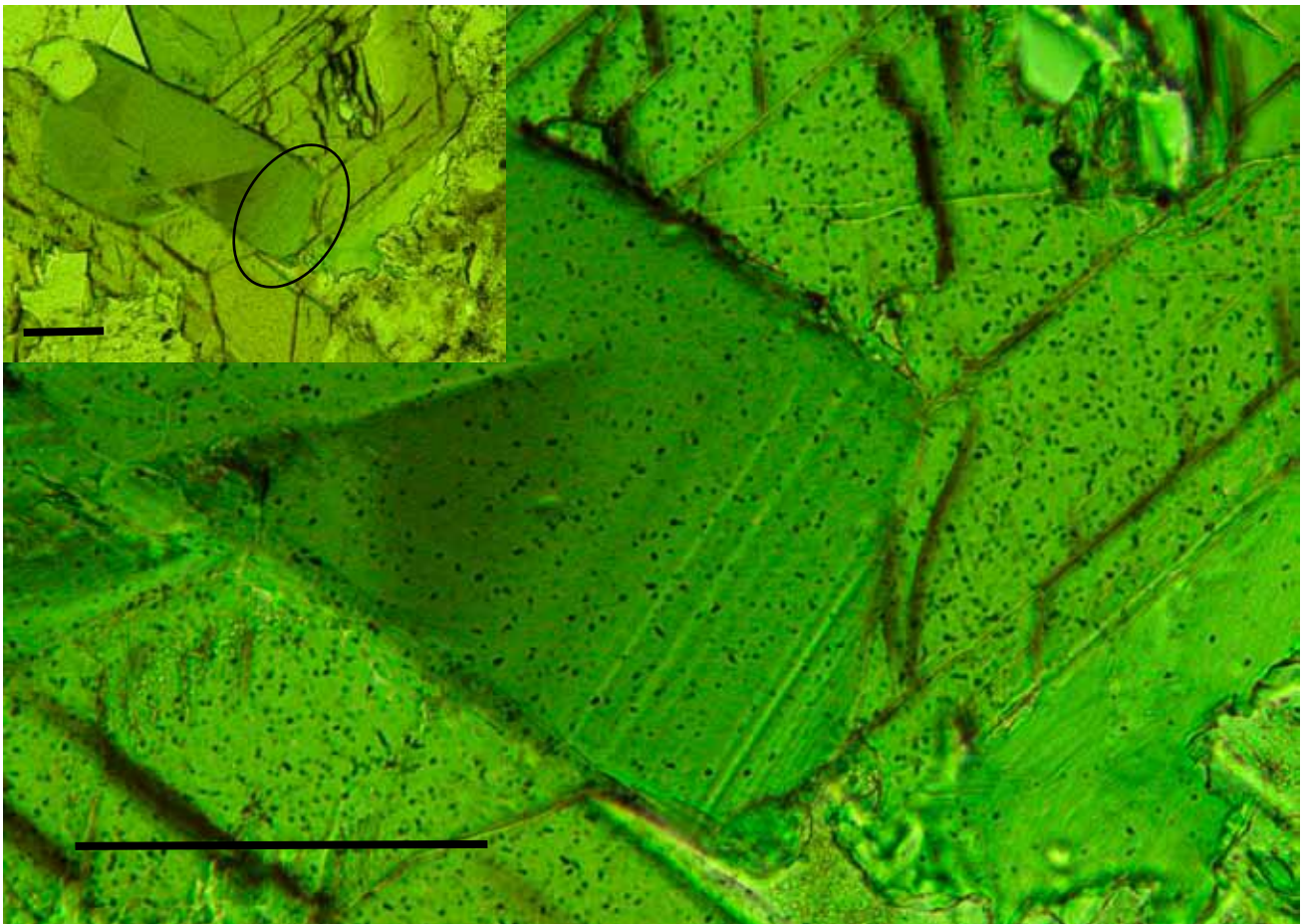
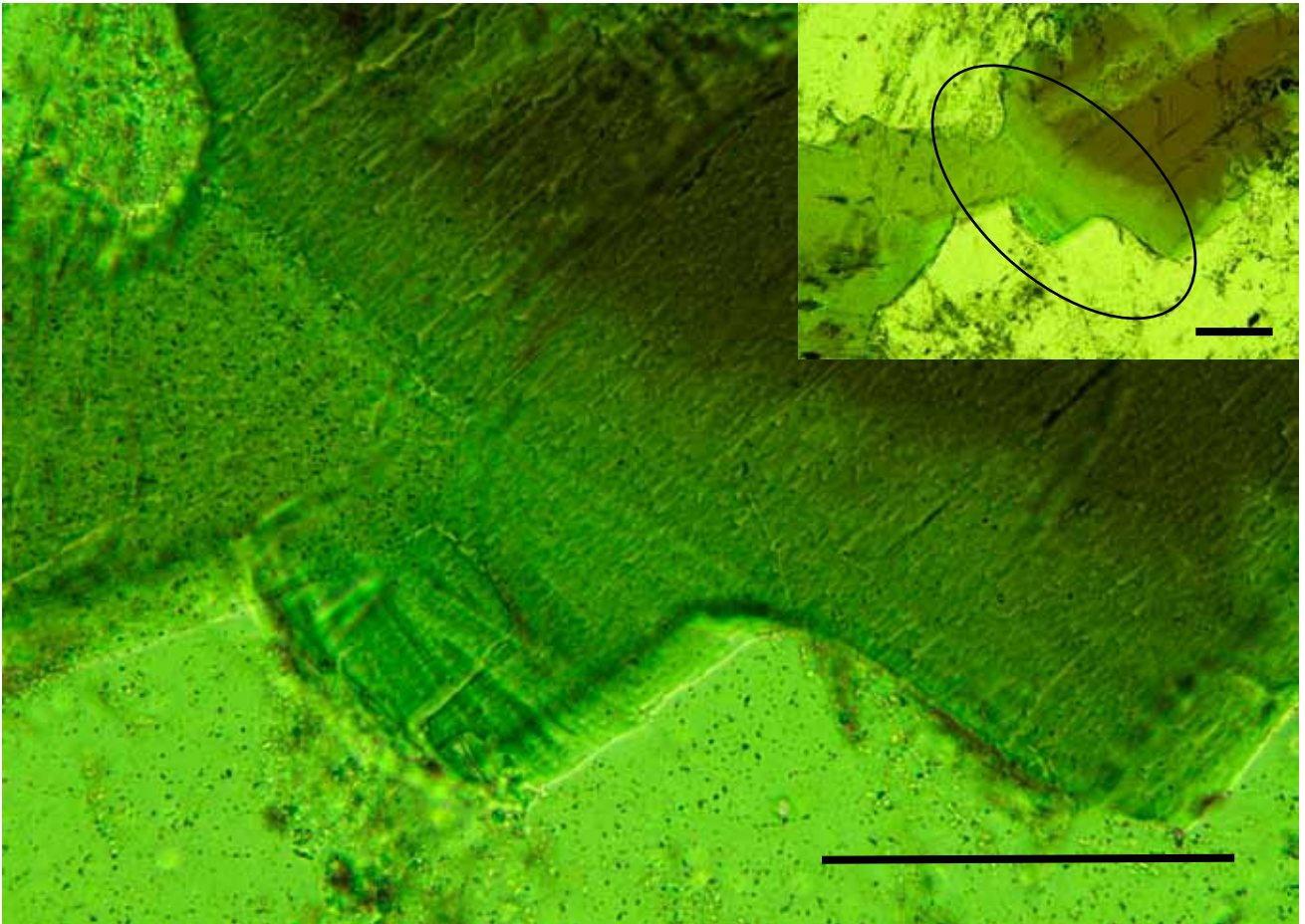


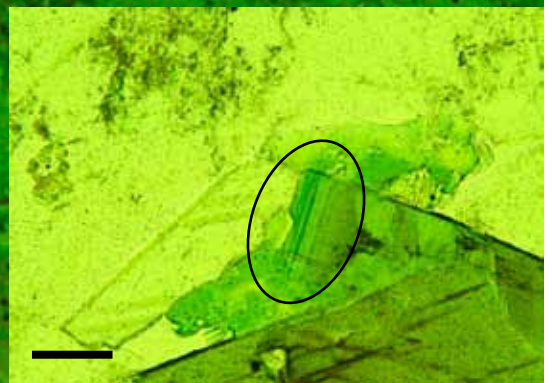
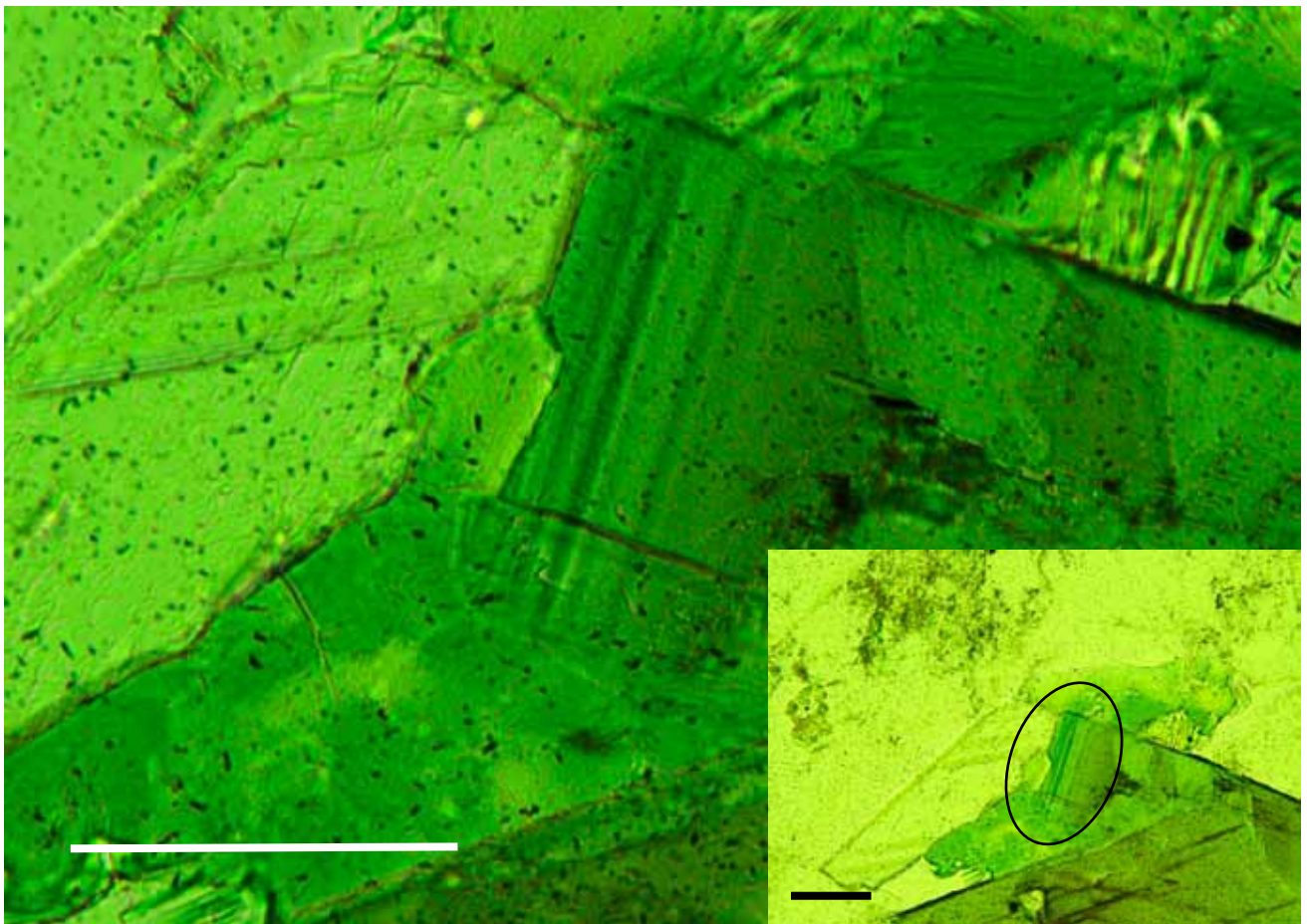
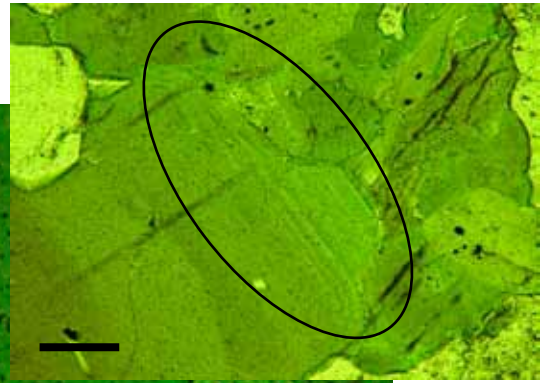
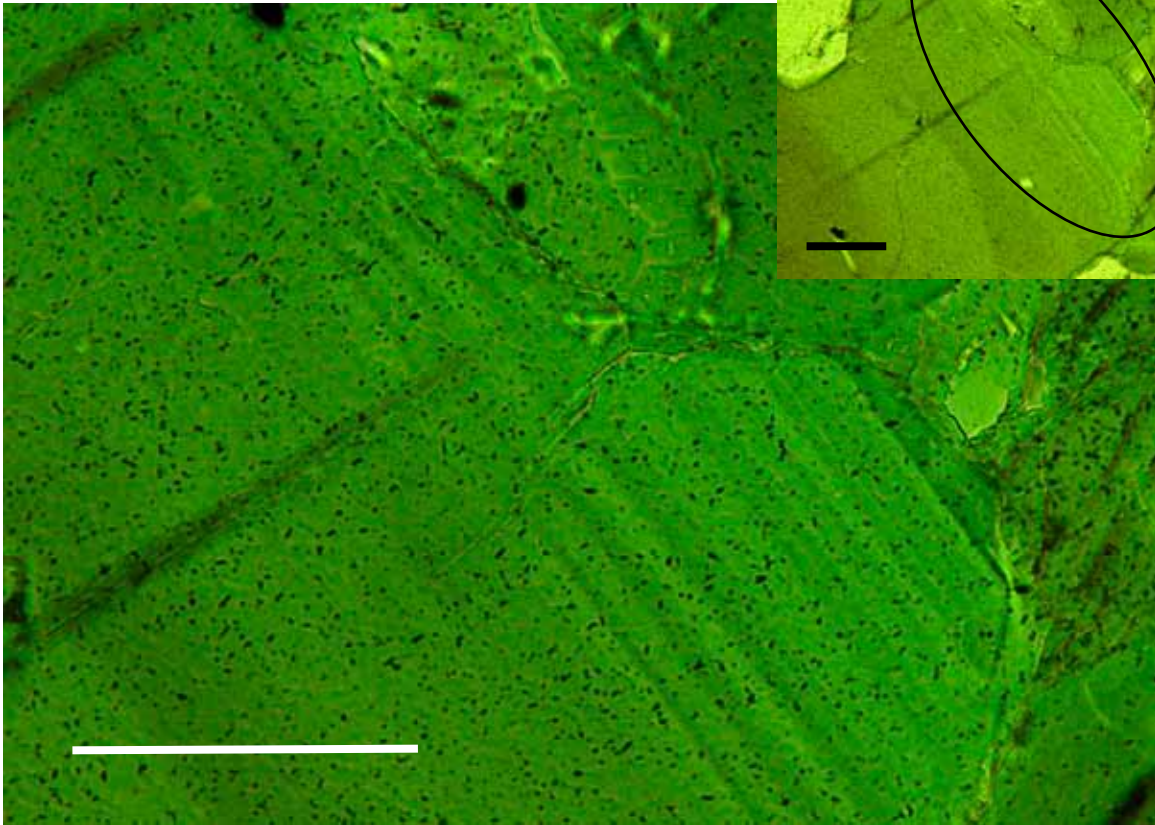


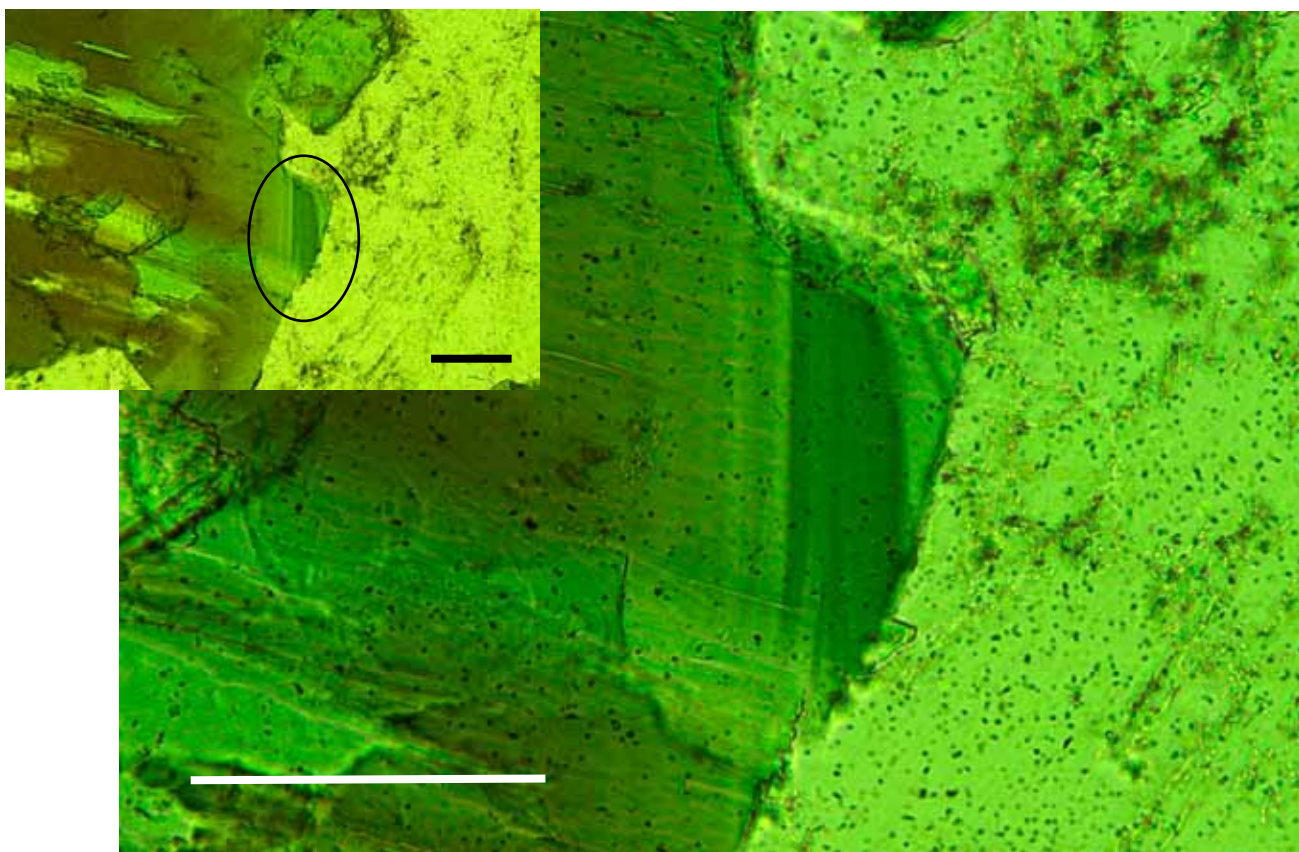
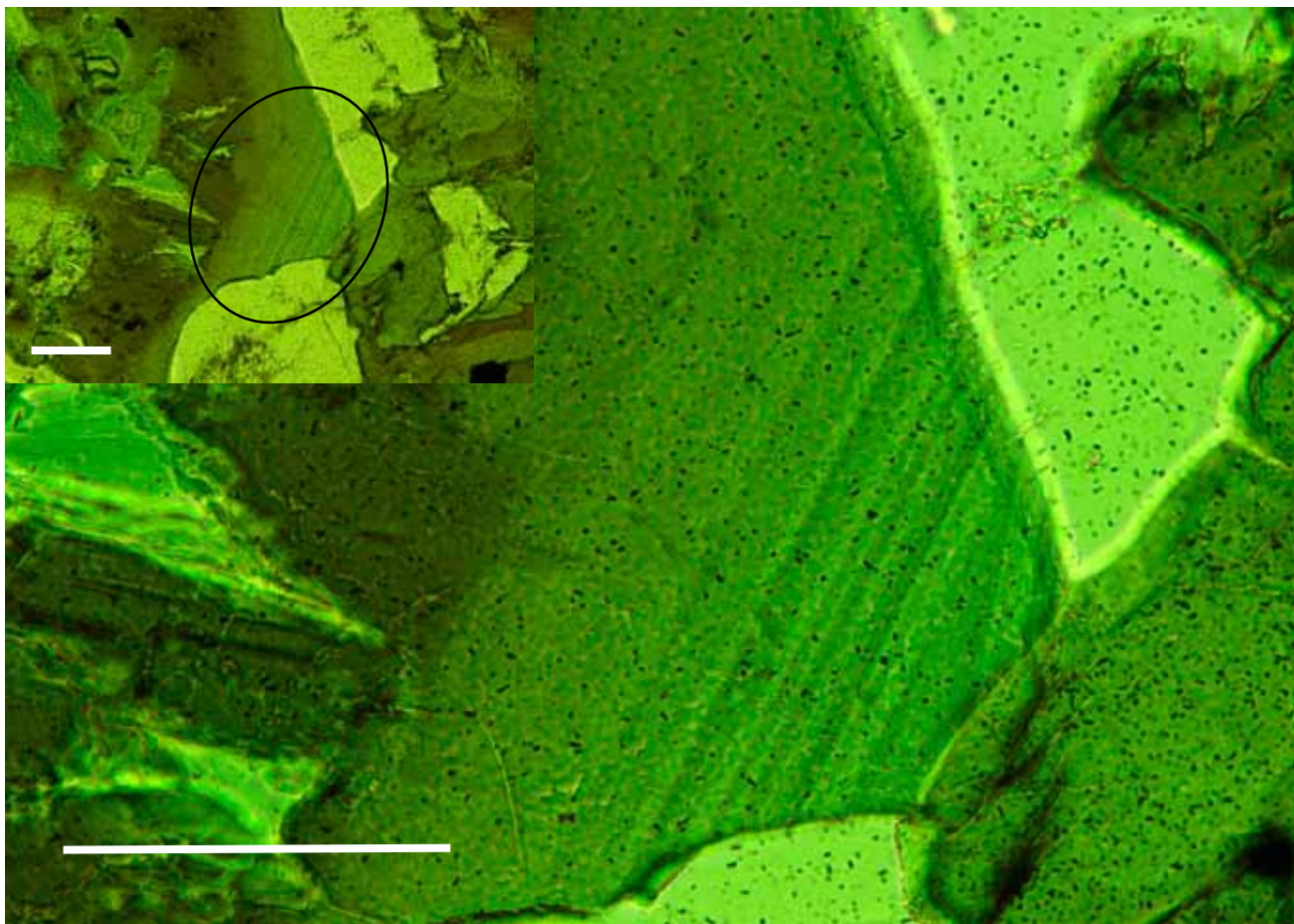


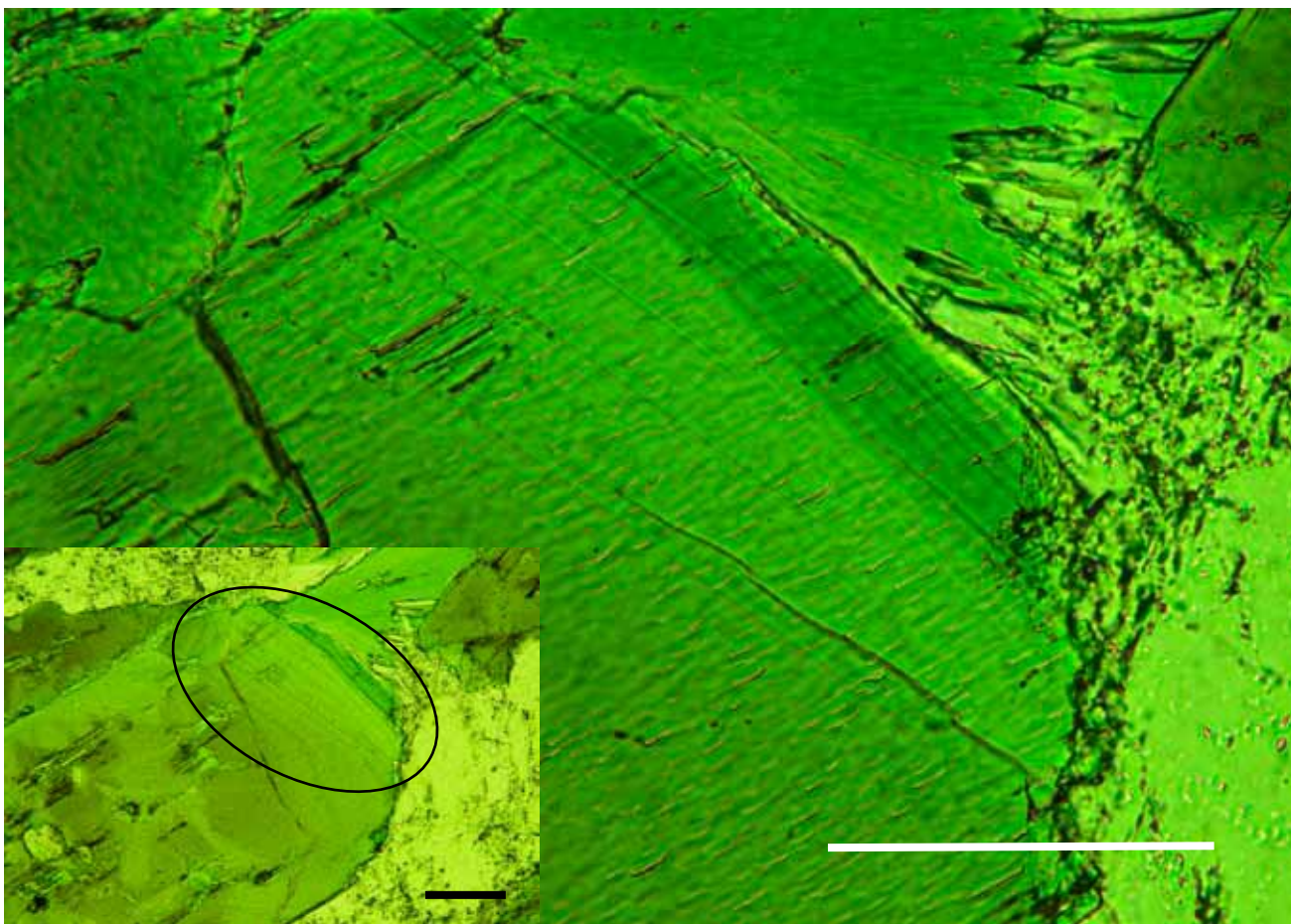
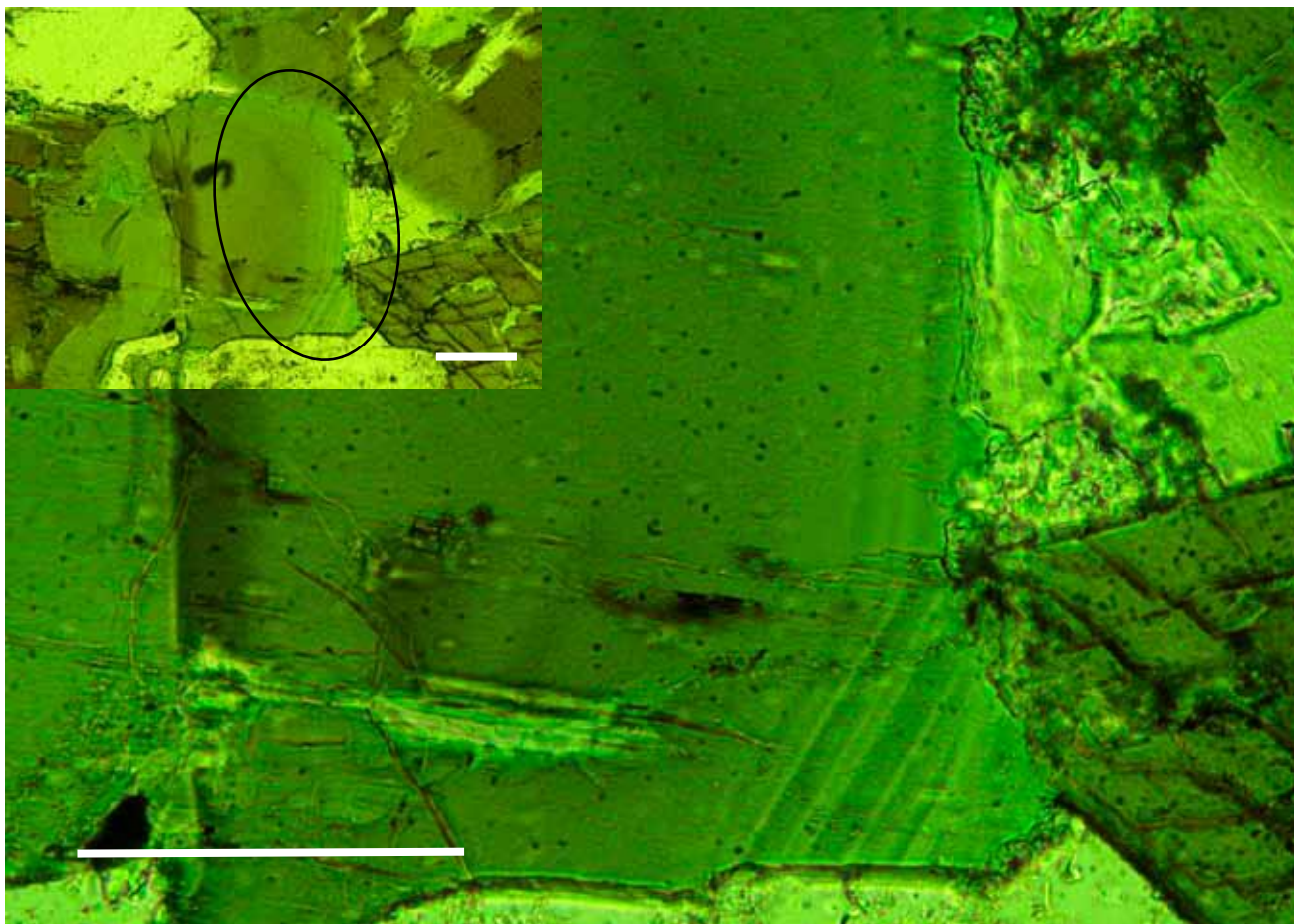


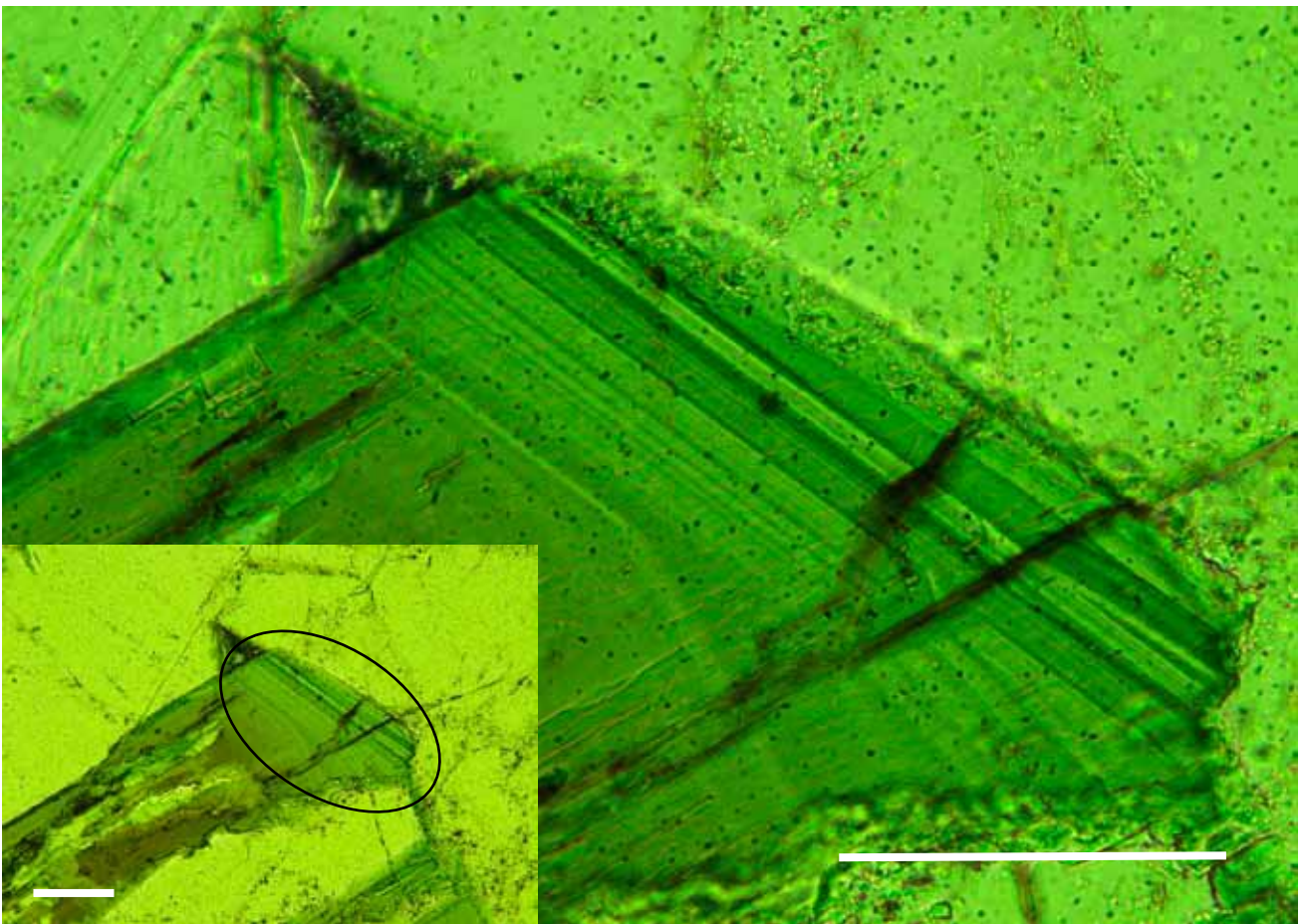
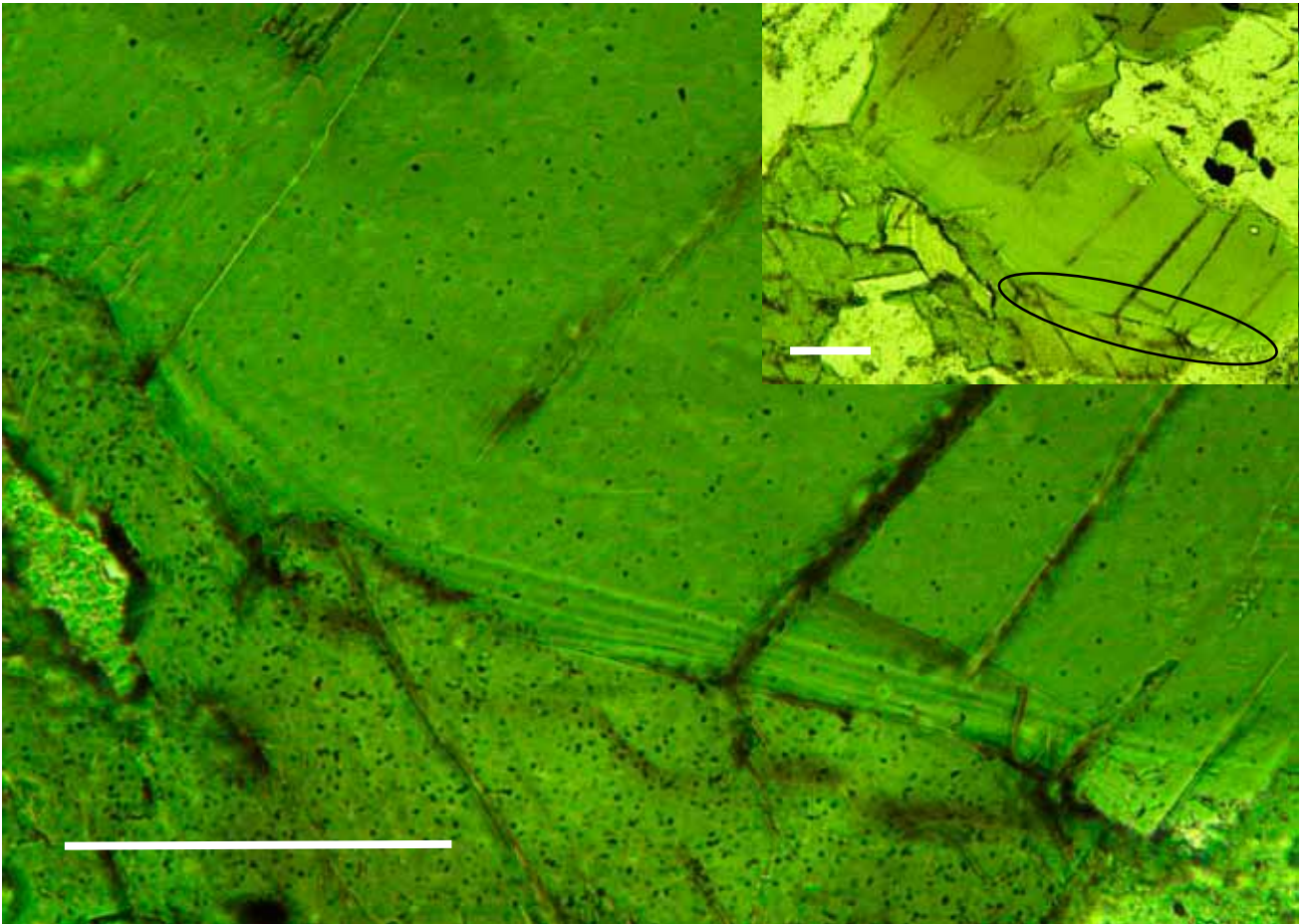


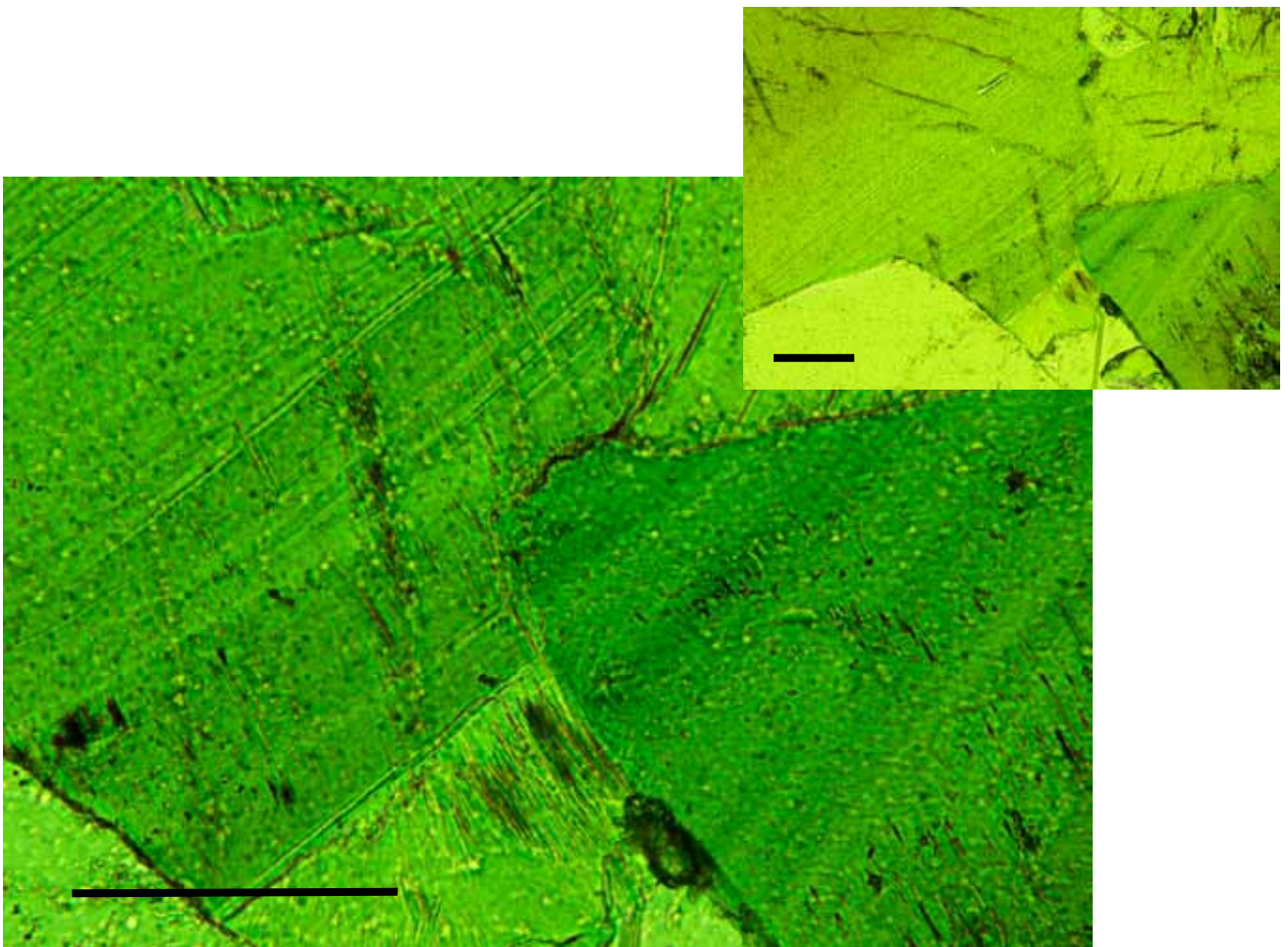
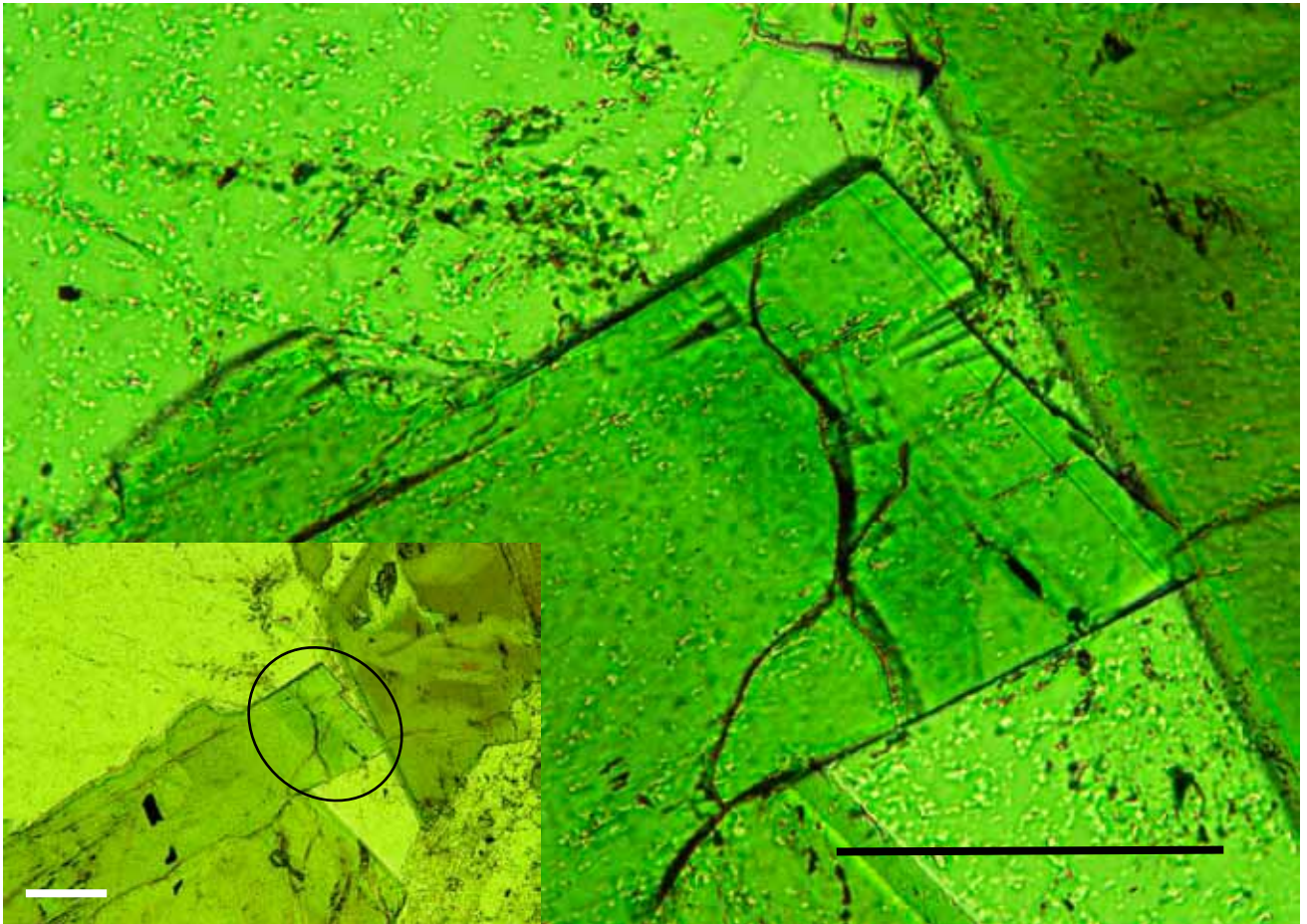


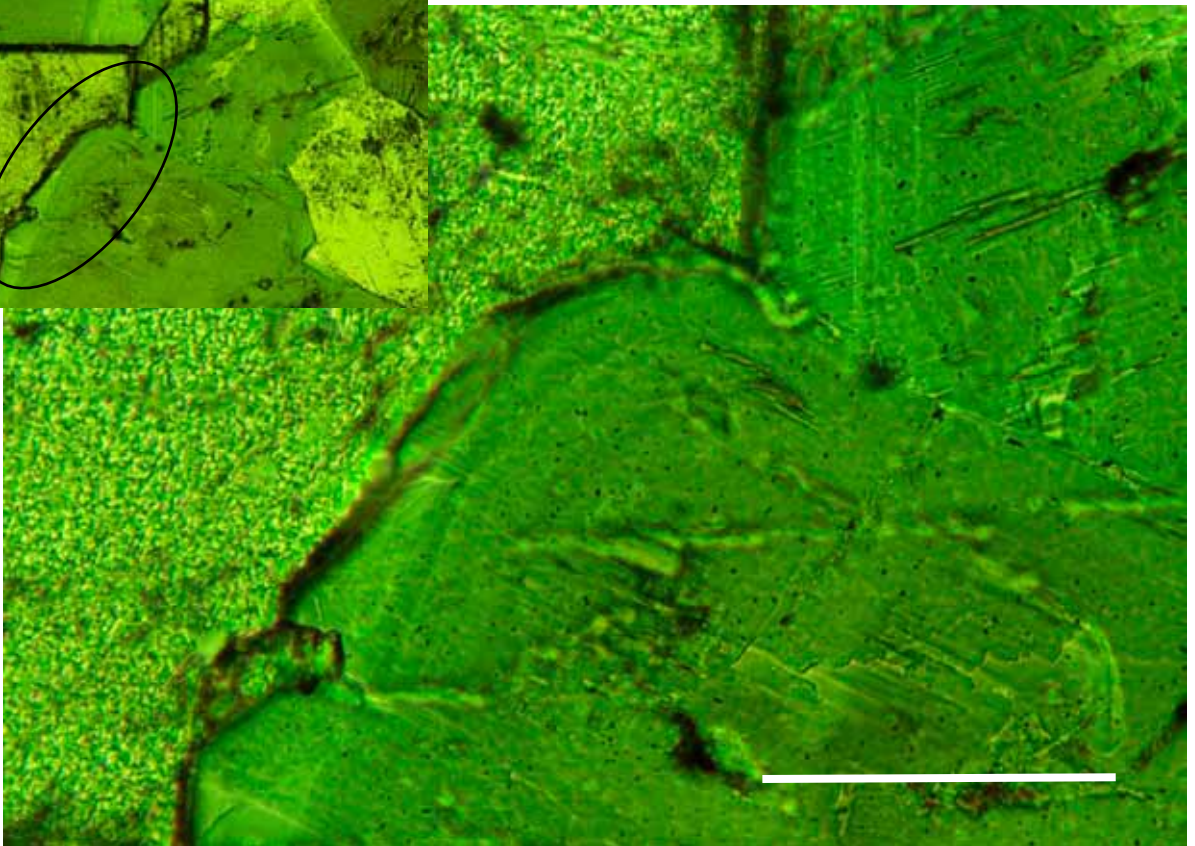
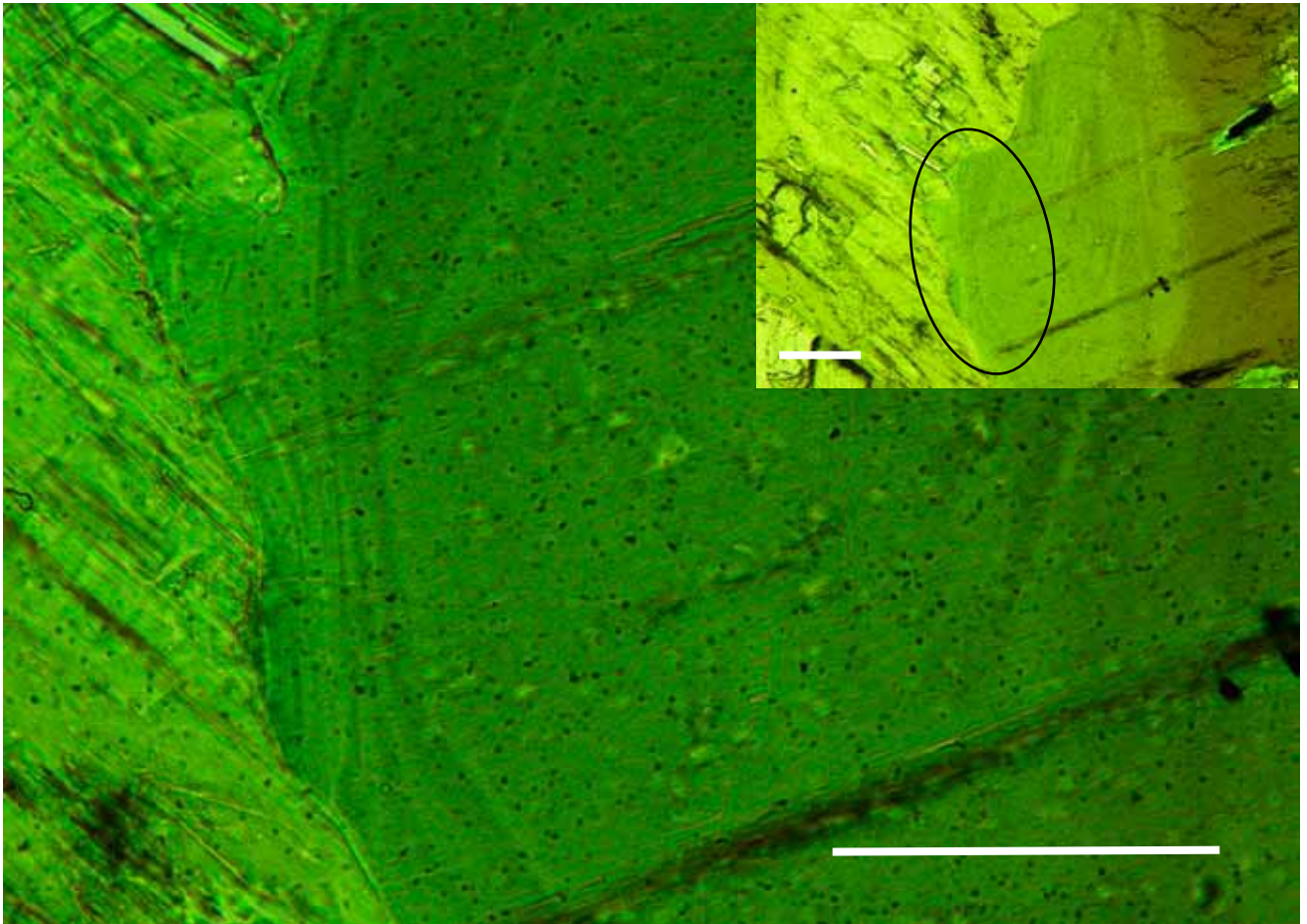


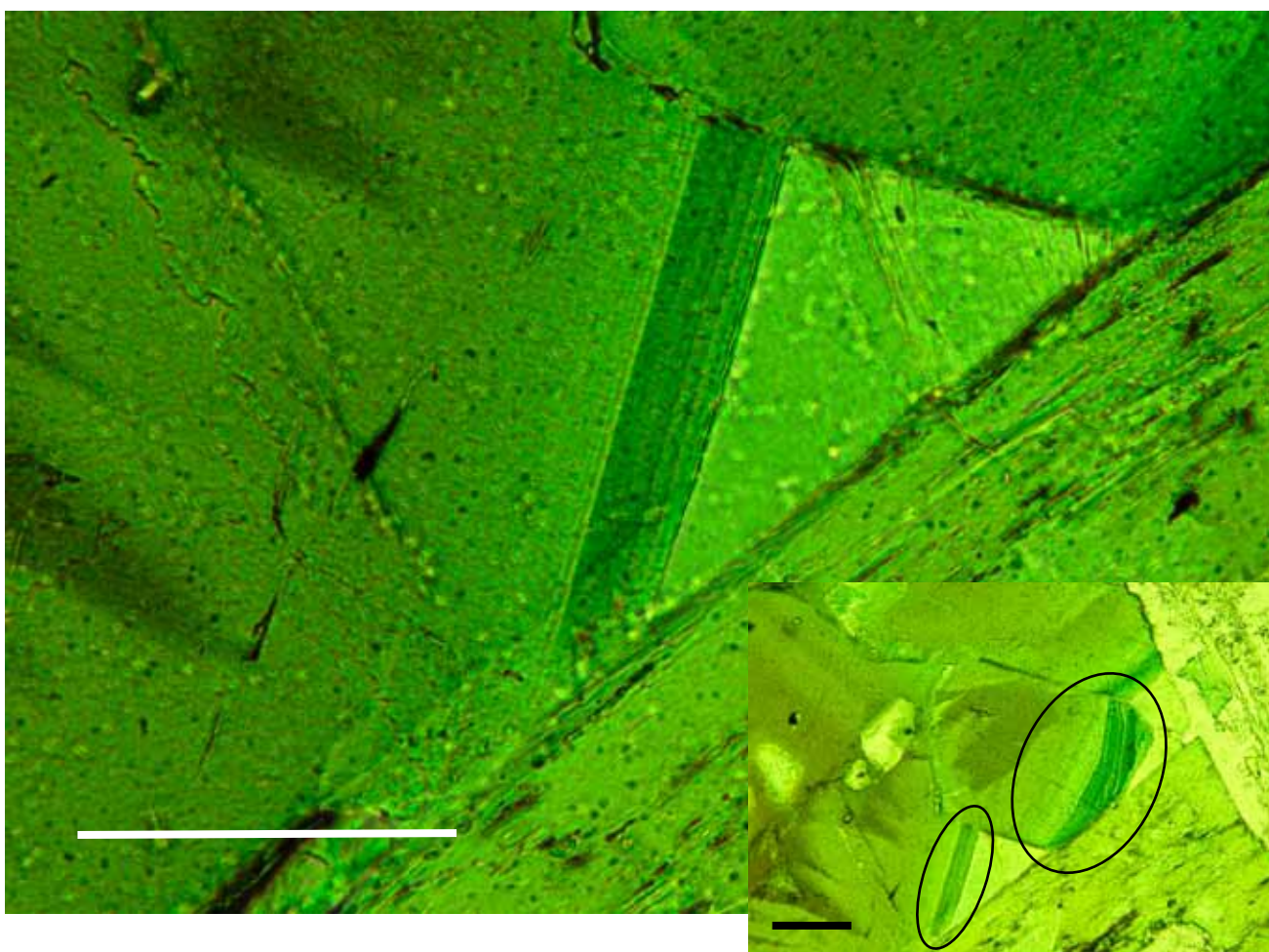
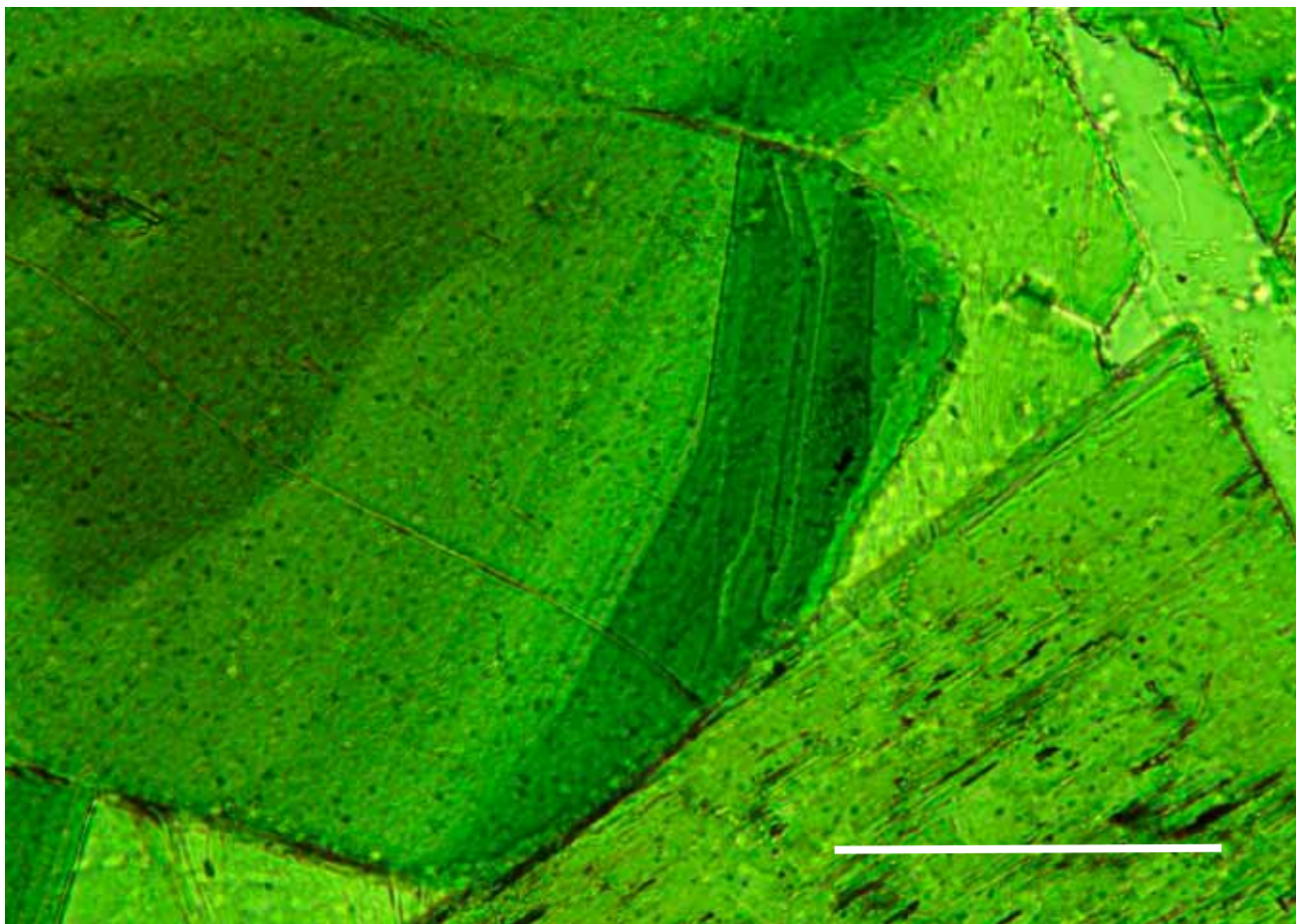












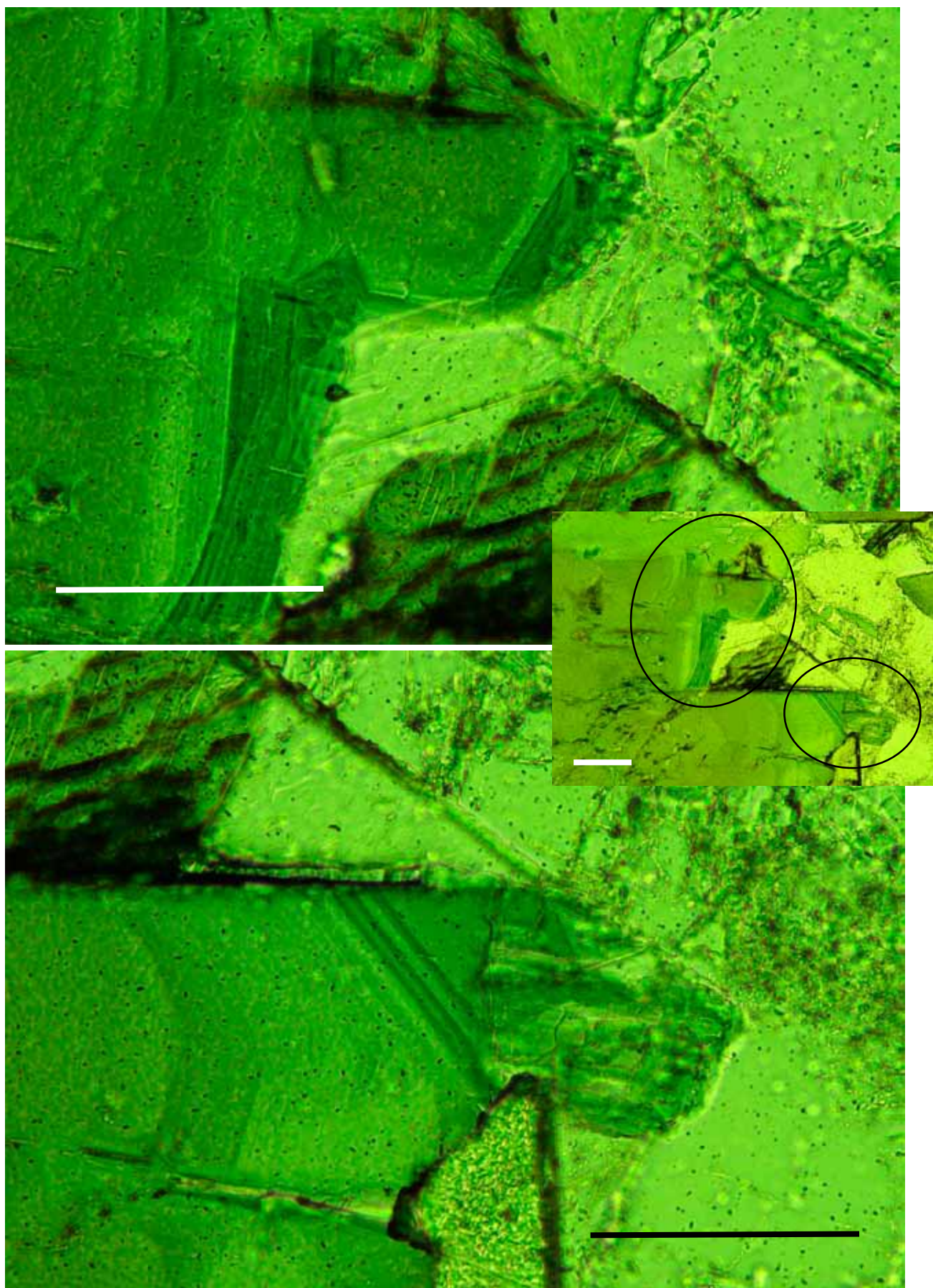
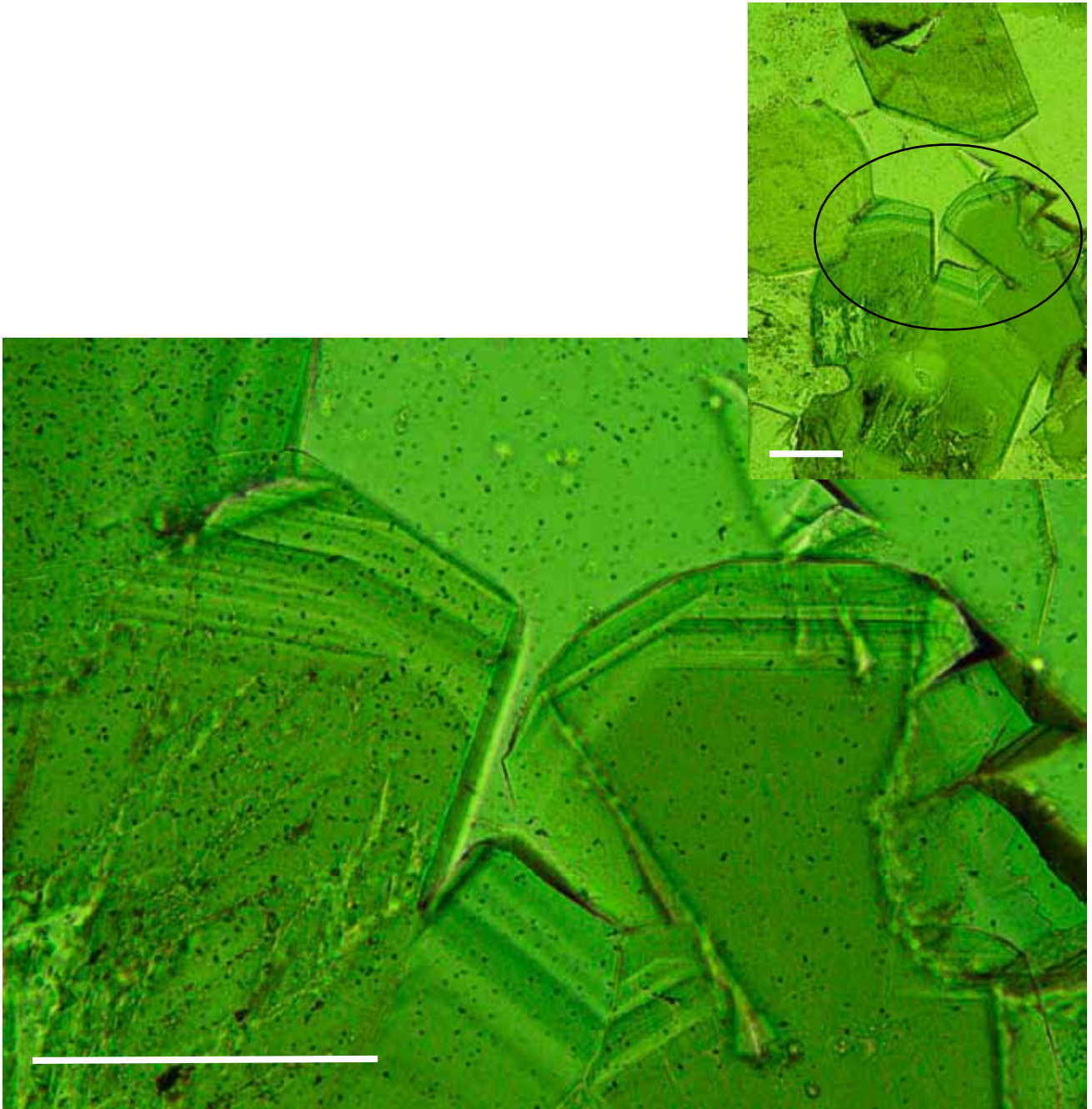
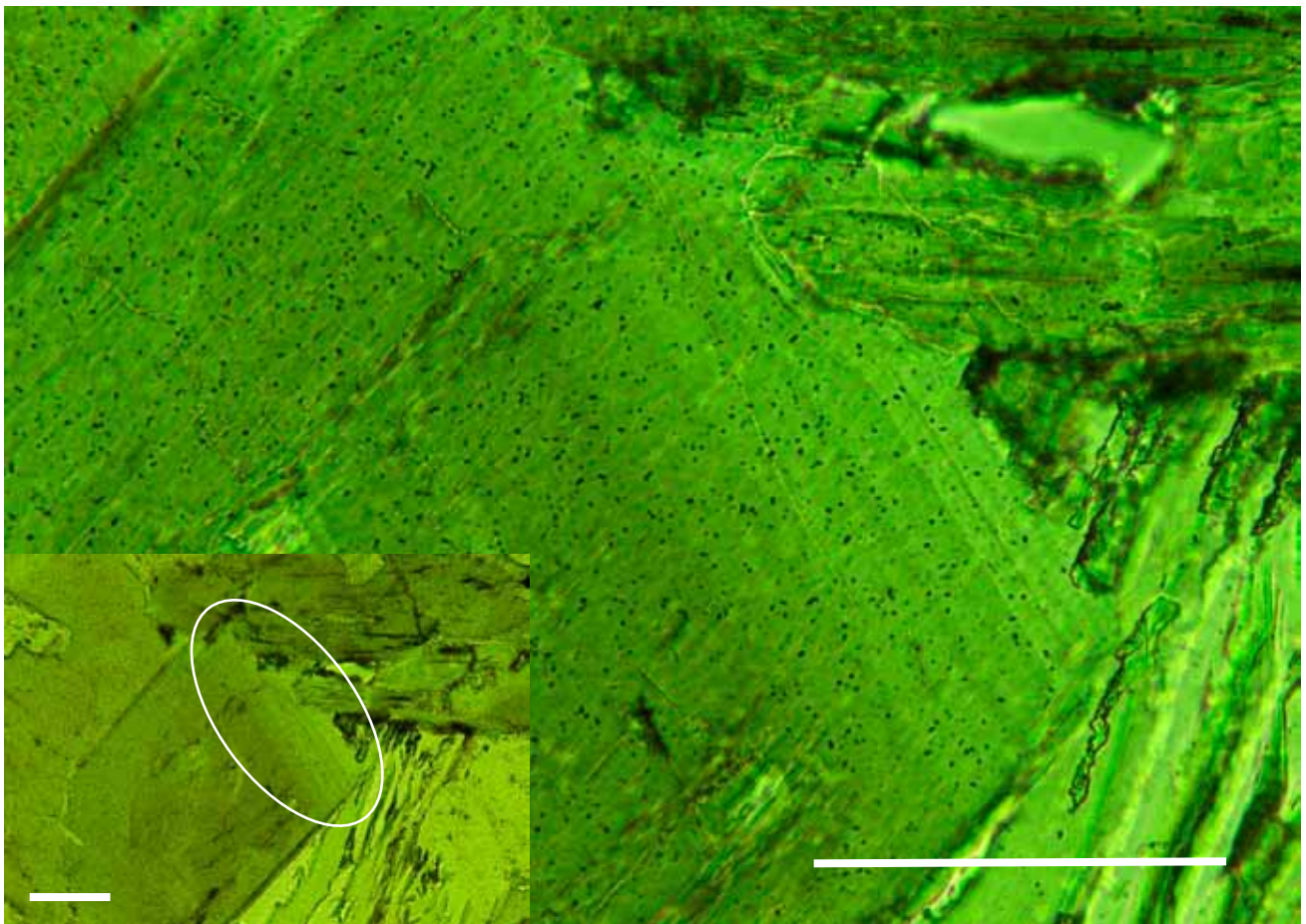
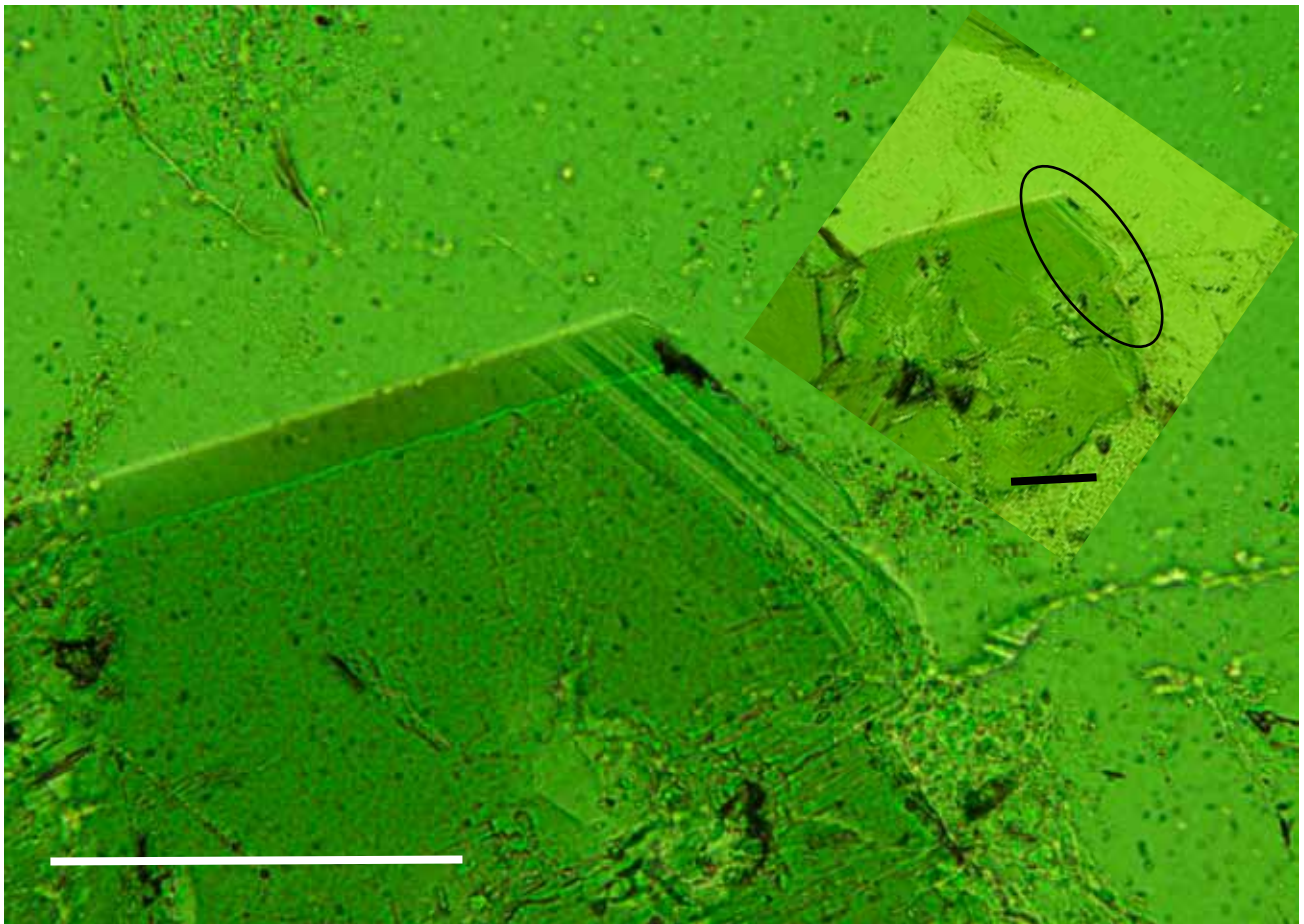
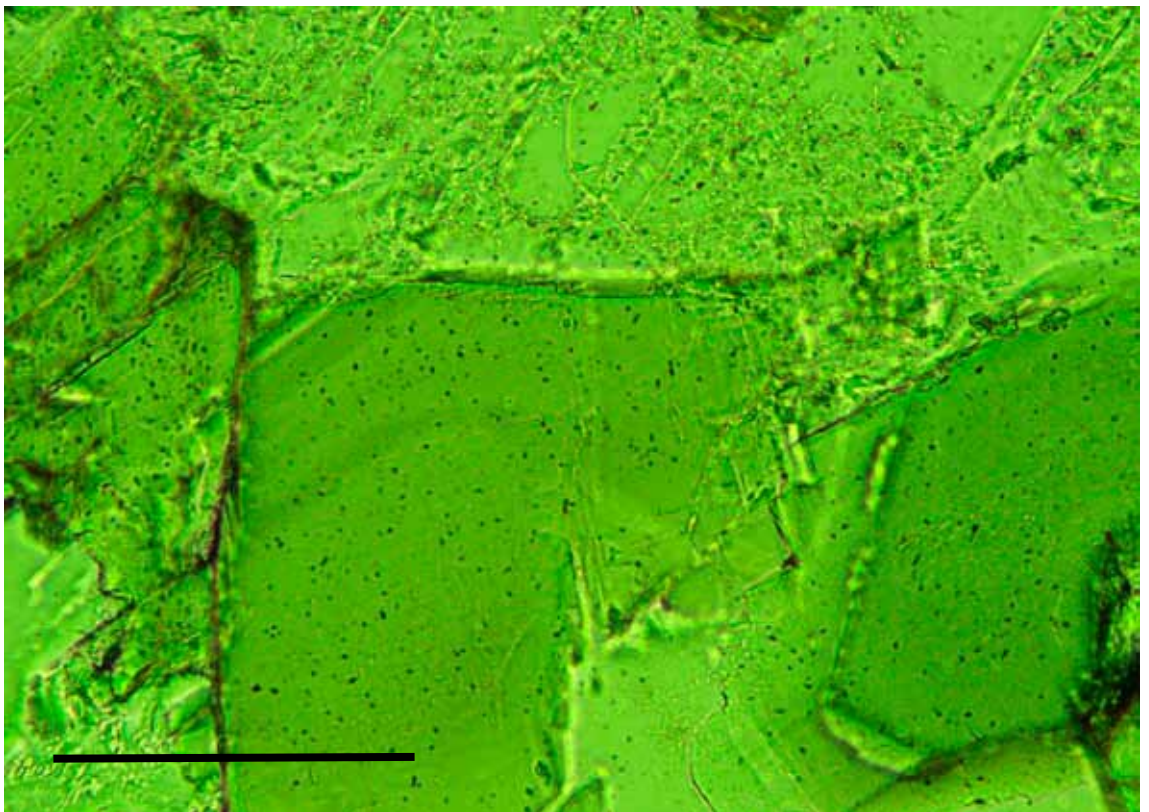
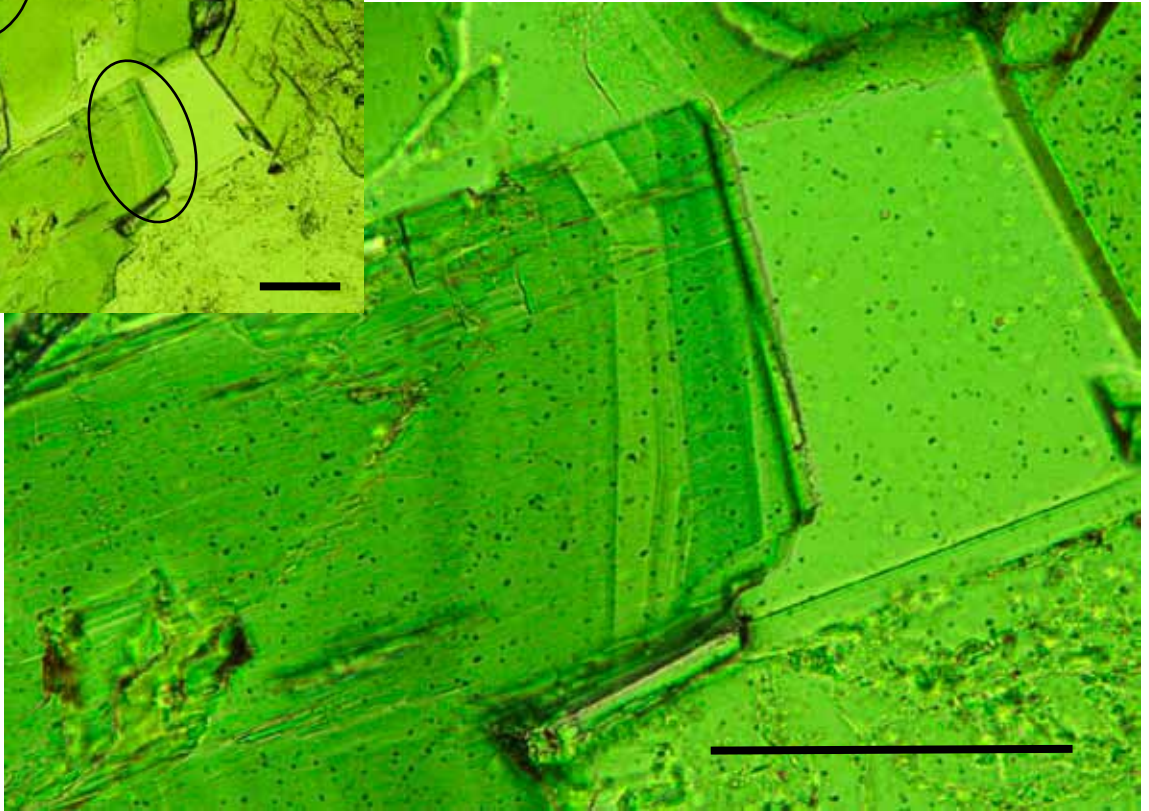
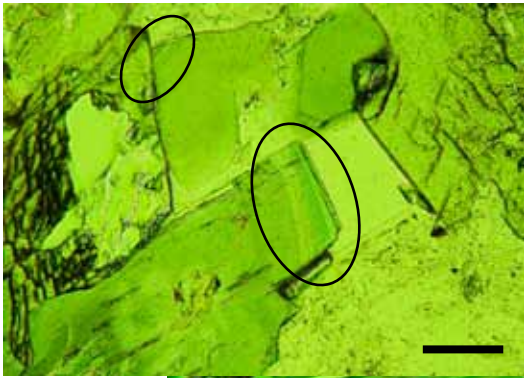
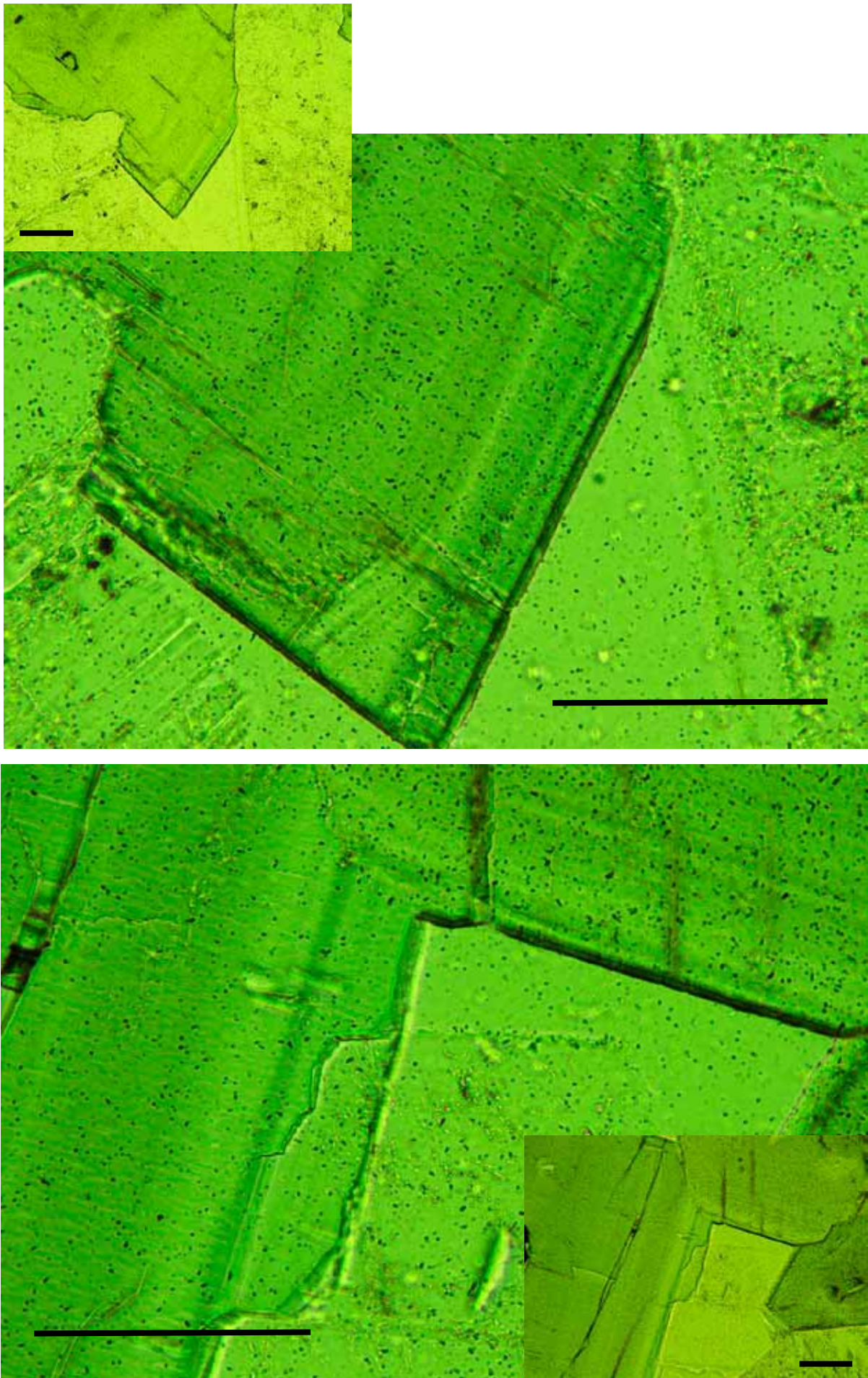


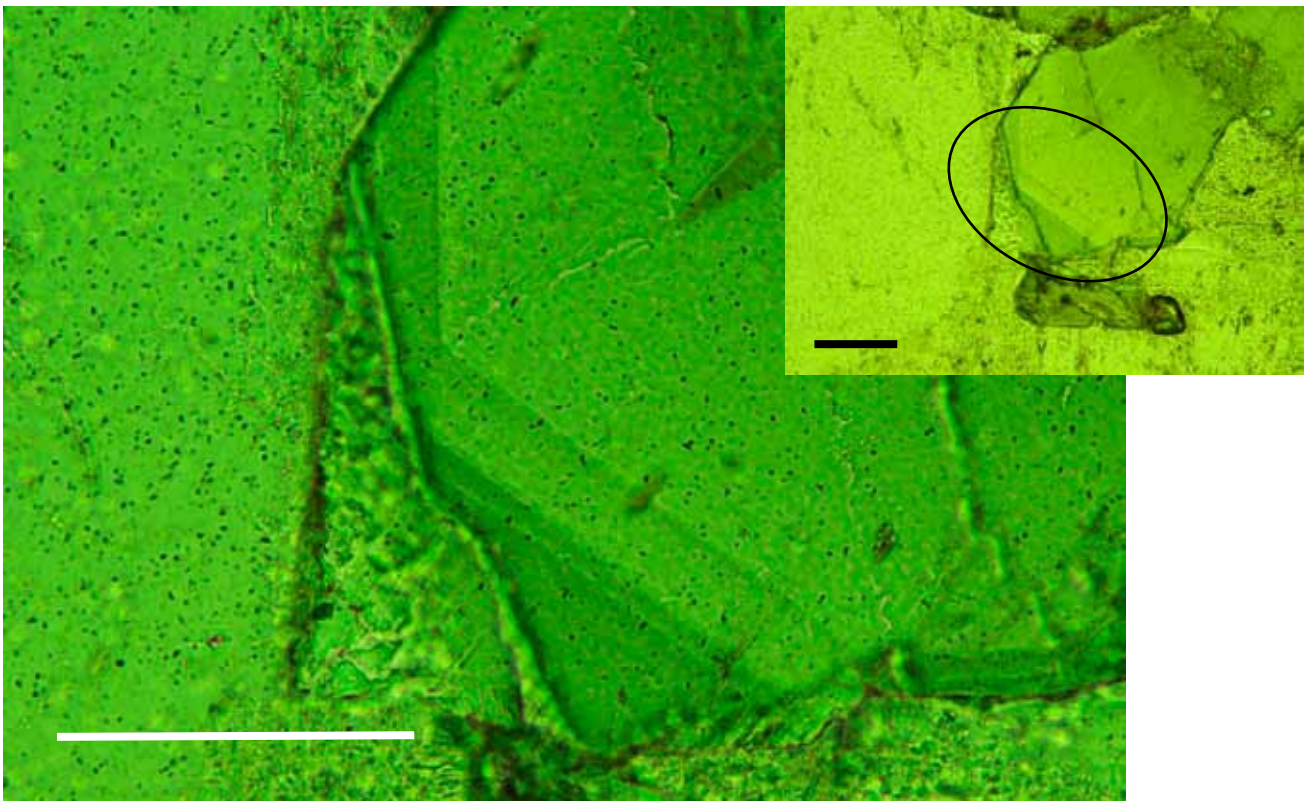
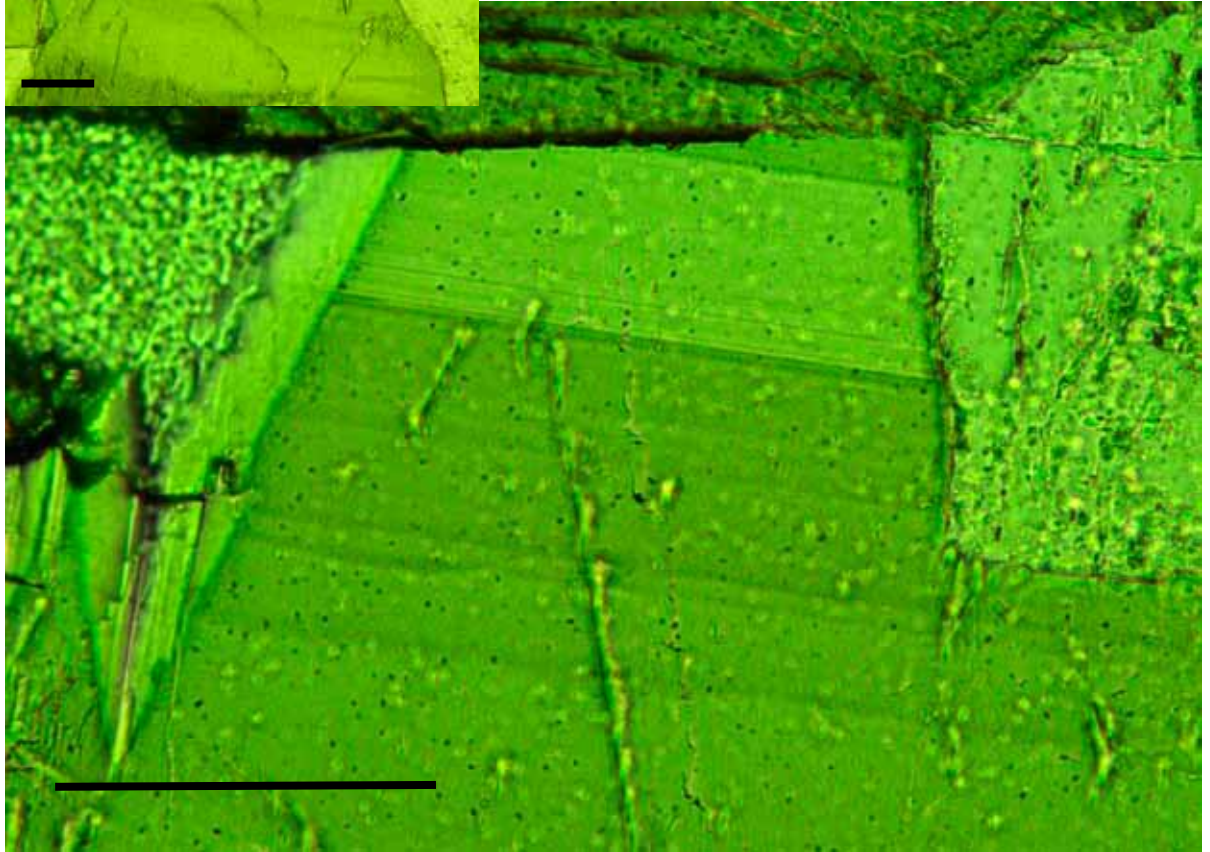
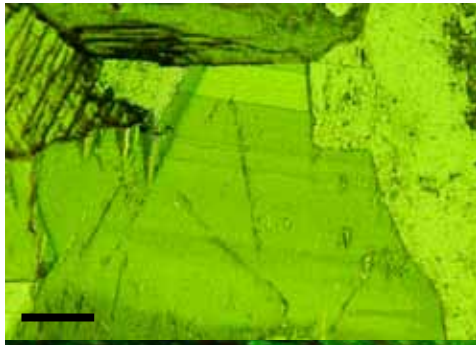
図 26 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造 (試料 240126-5/オープンニコル)
(小ウインドウ 200 倍、大ウインドウ 400 倍 : スケールバー $10\mu\text{m}$)

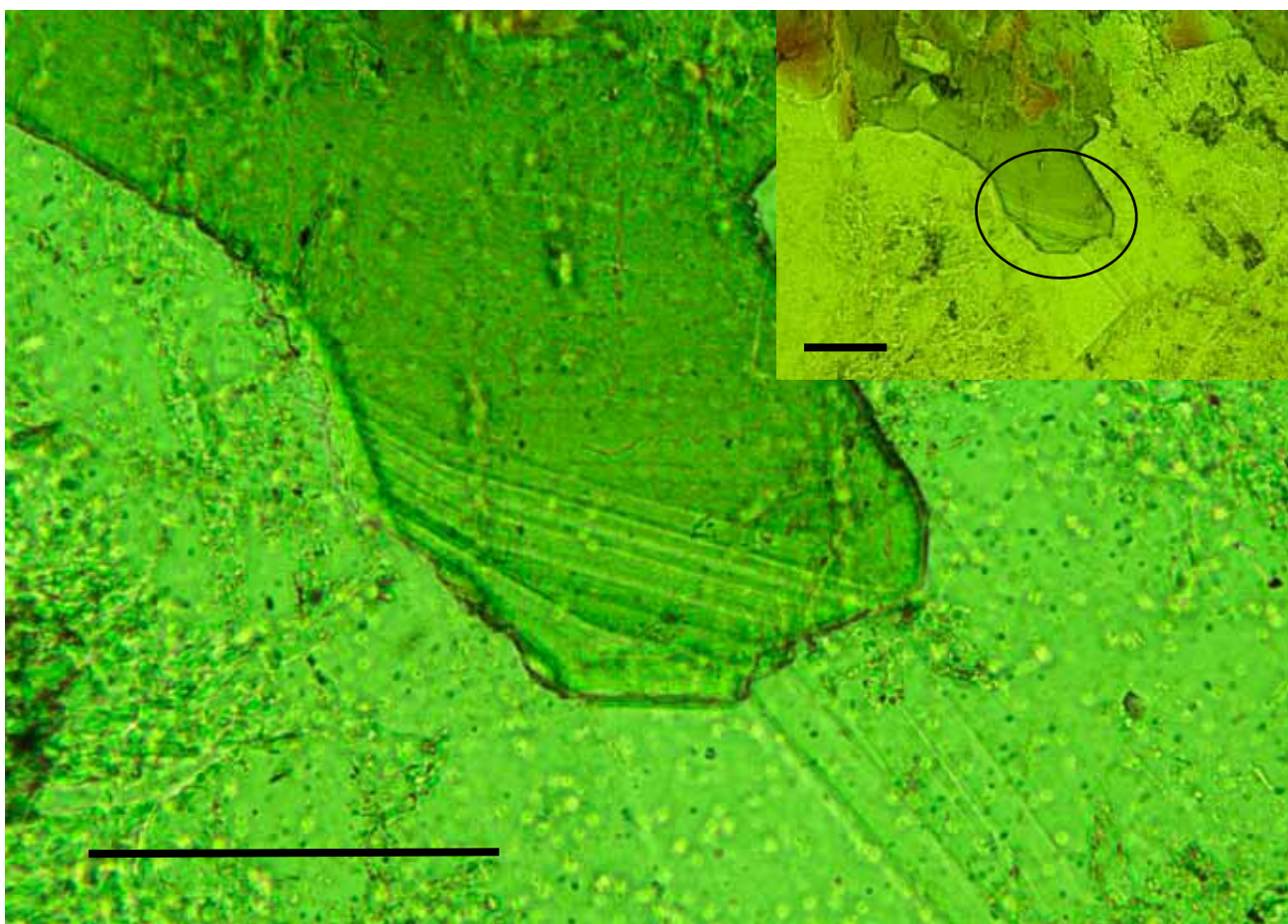
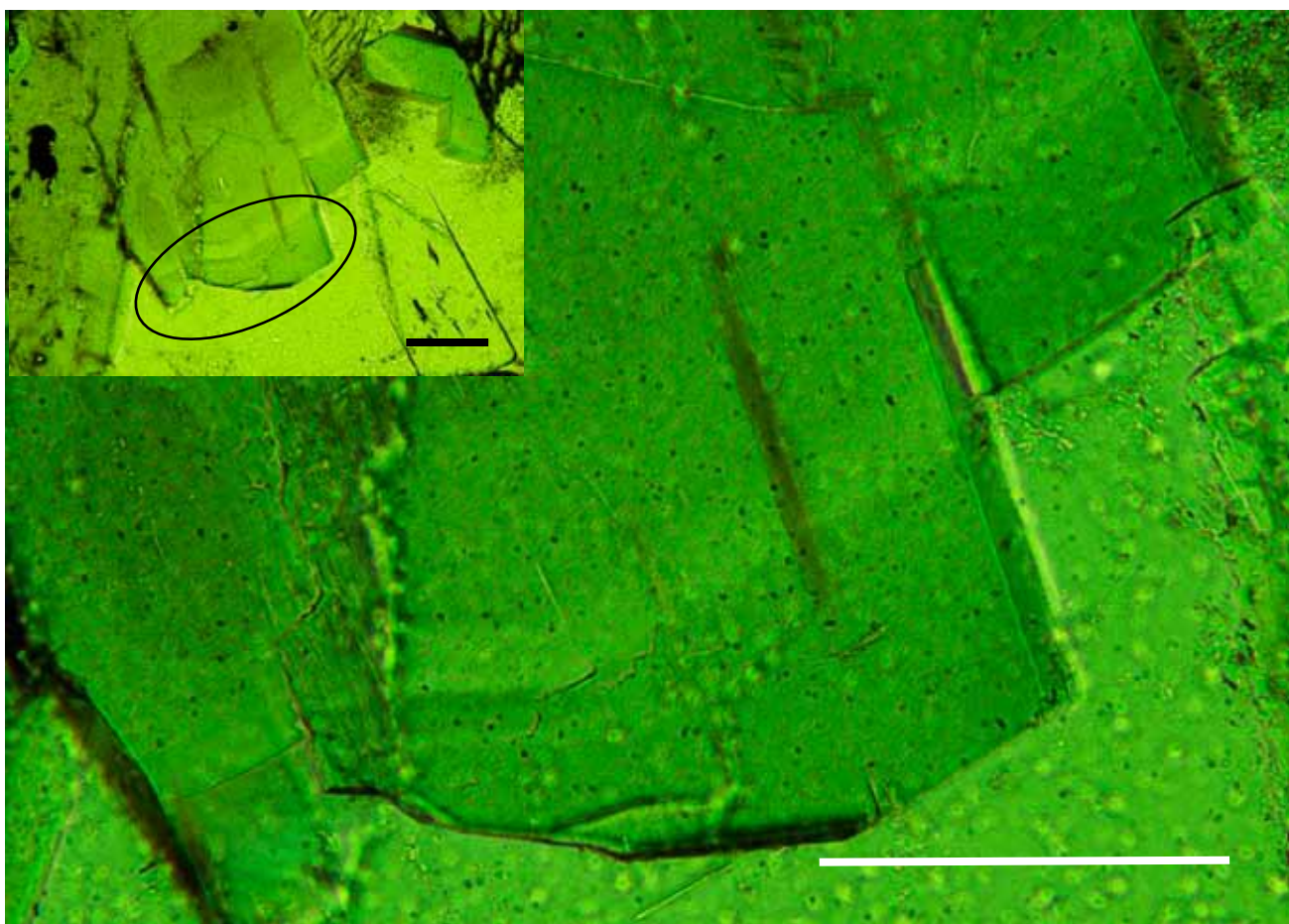


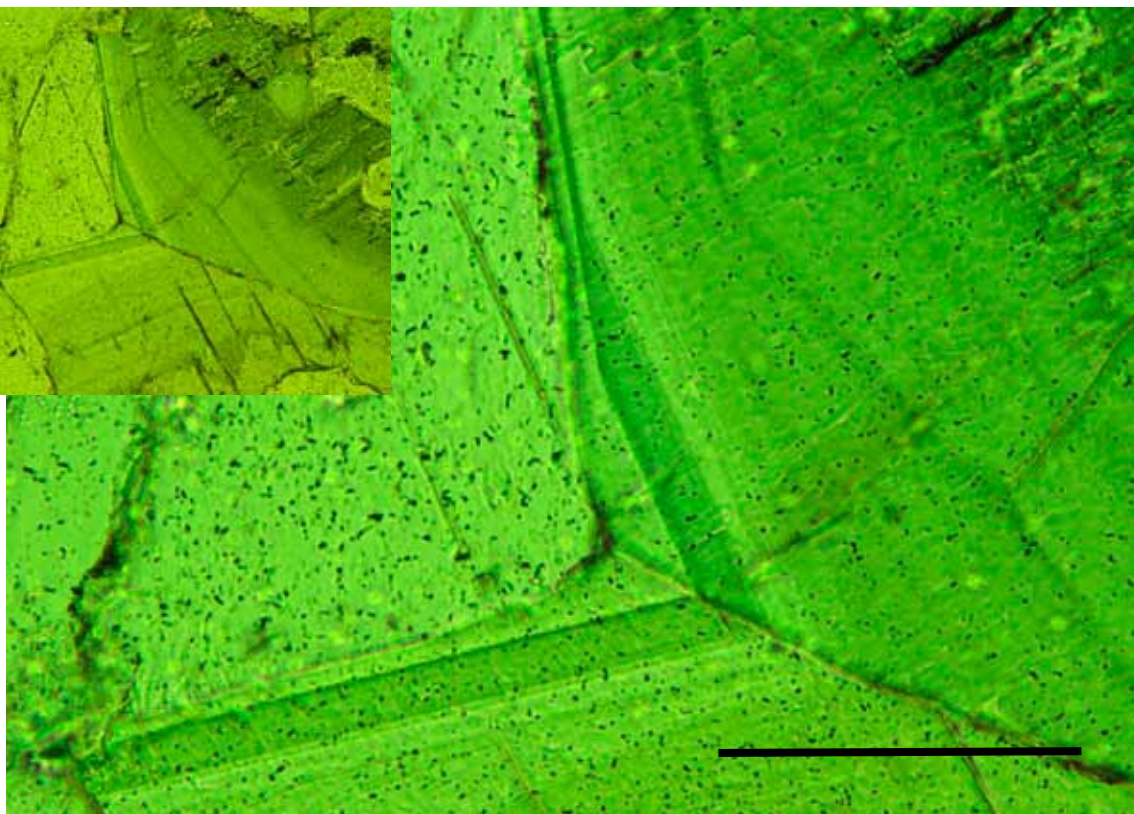
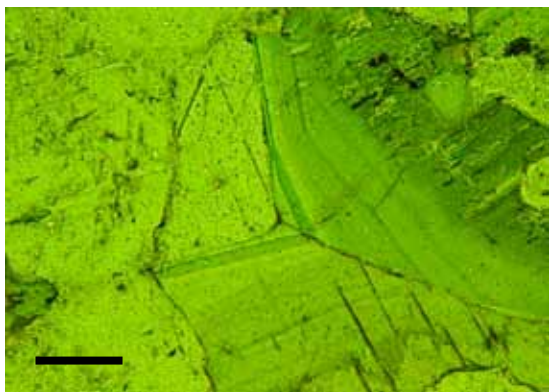
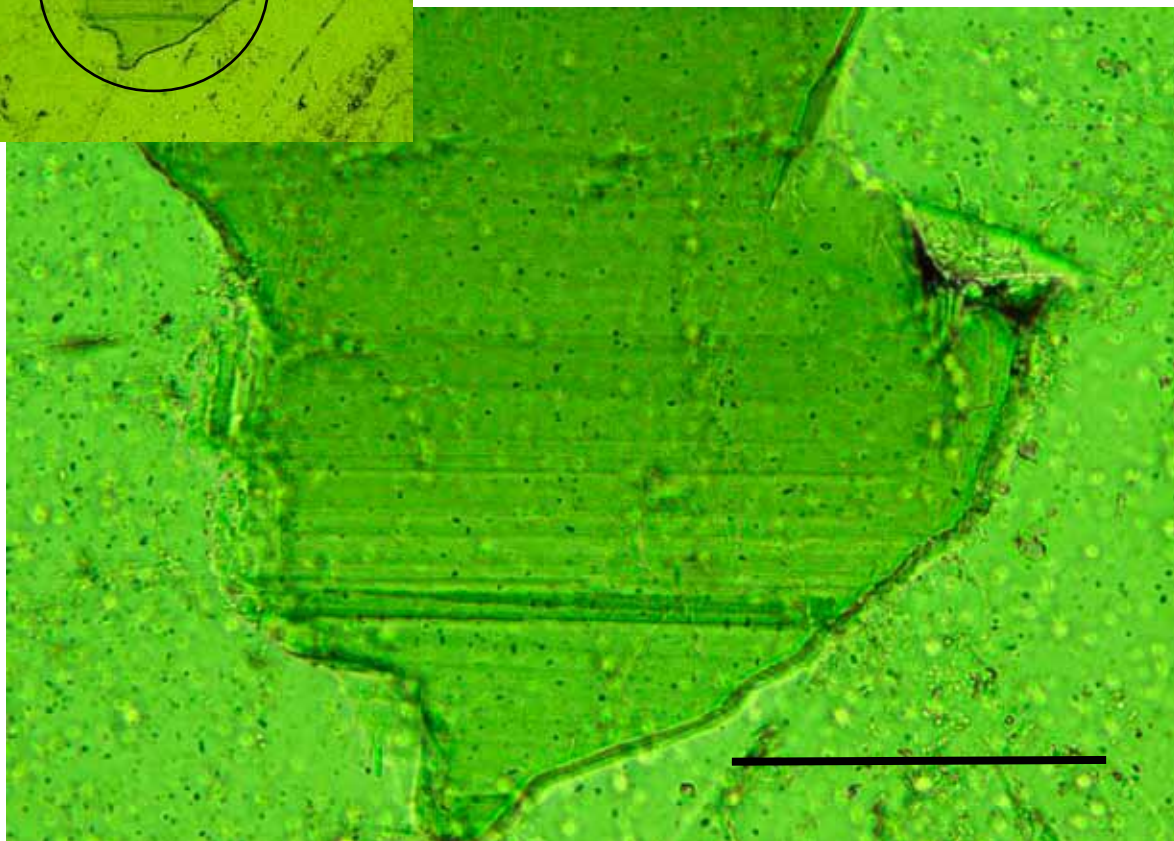
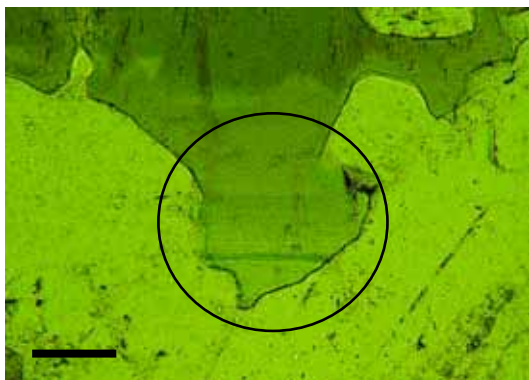


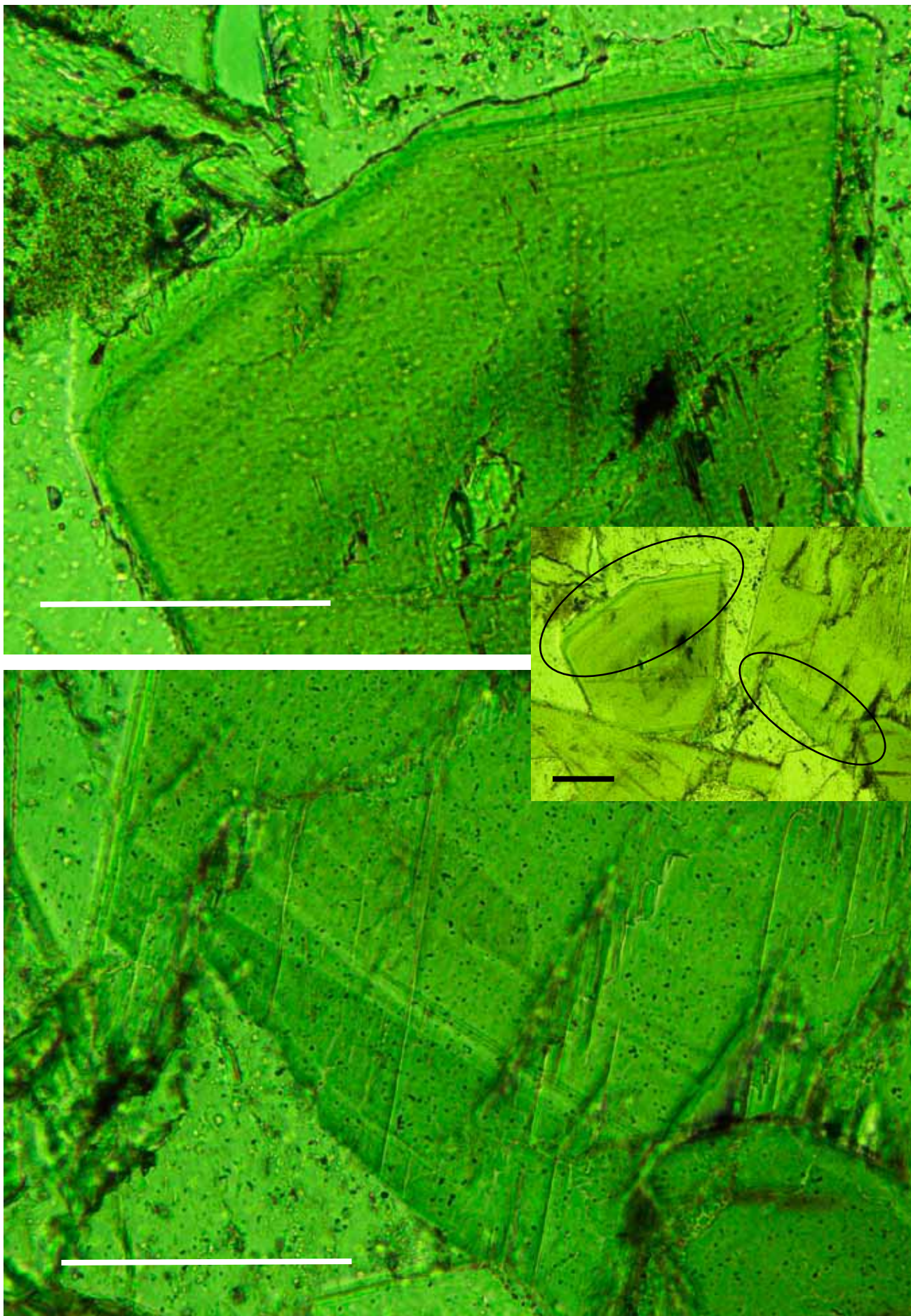












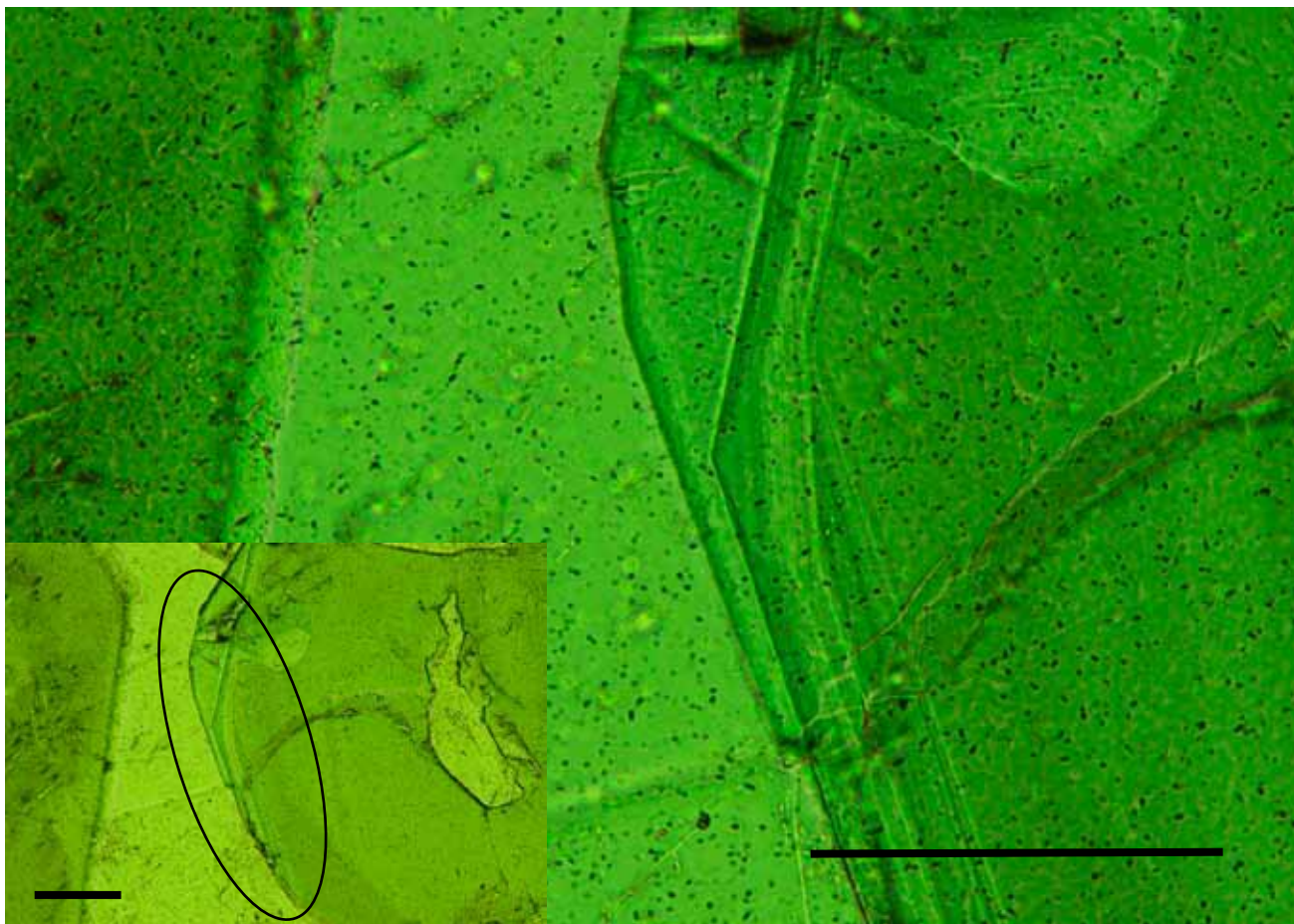
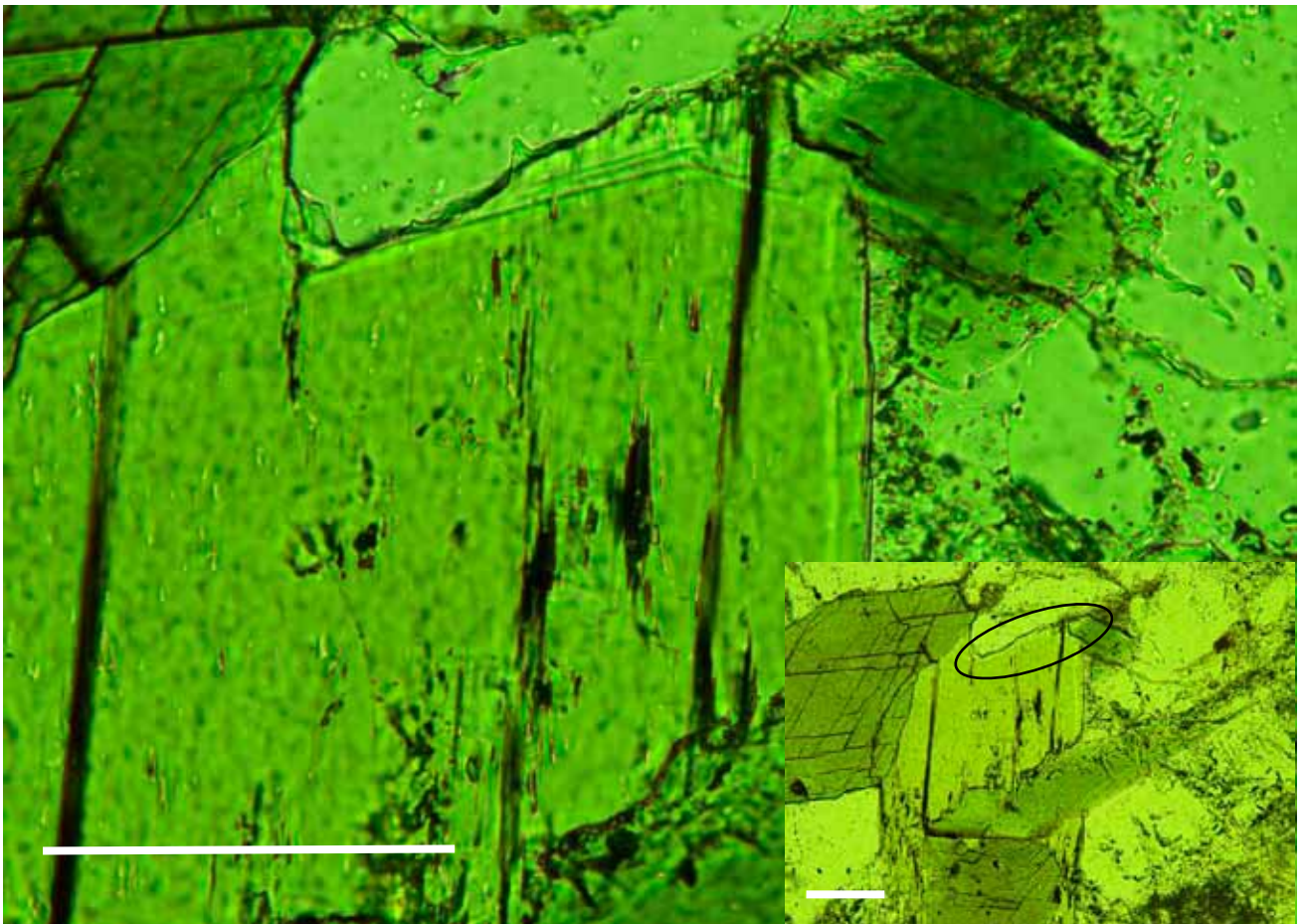
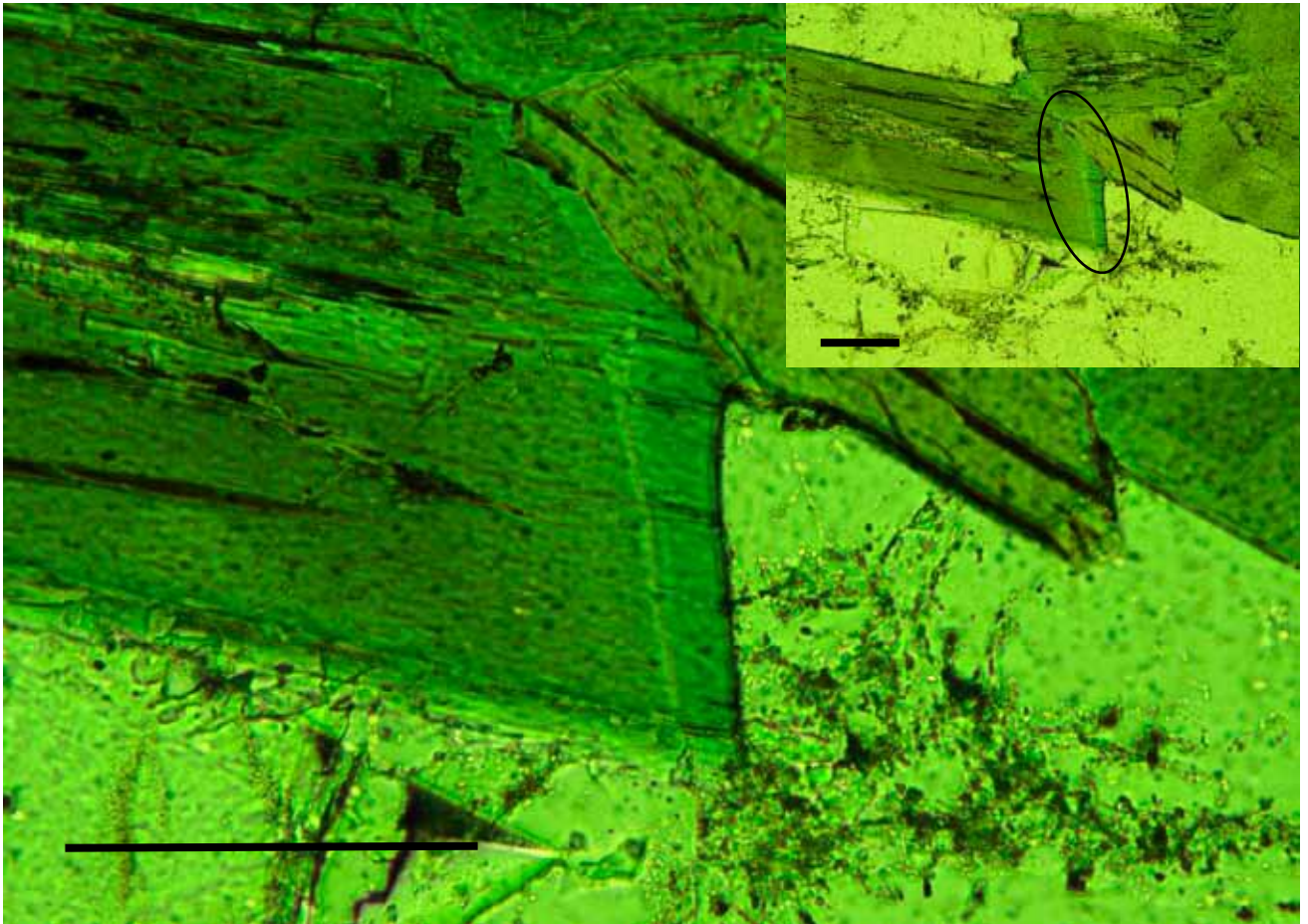
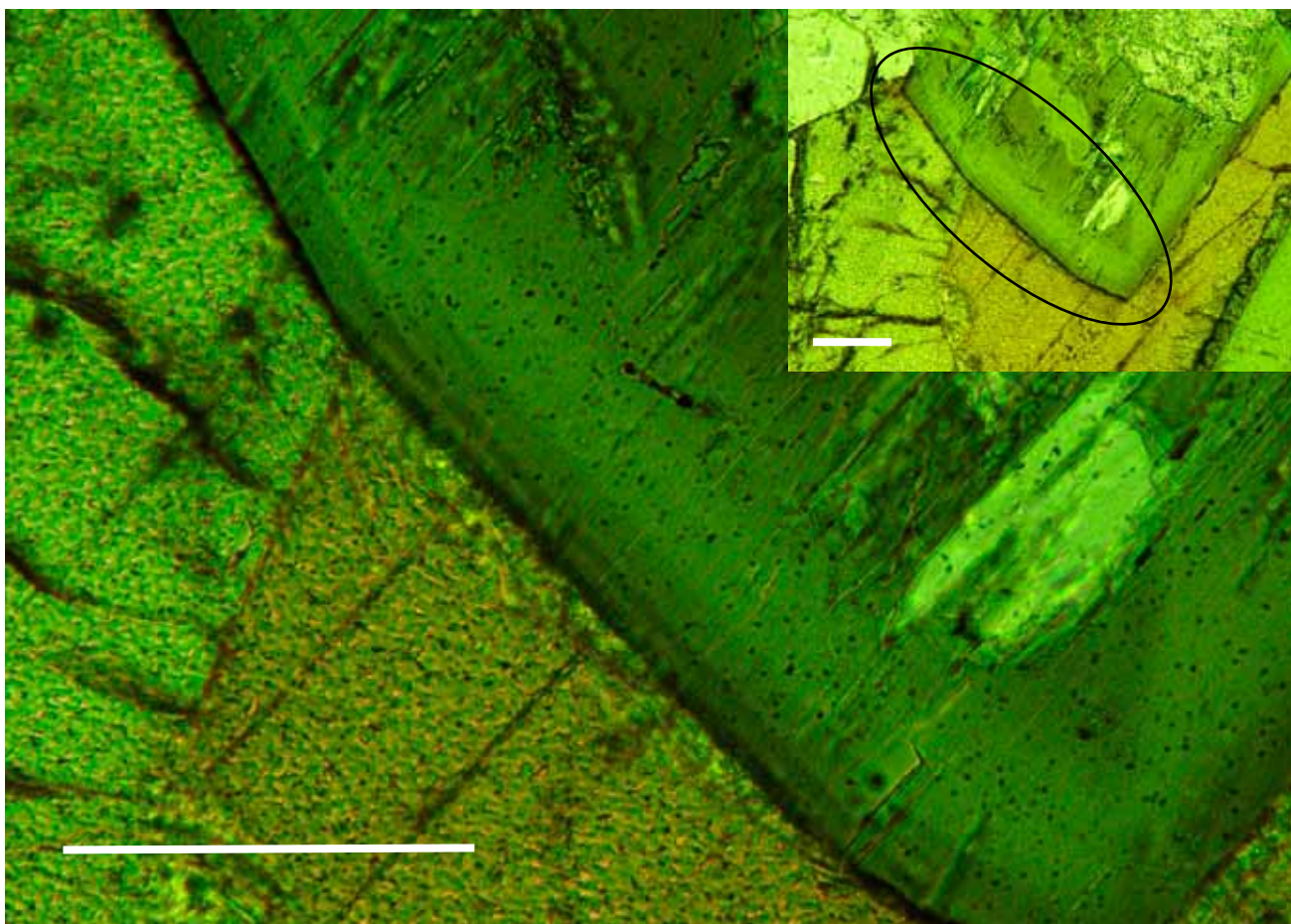
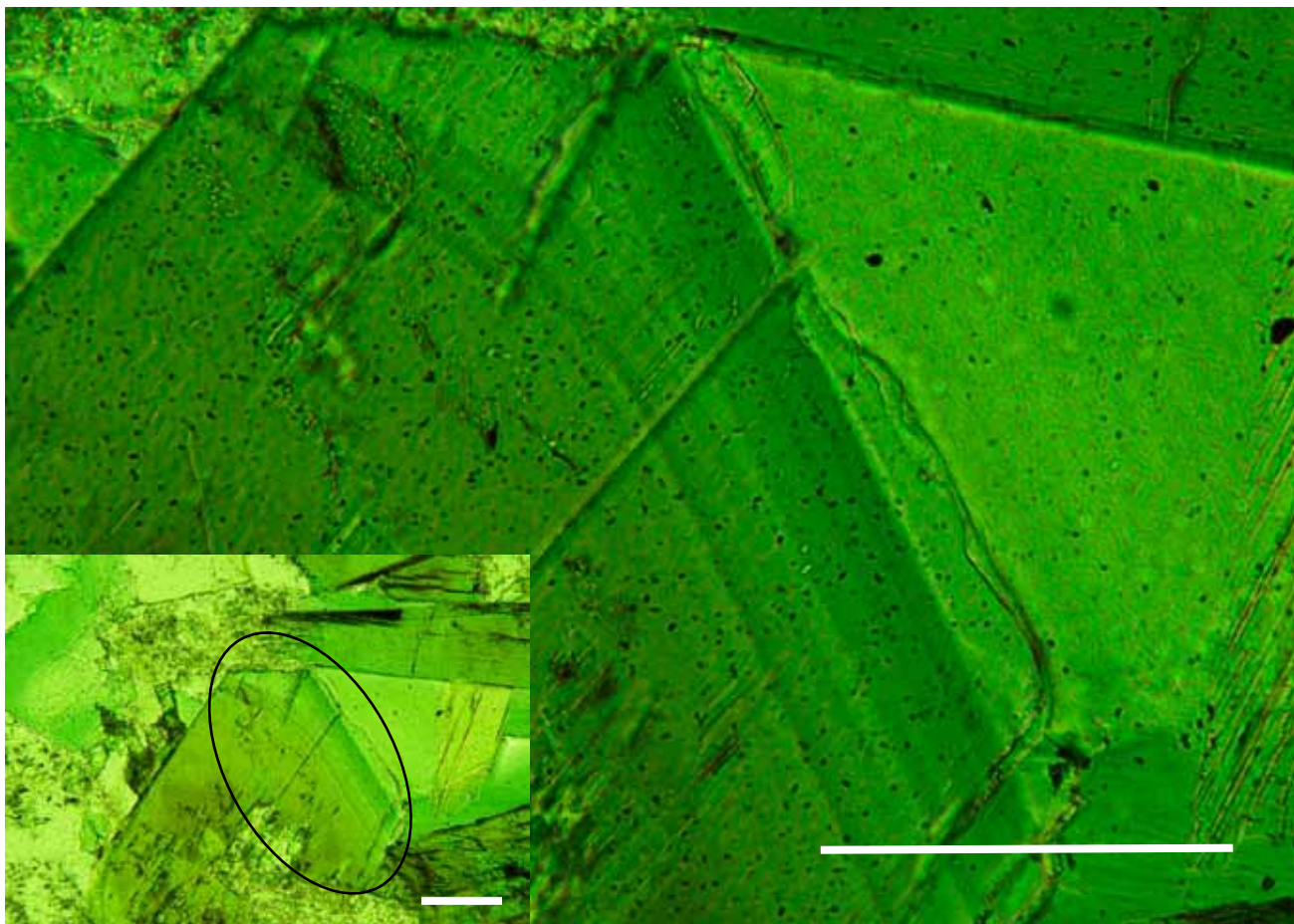
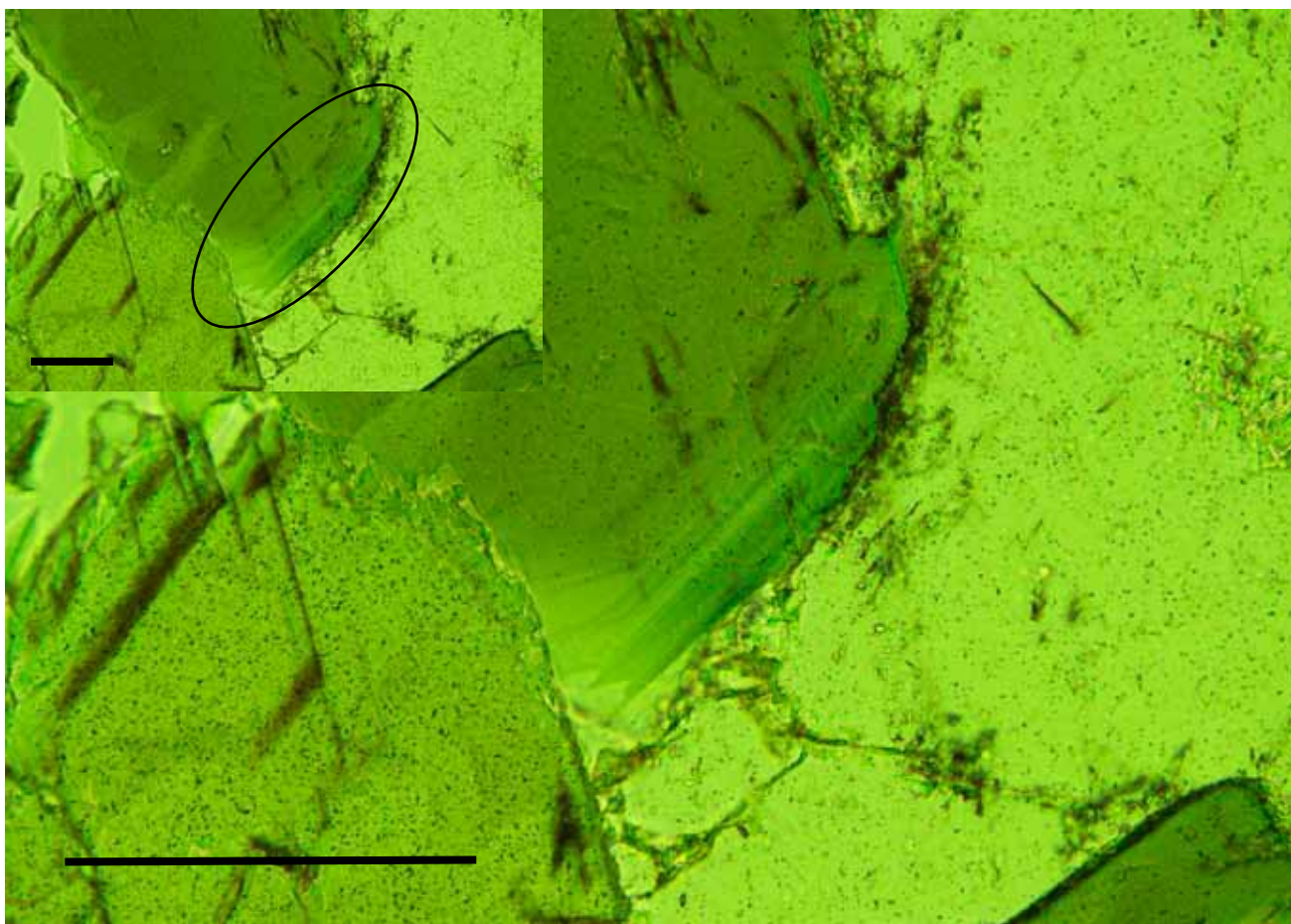
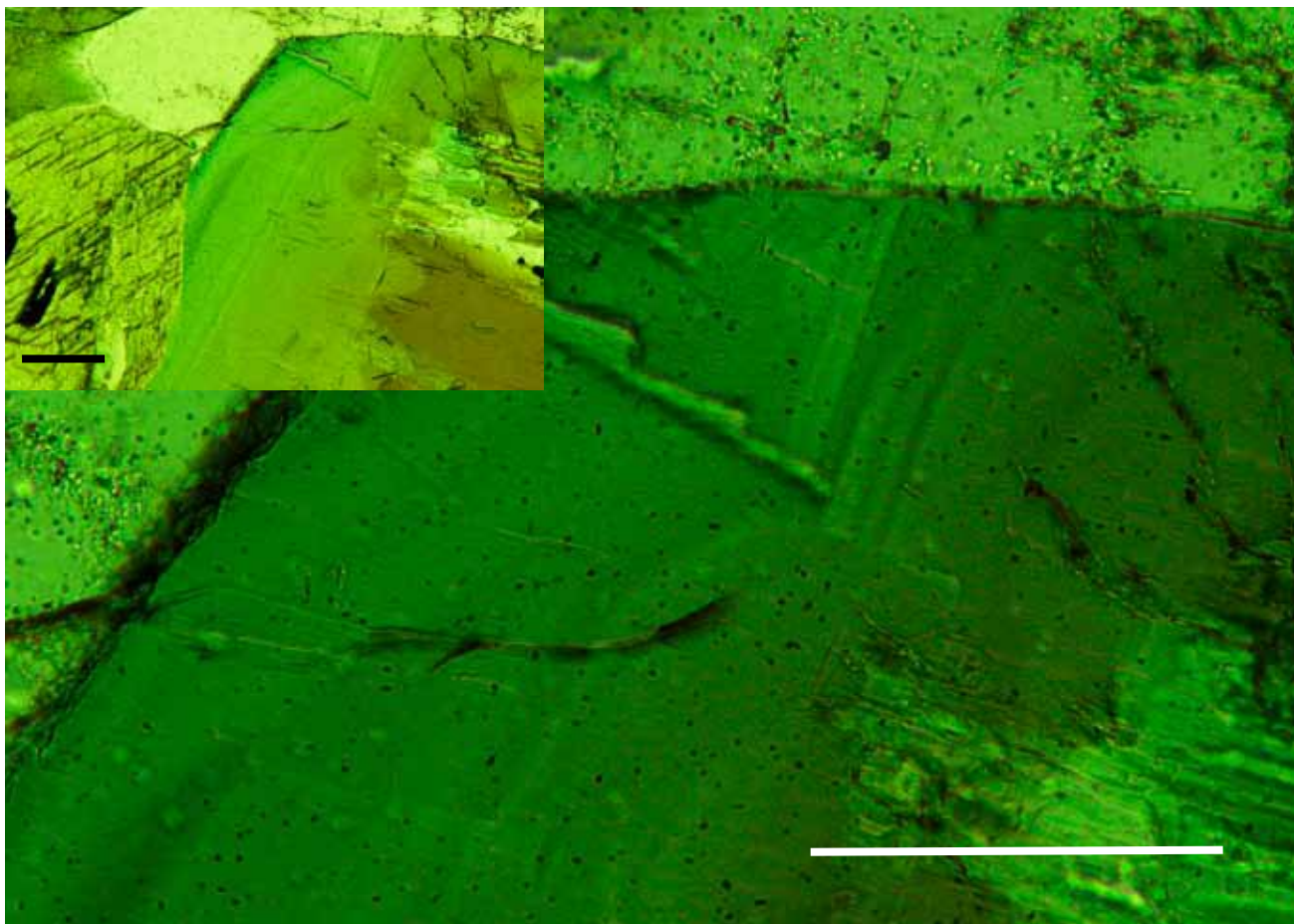
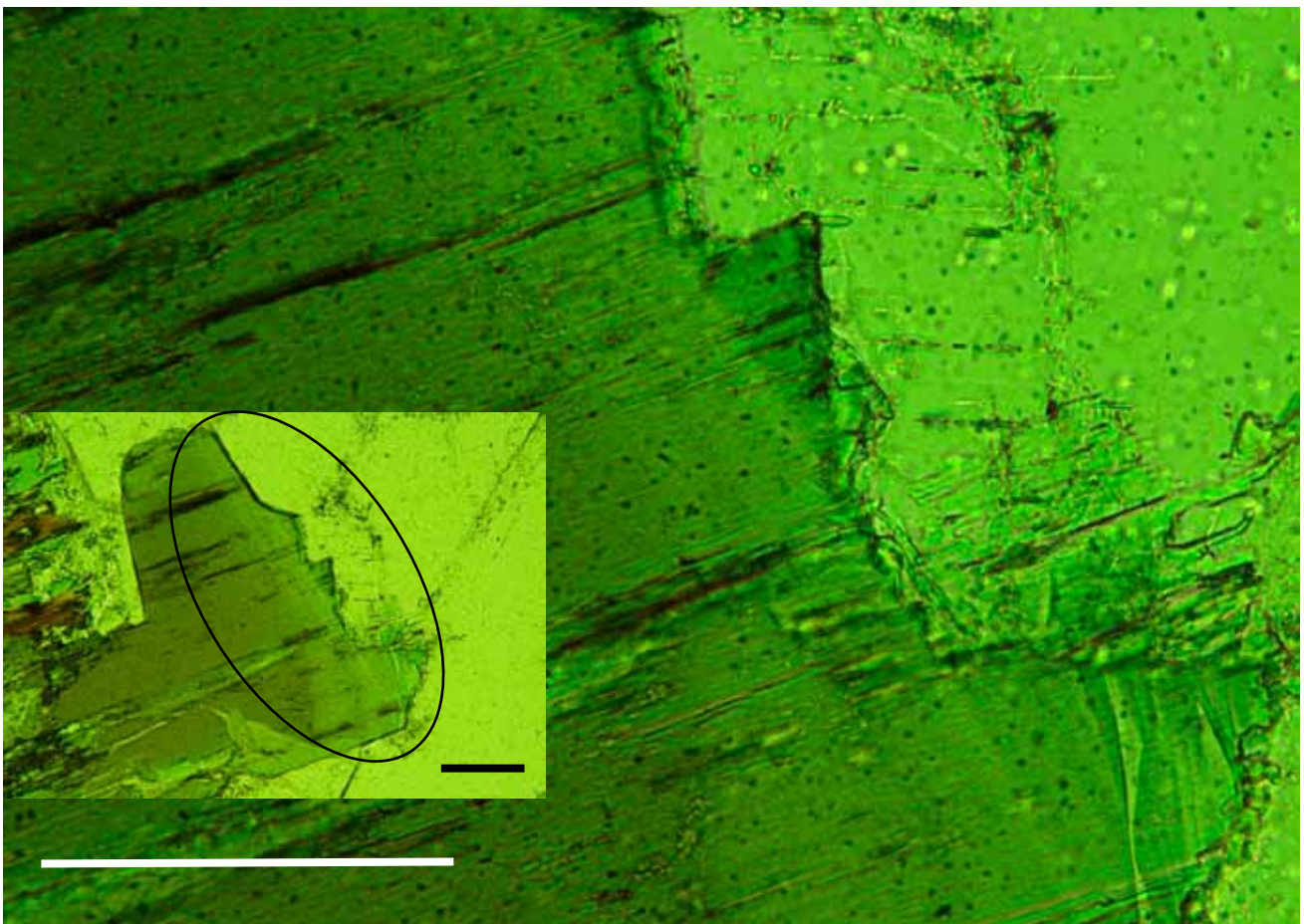
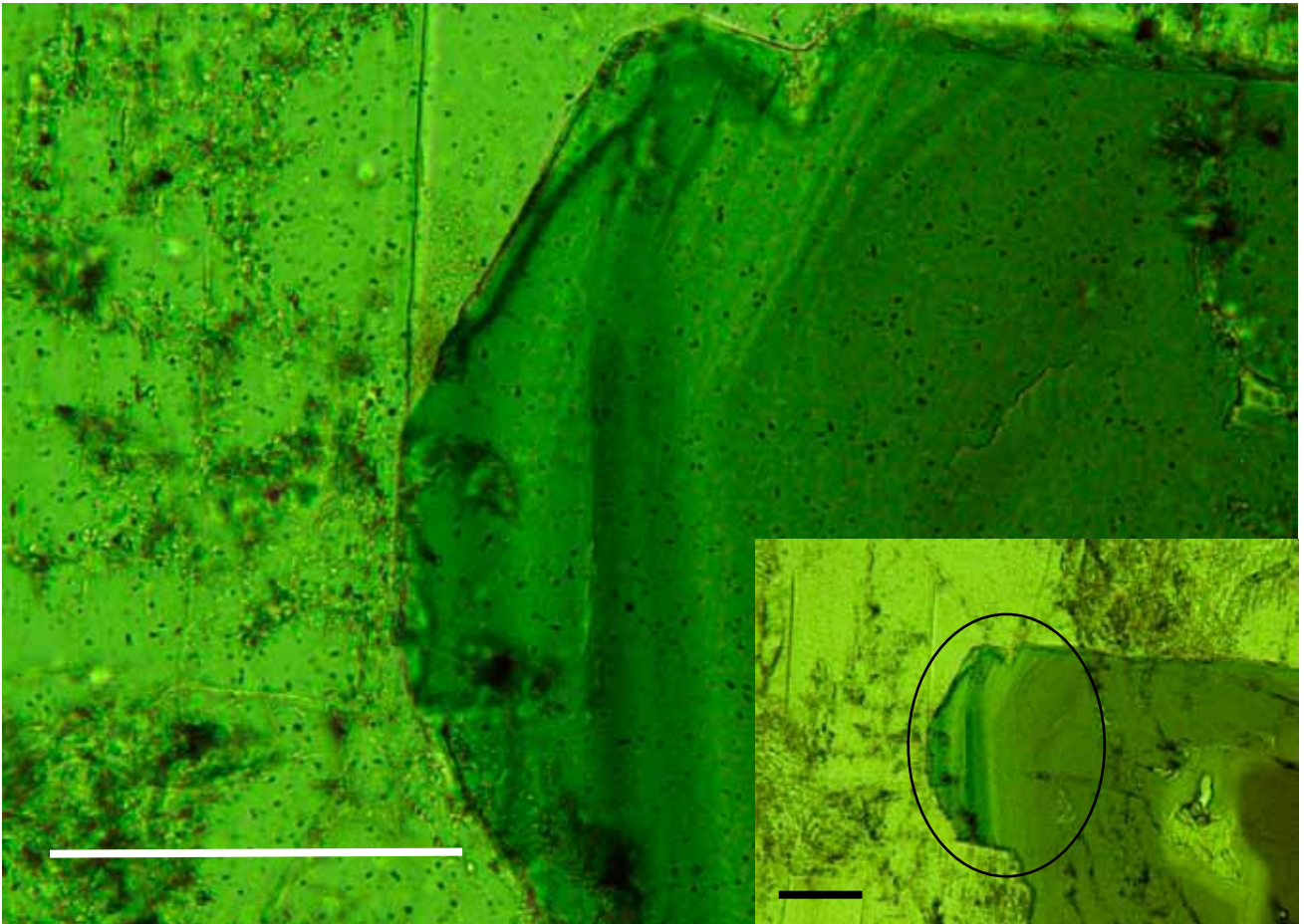


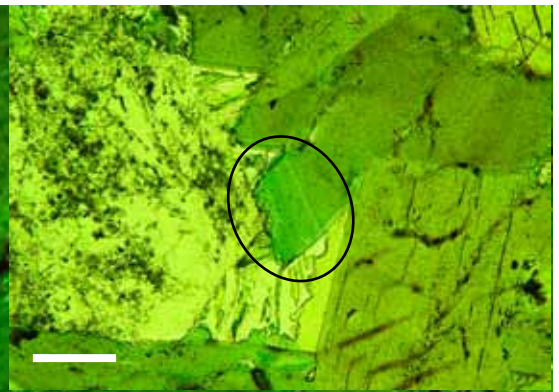
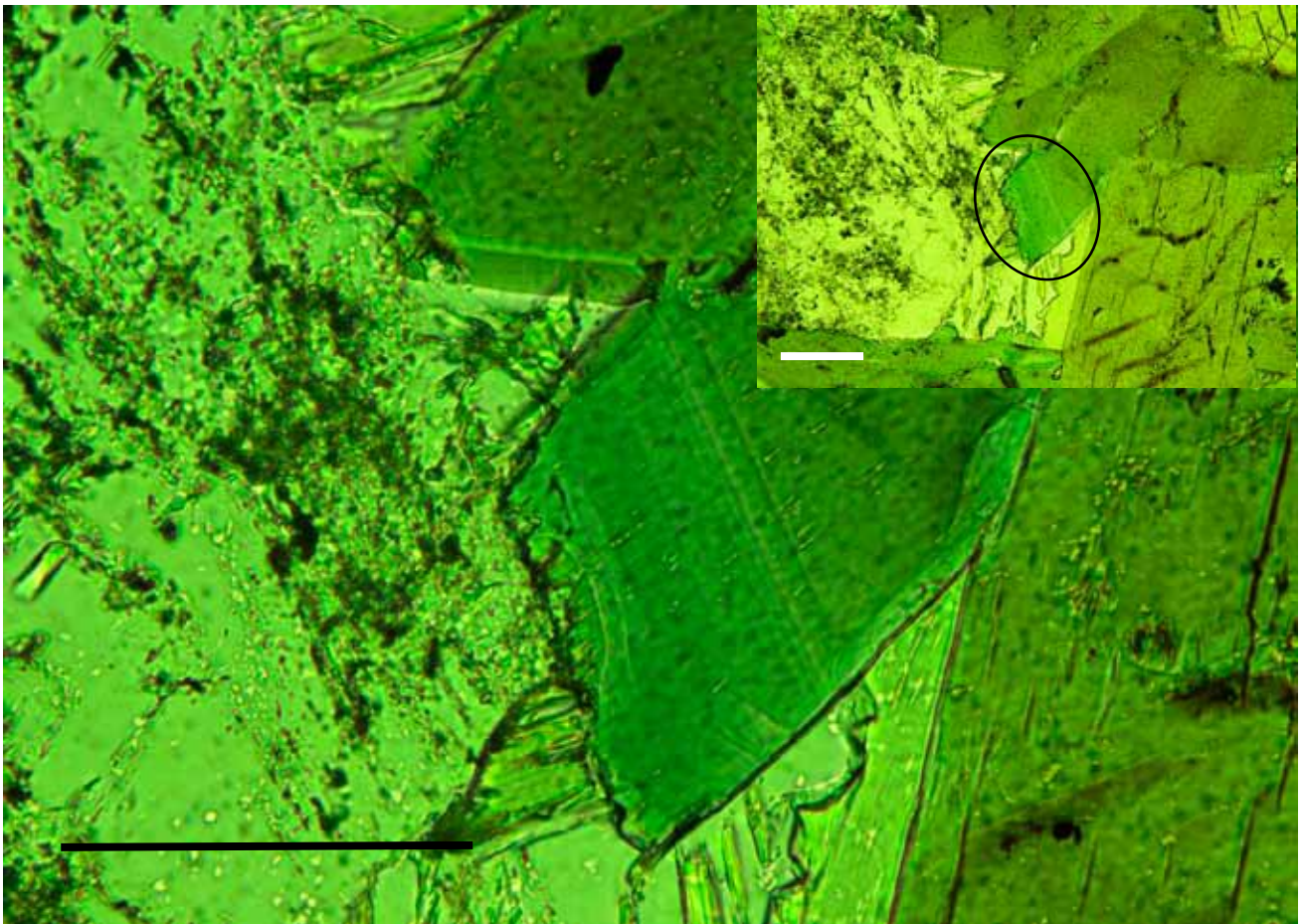
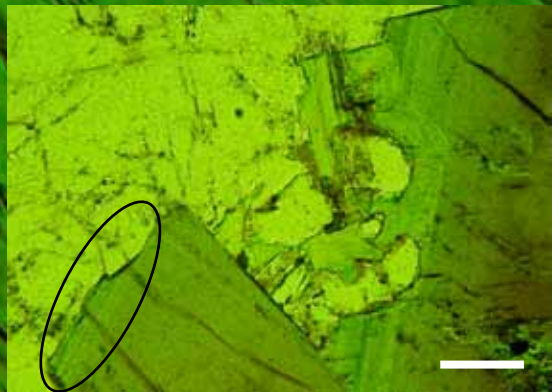
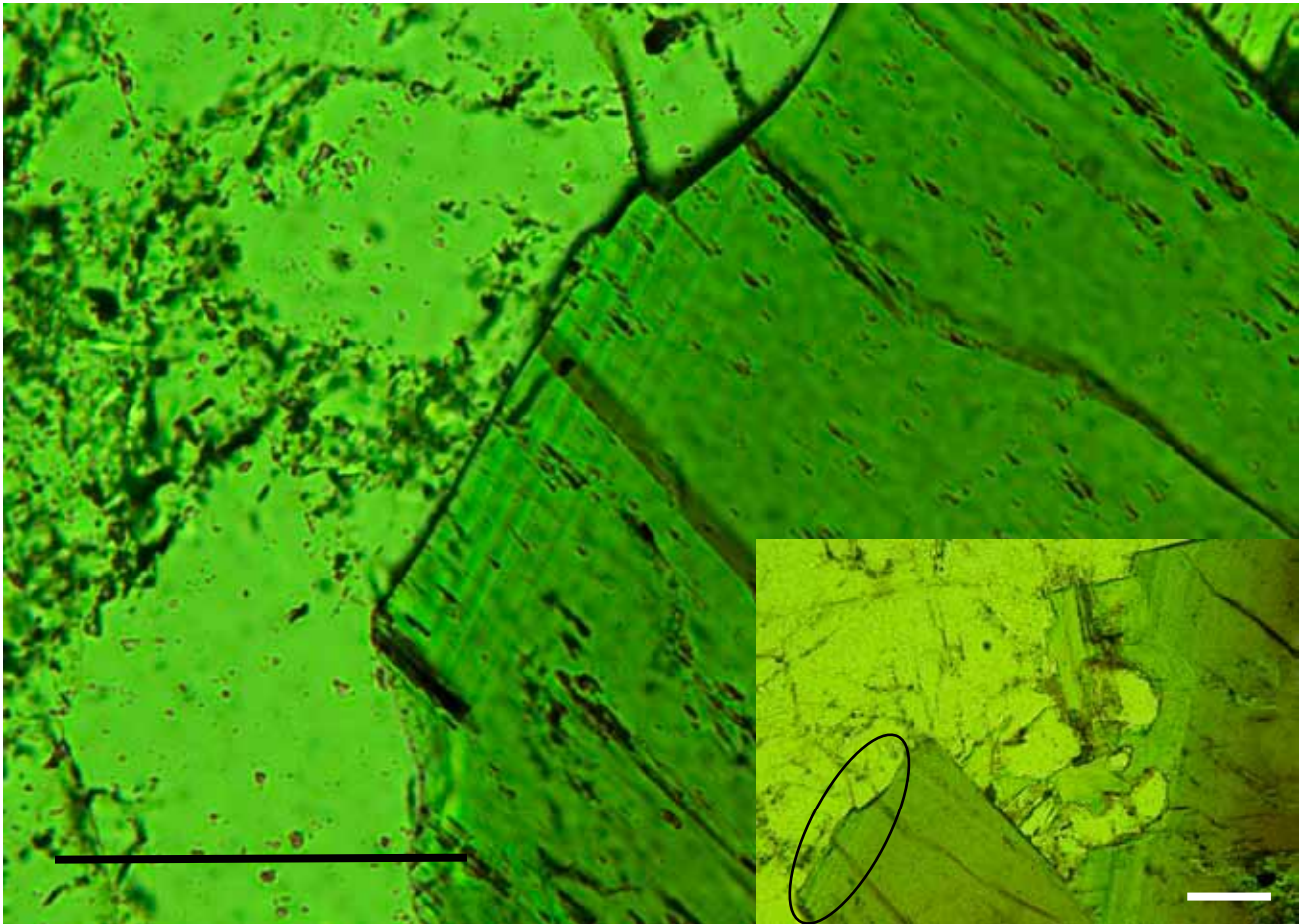
図 27 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造（試料 240127-2／オープンニコル）
（小ウインドウ 200 倍、大ウインドウ 400 倍：スケールバー10 μ m）

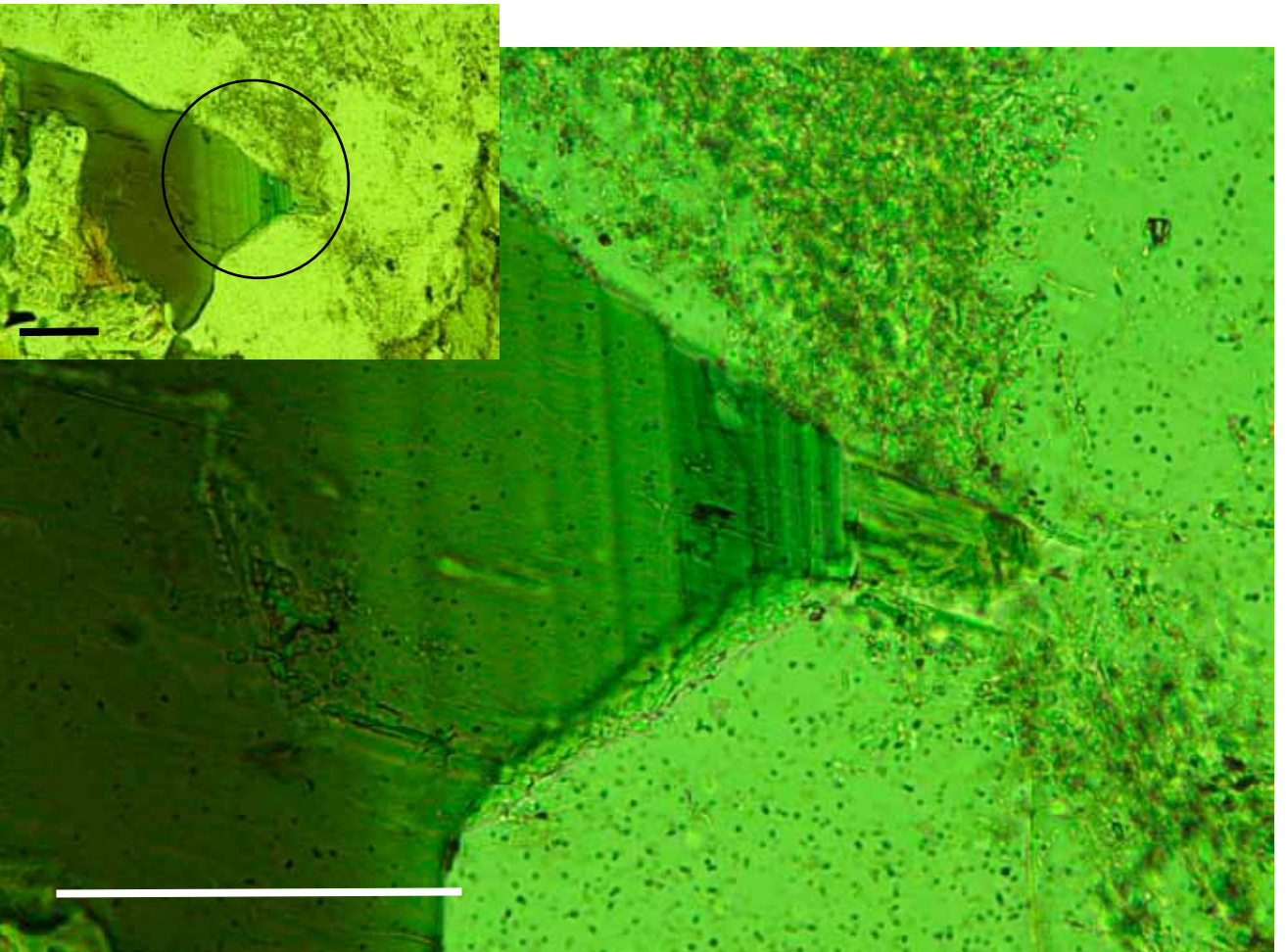
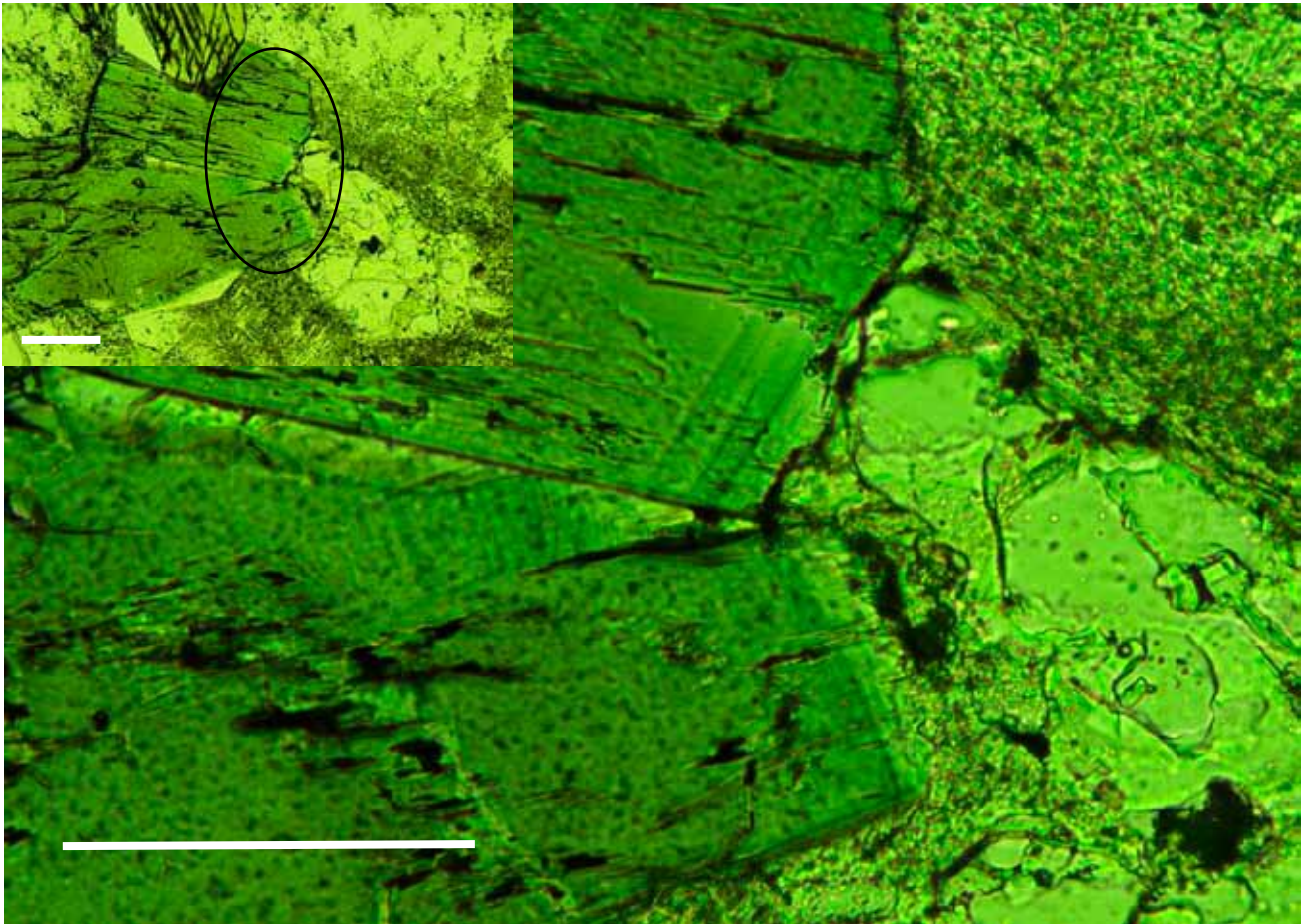


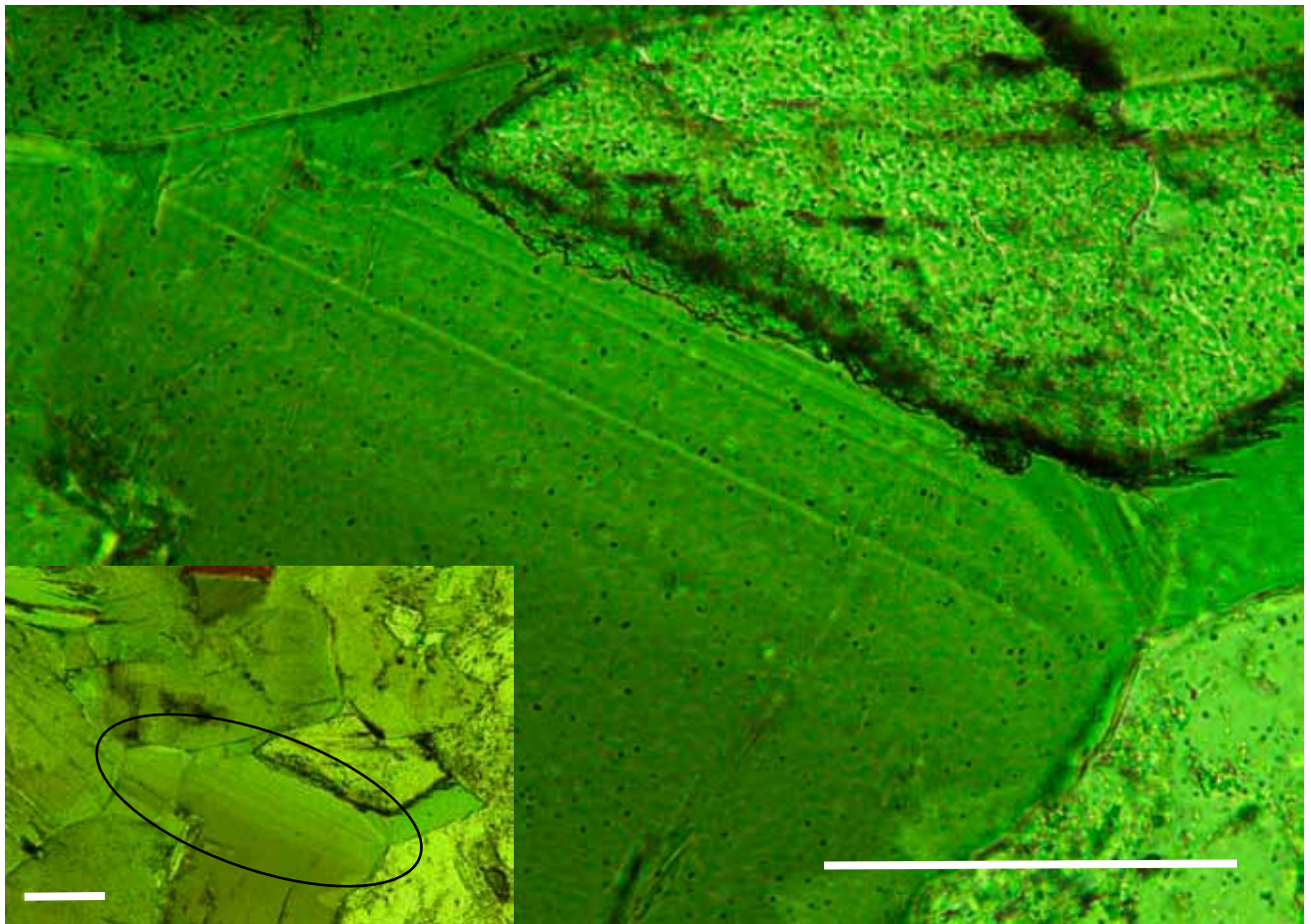
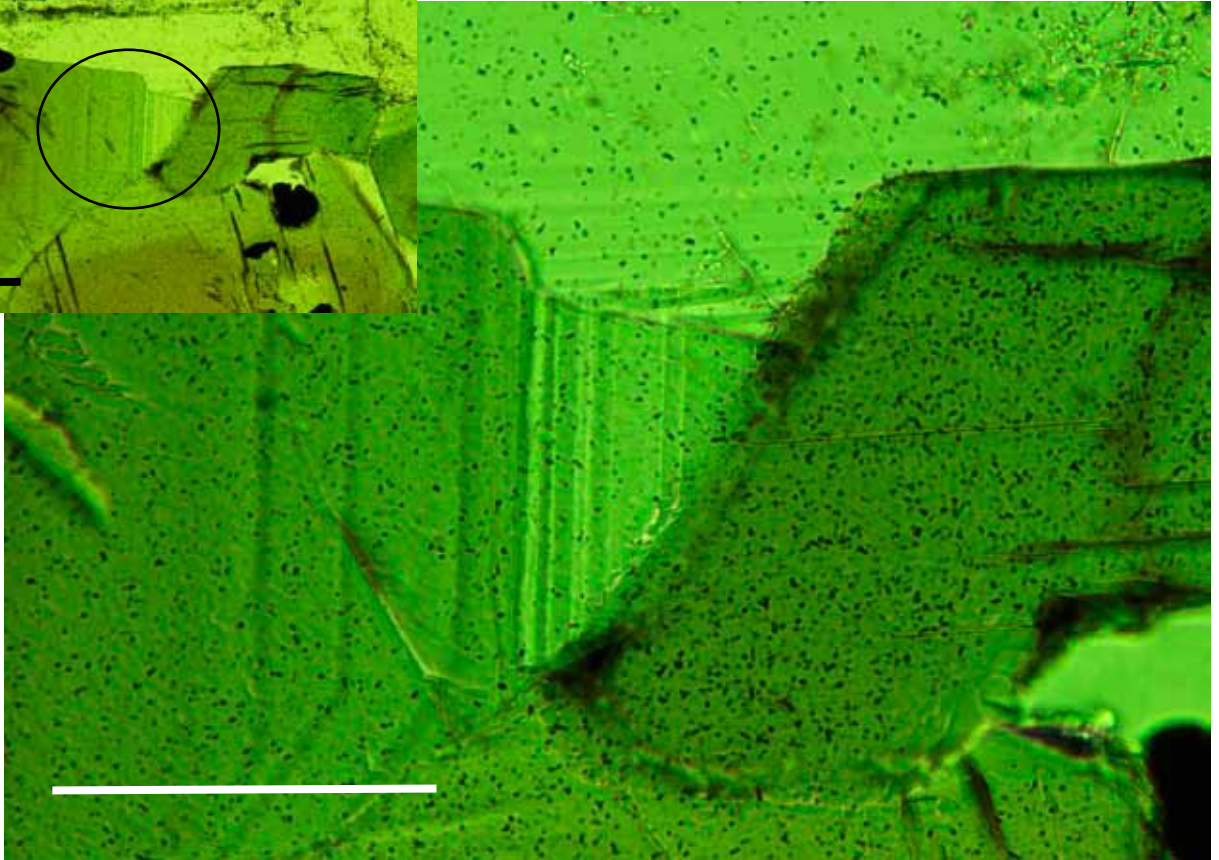
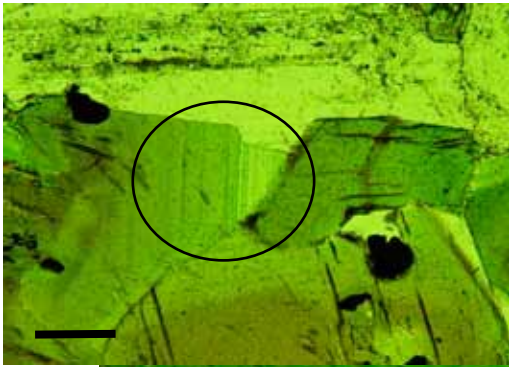


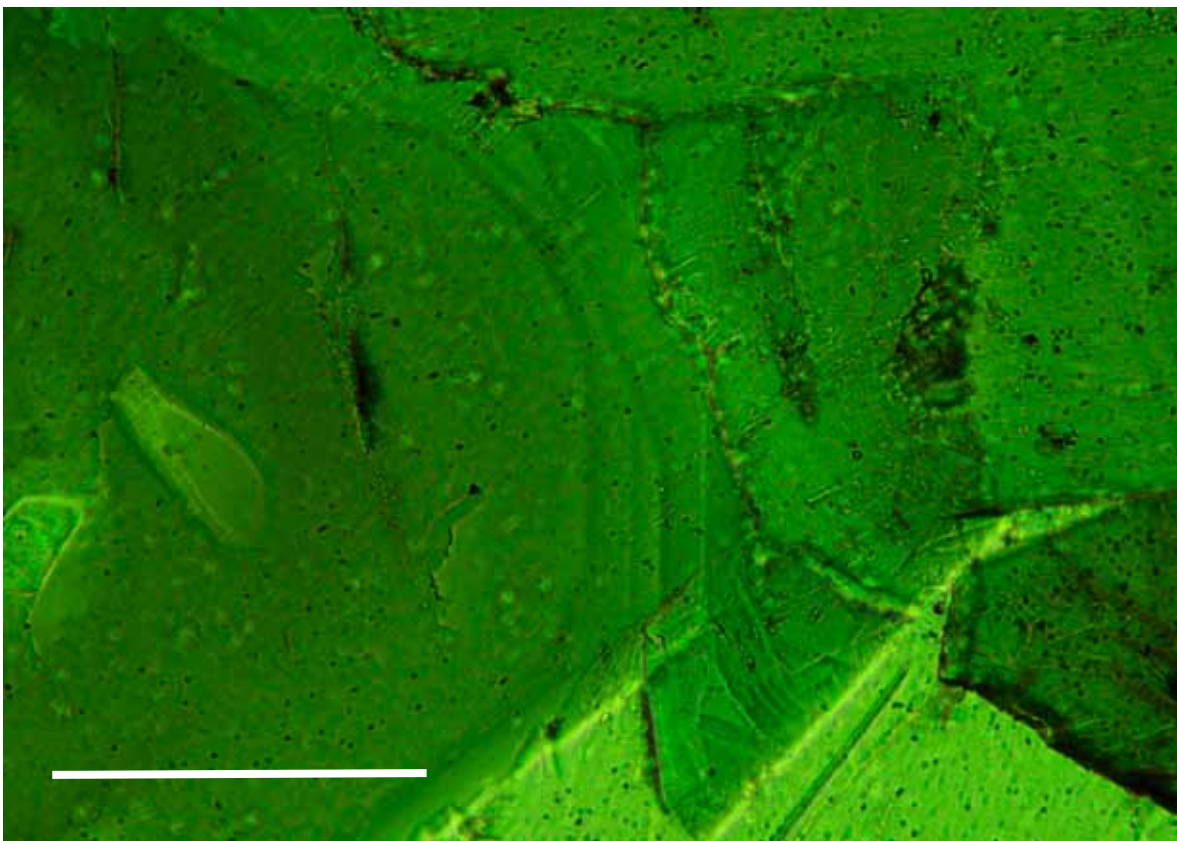
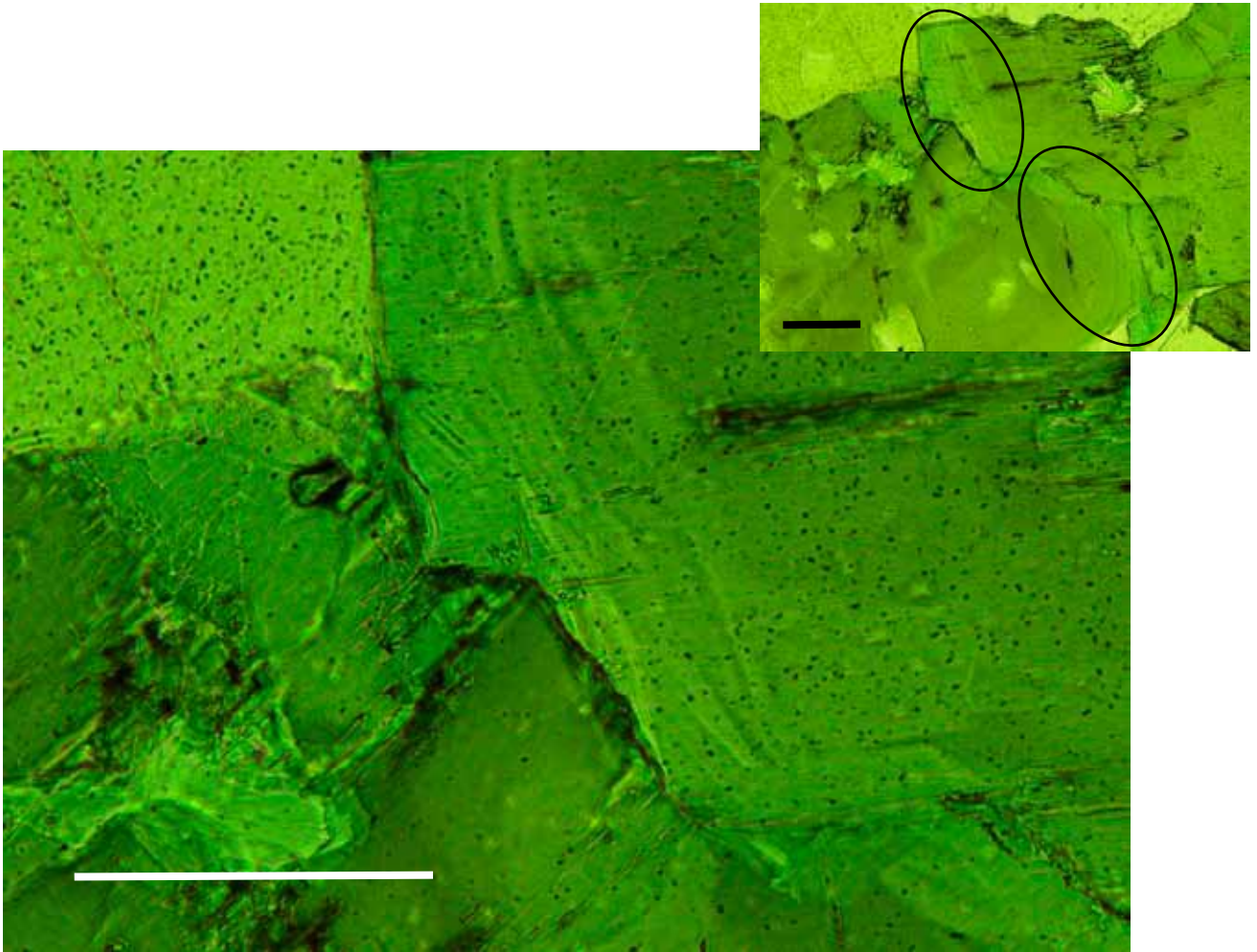


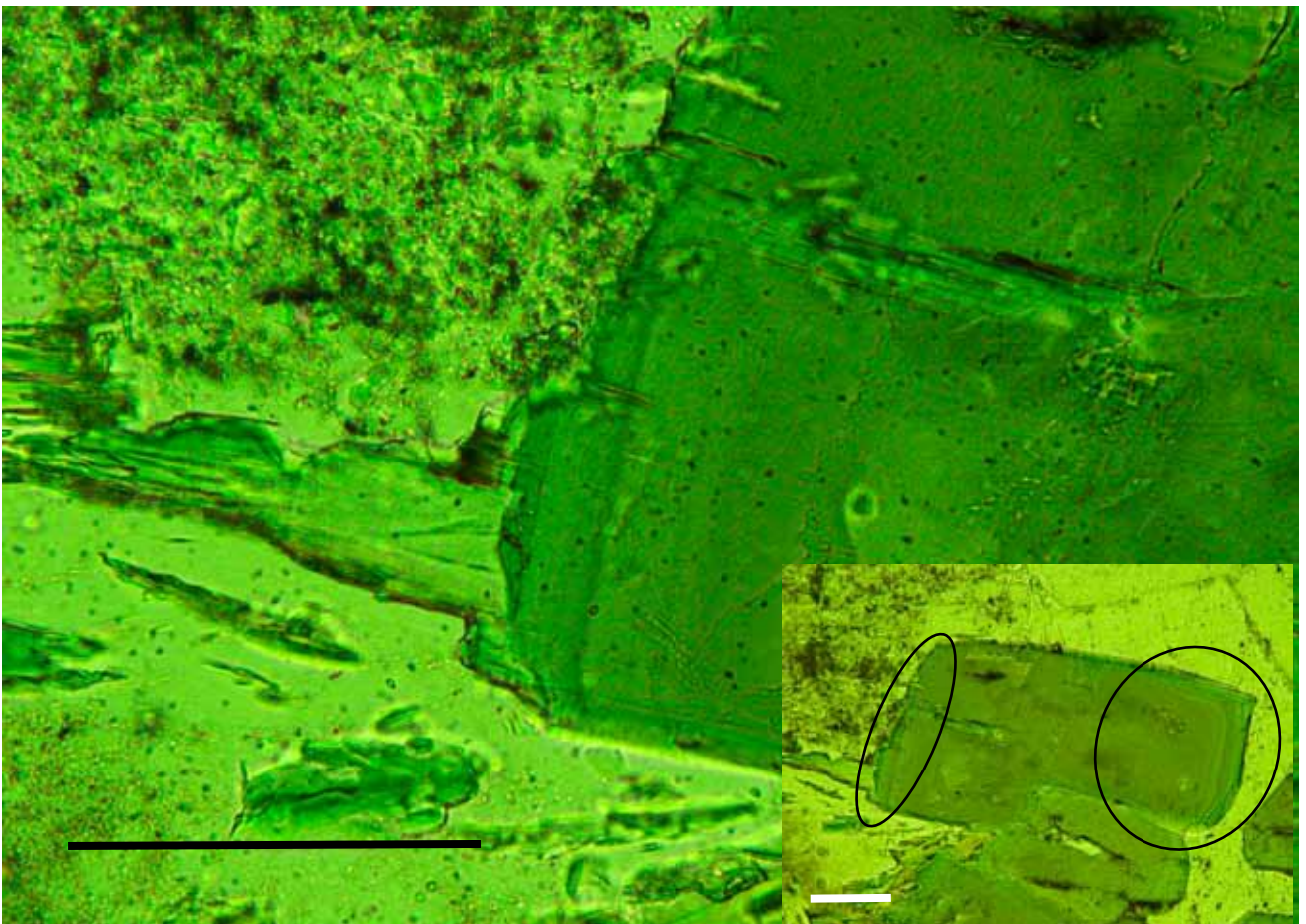
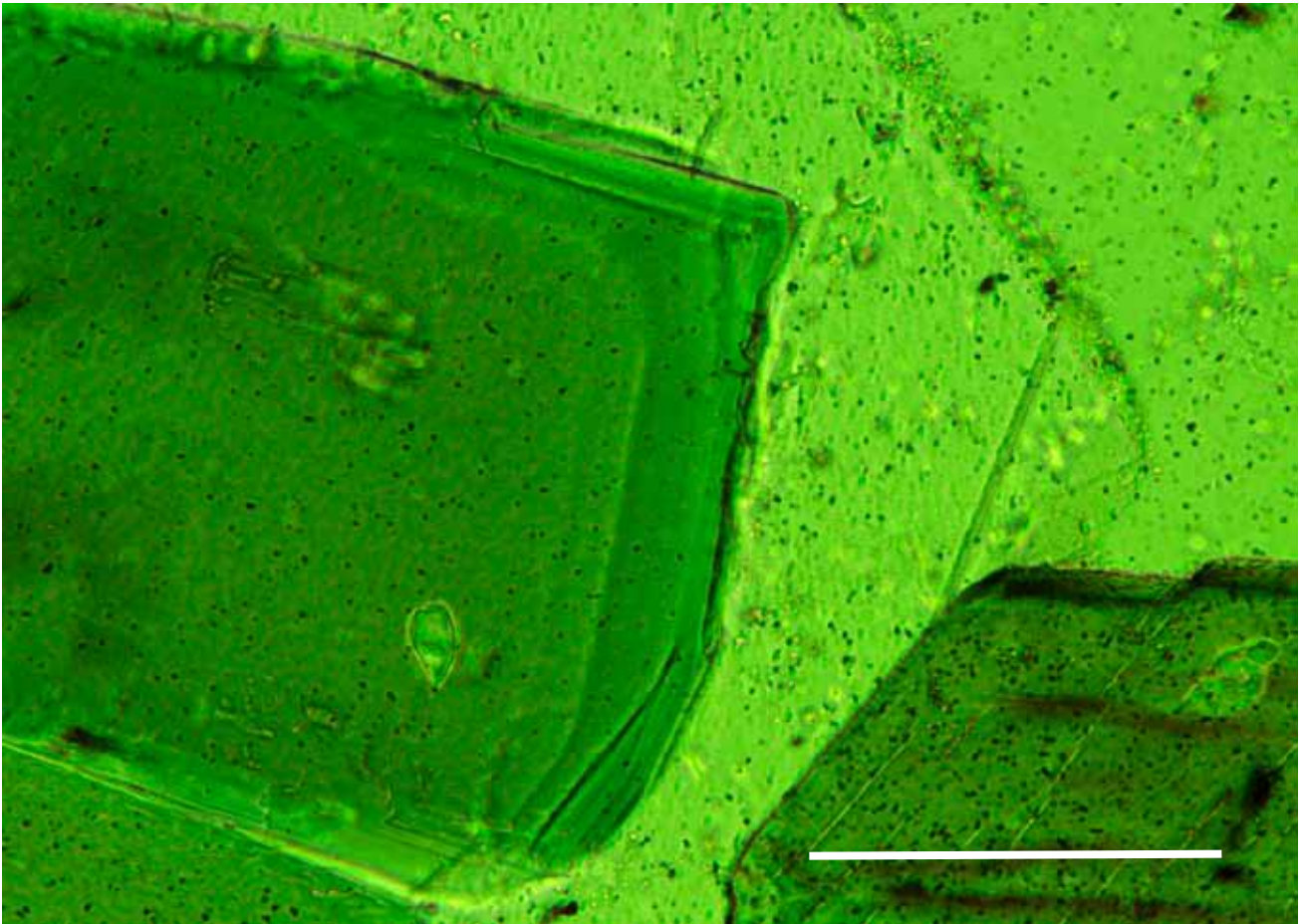


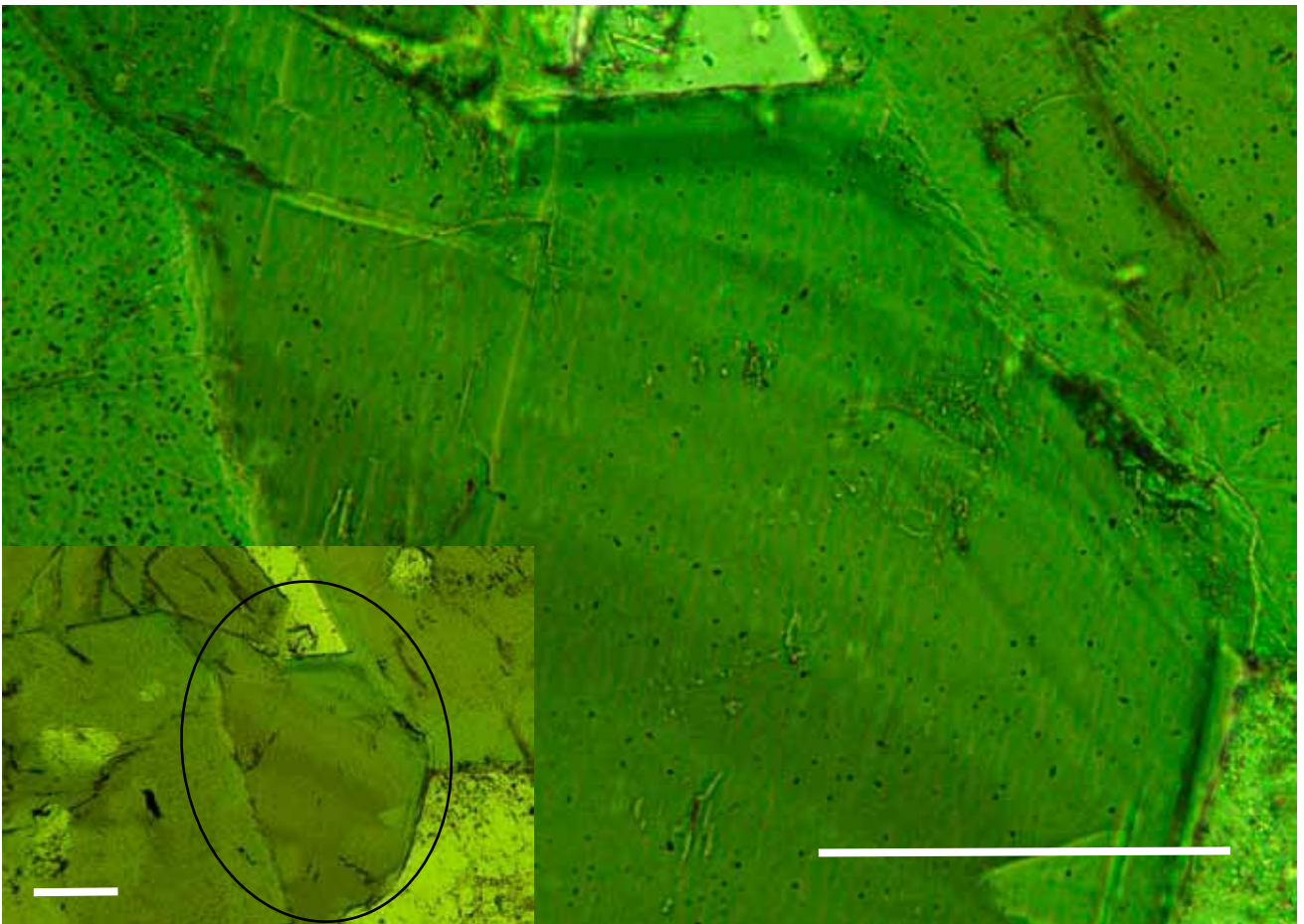
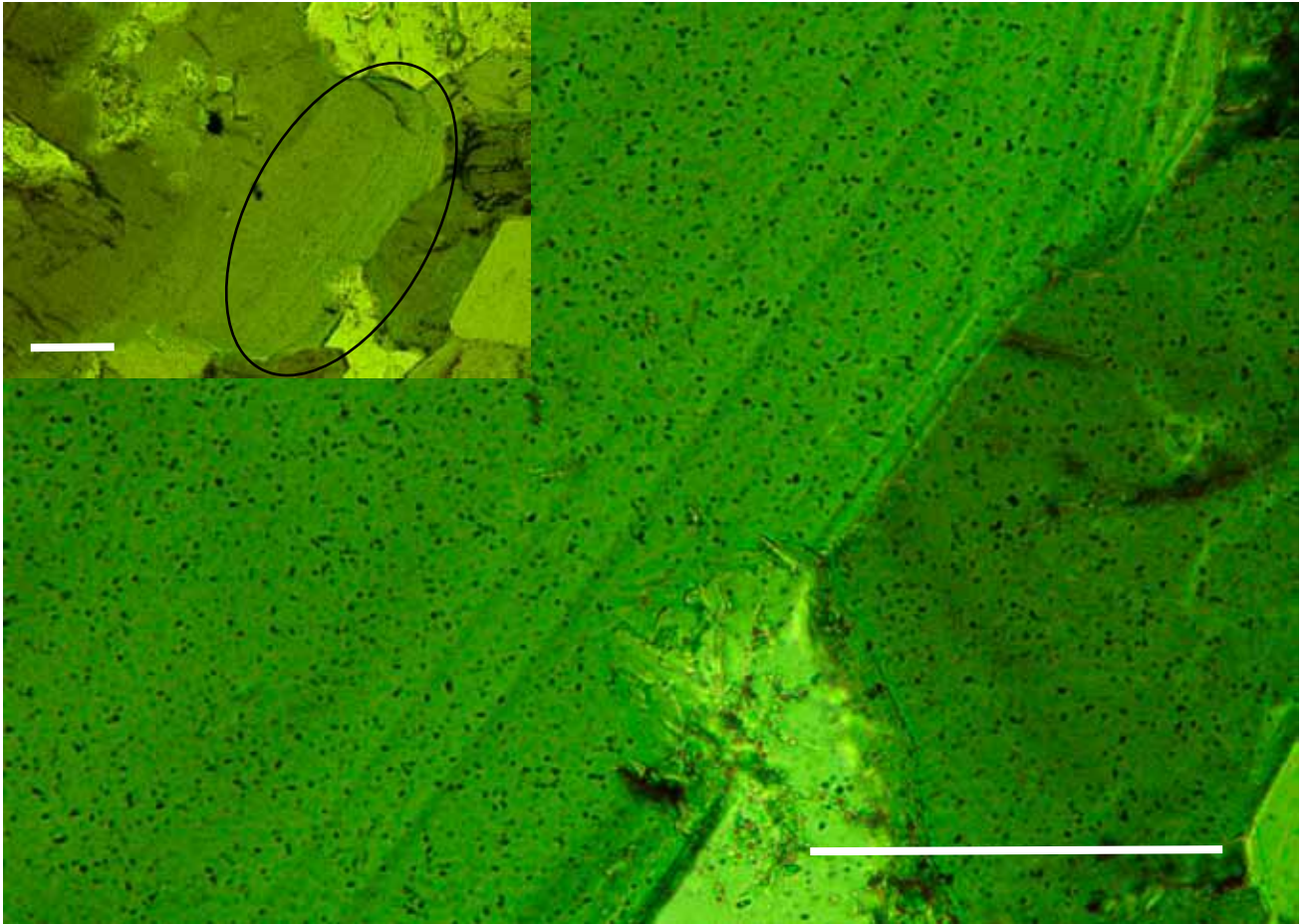


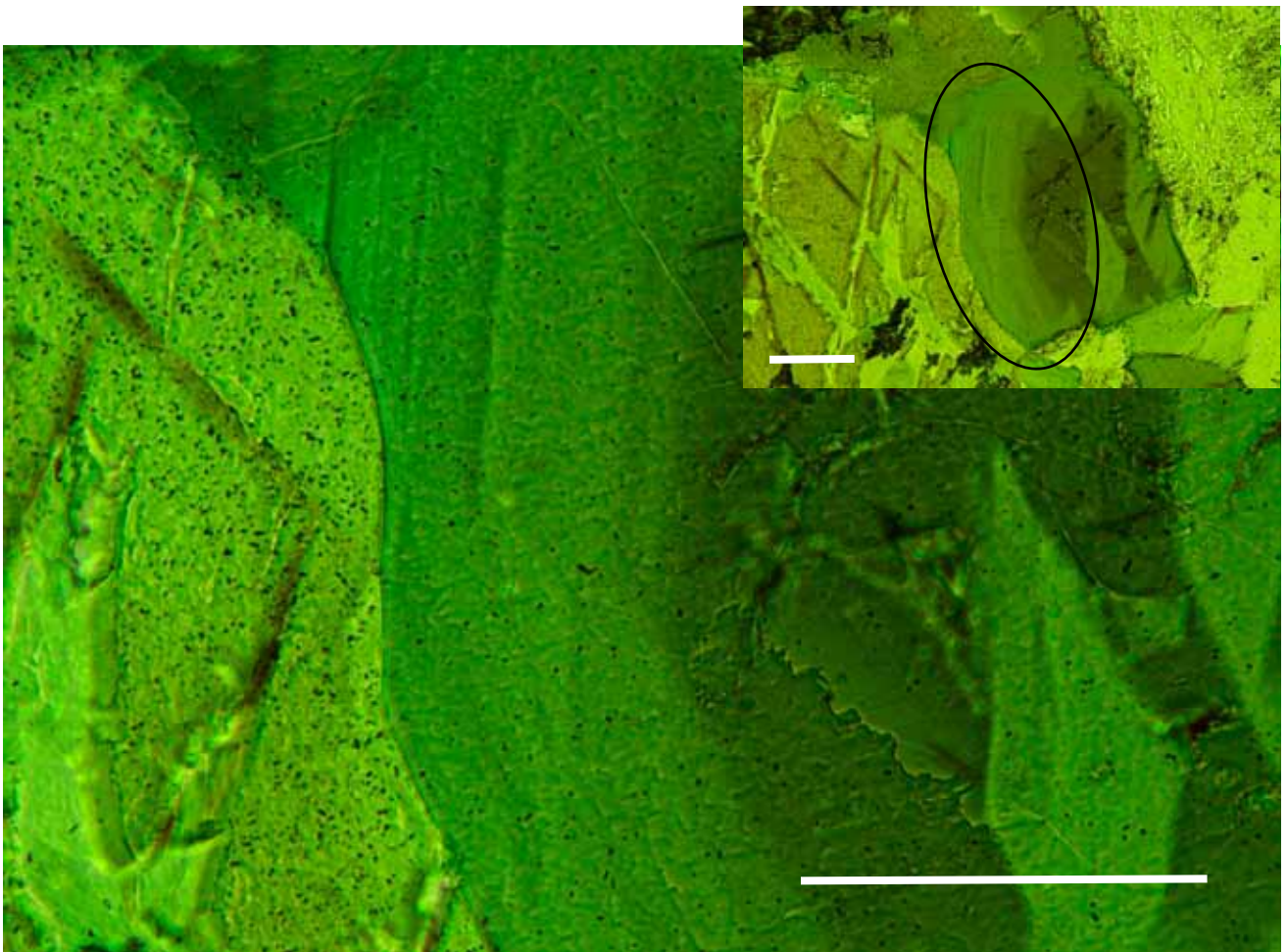
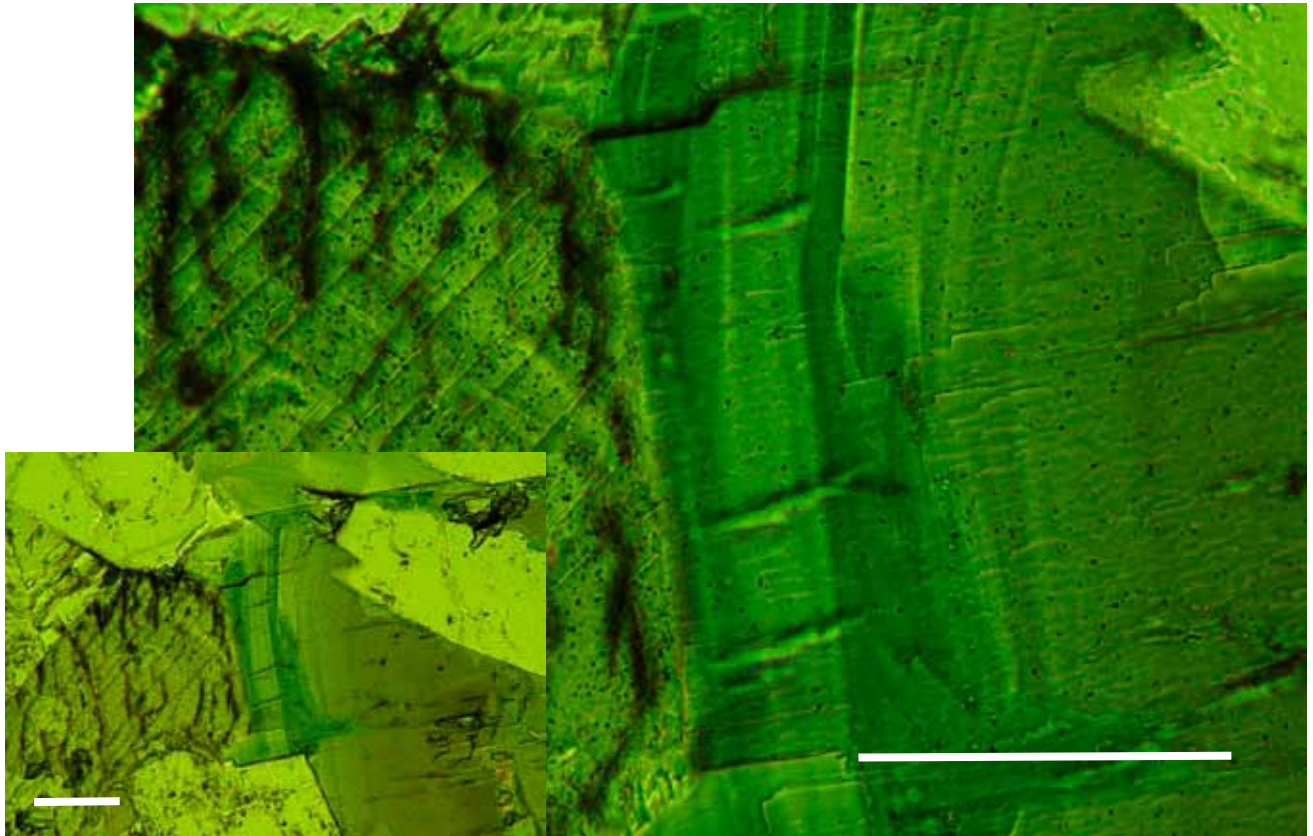


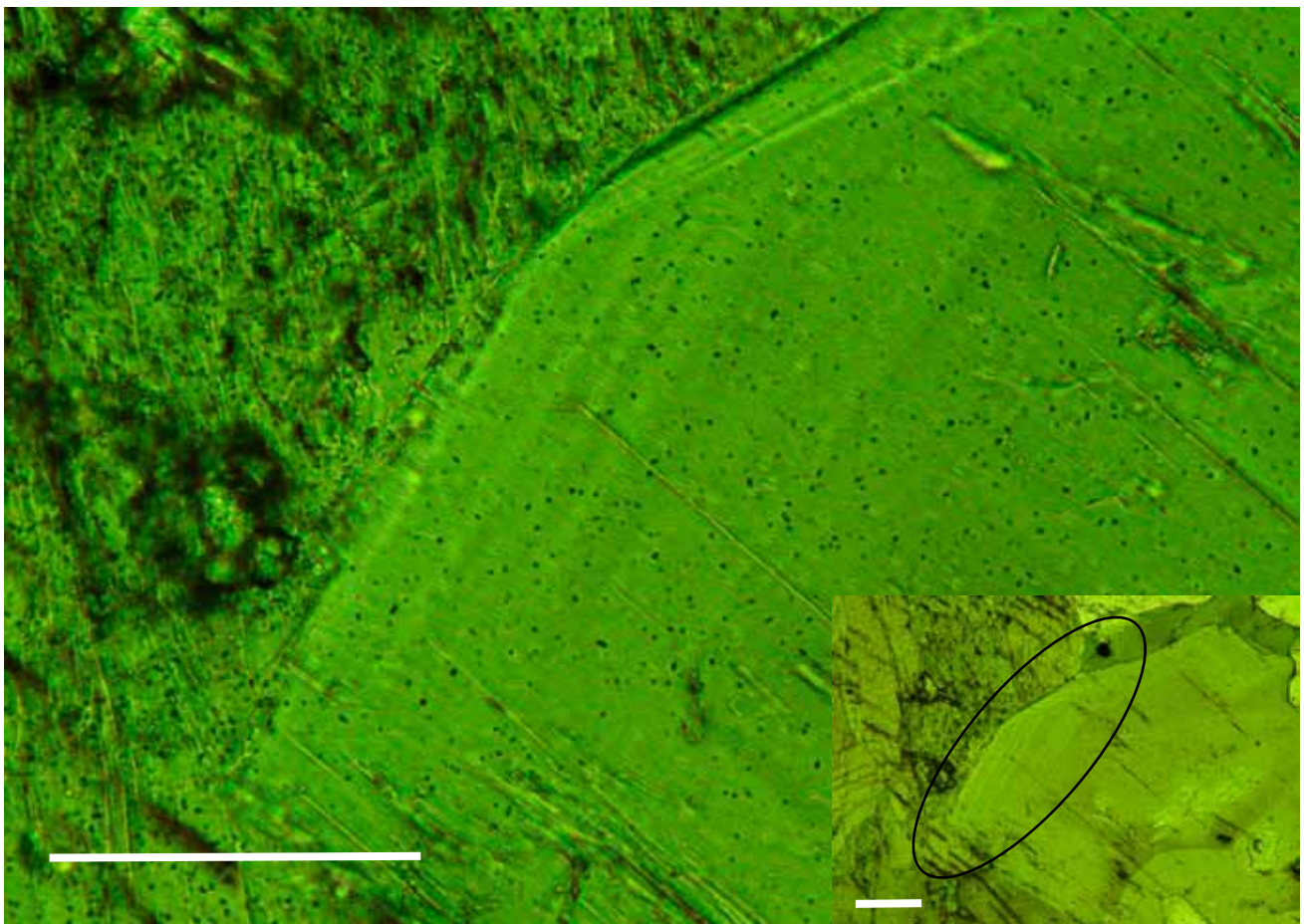
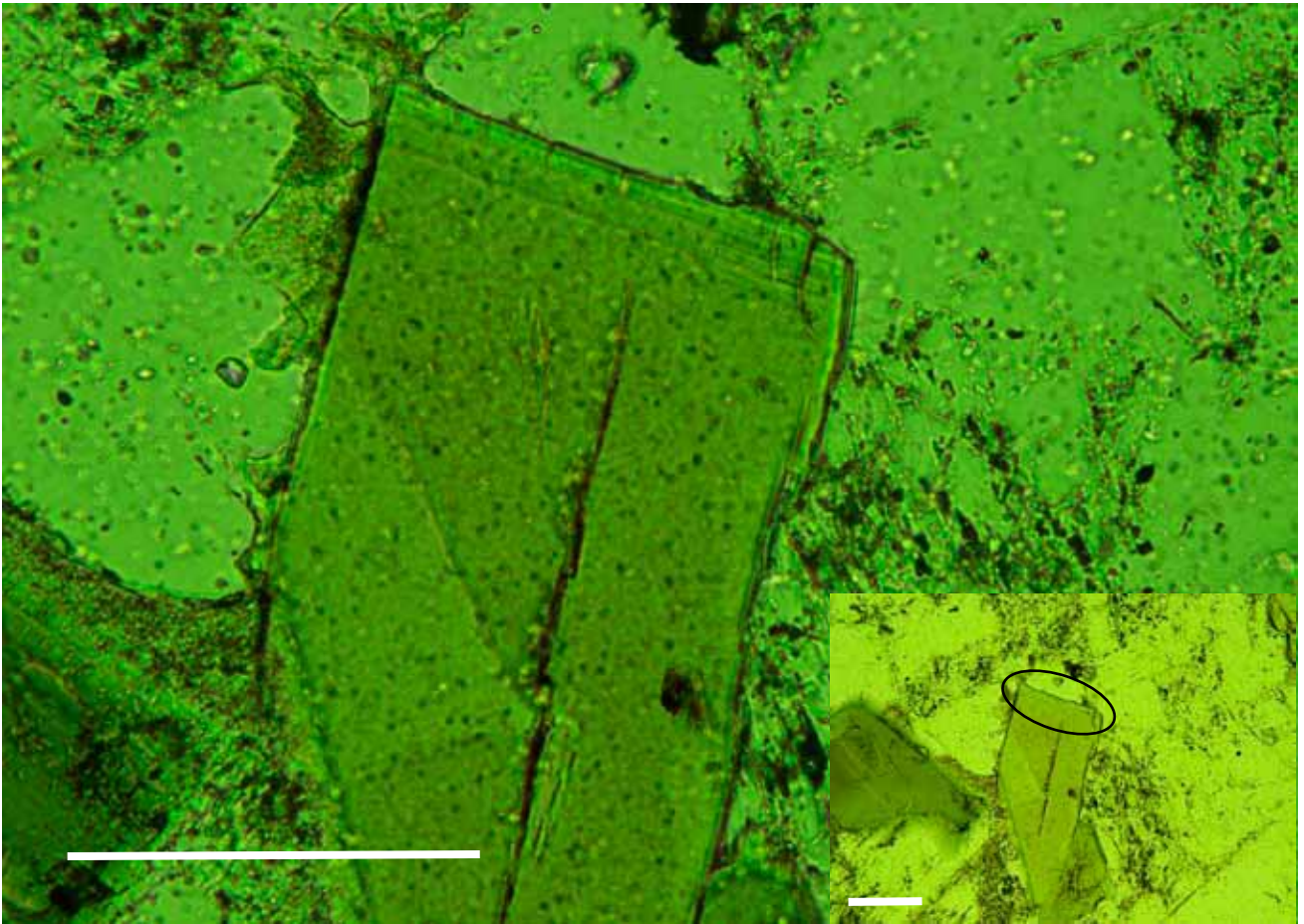


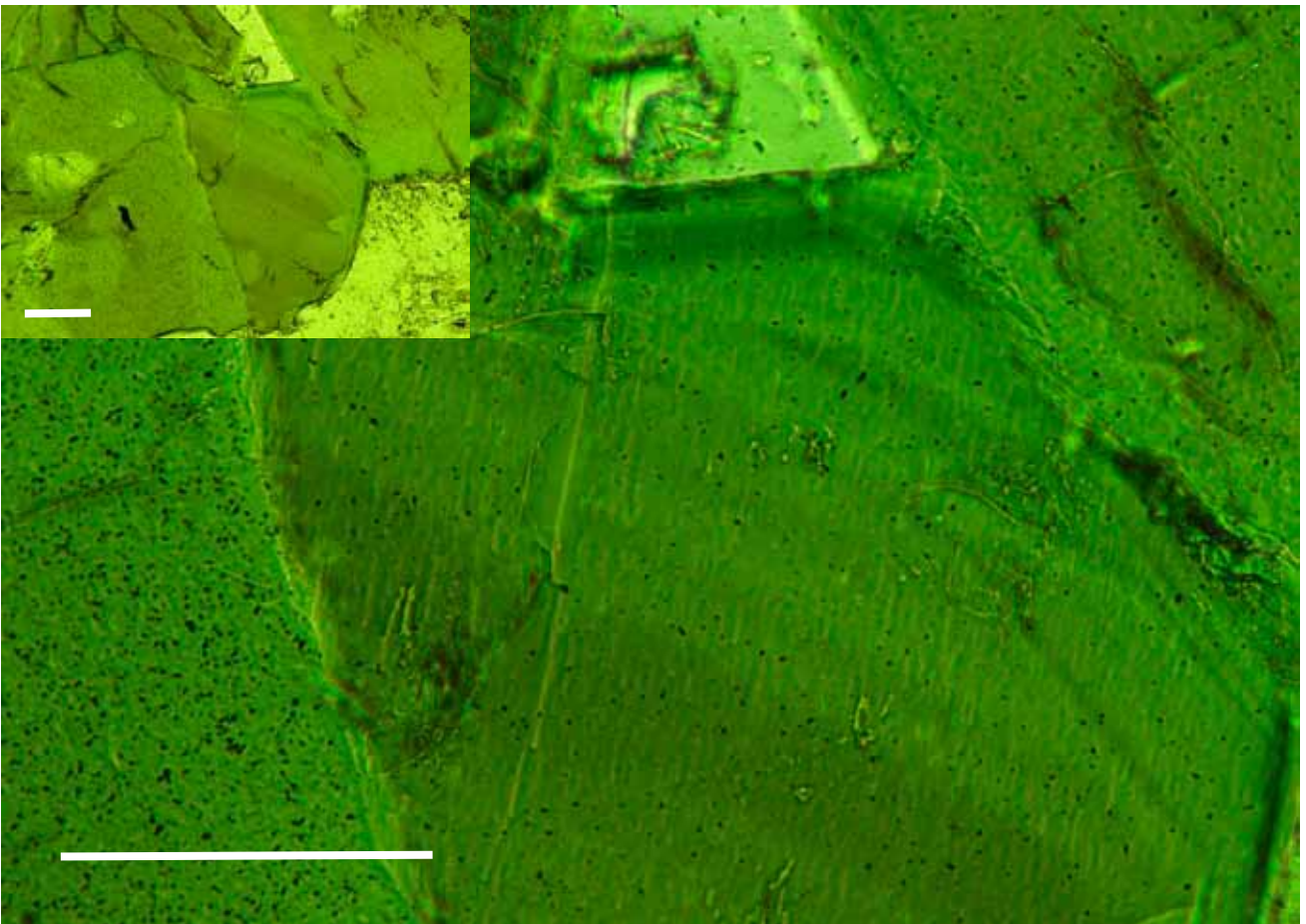
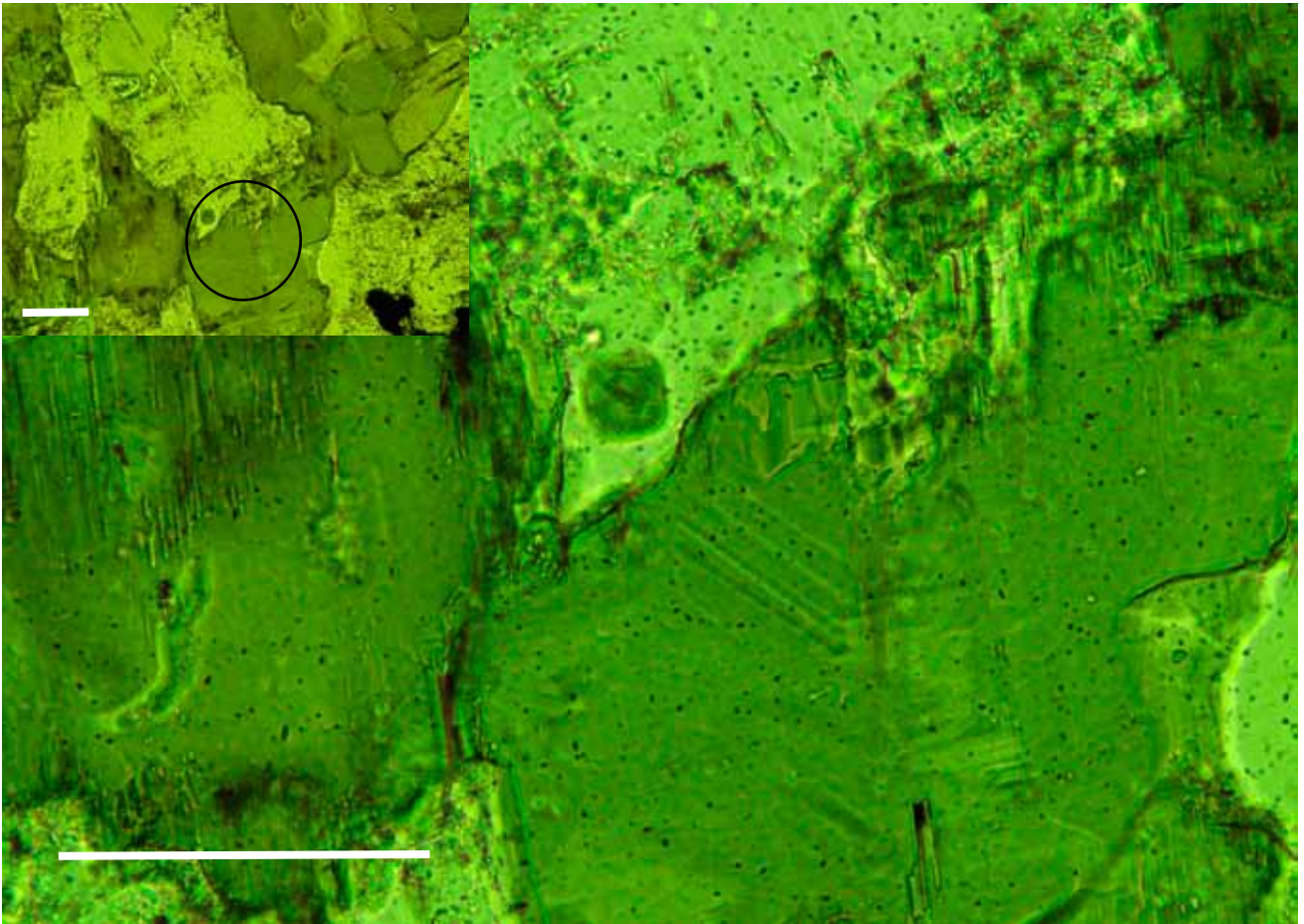


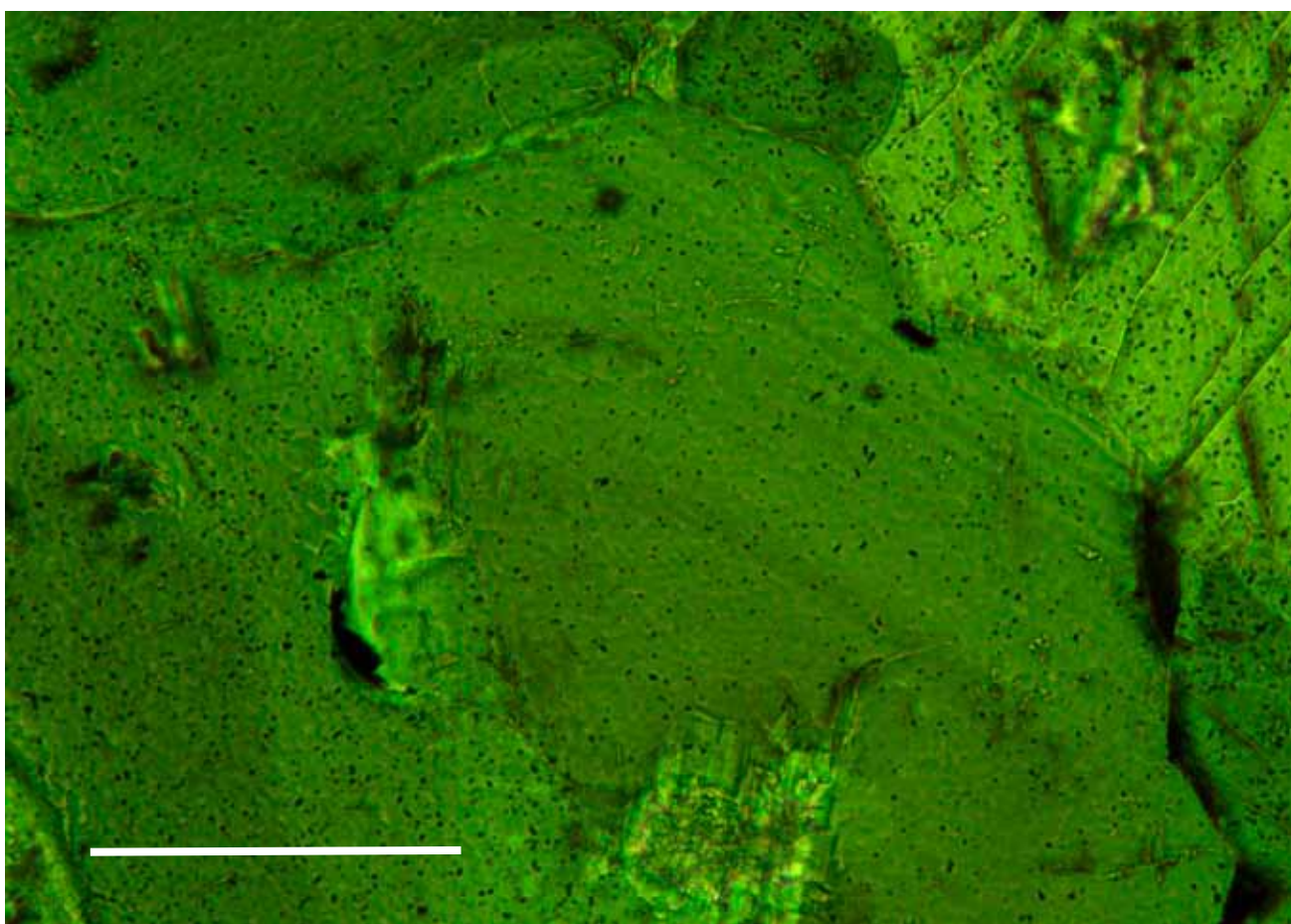
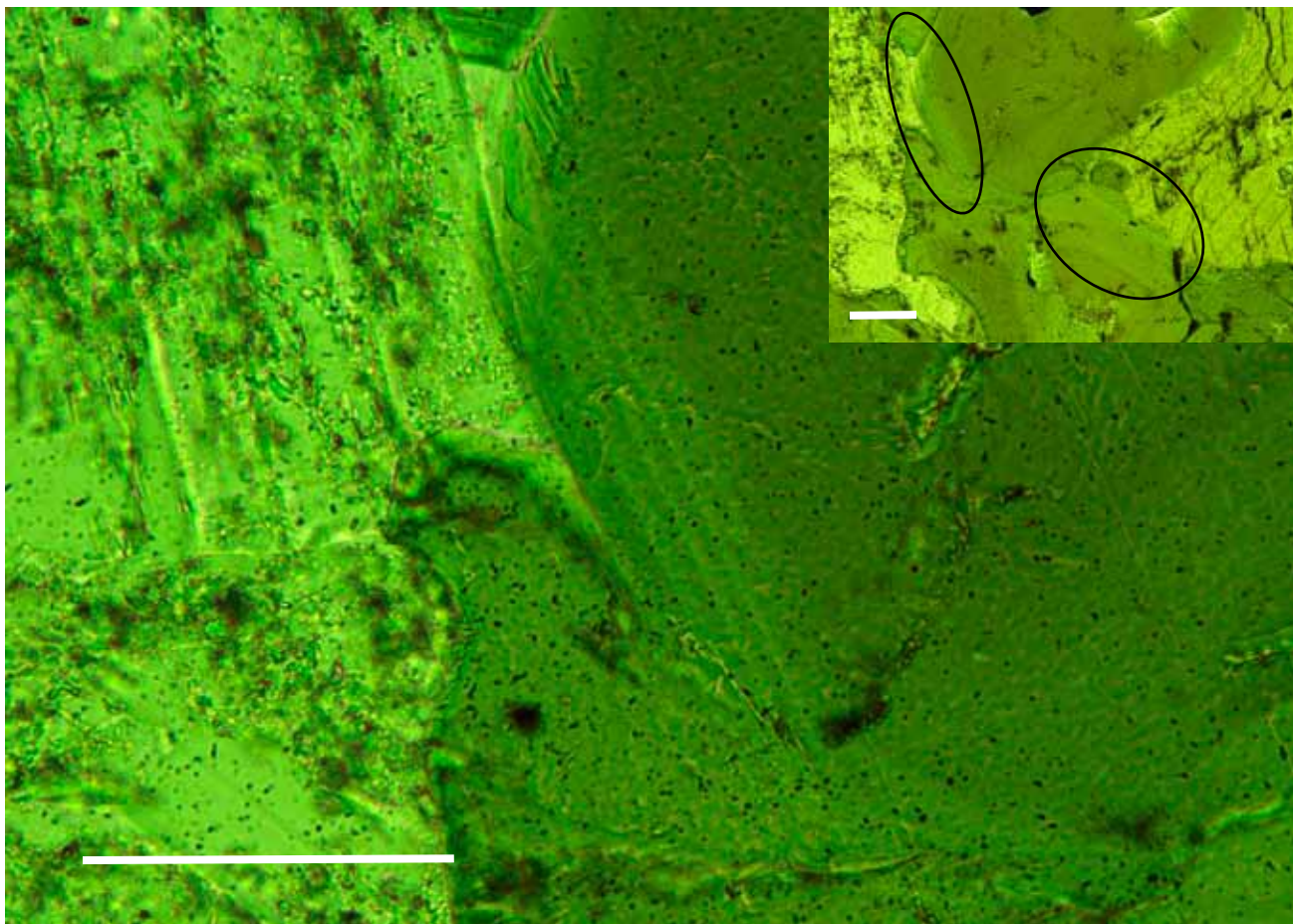


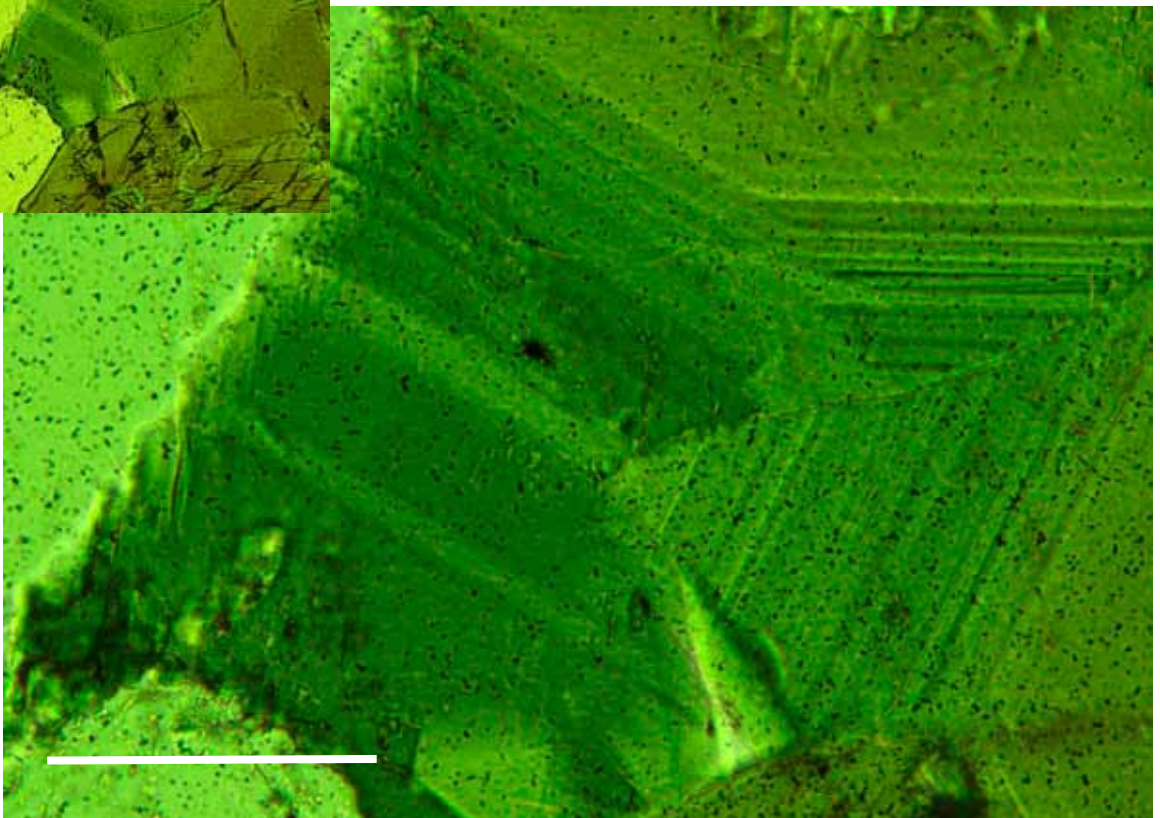
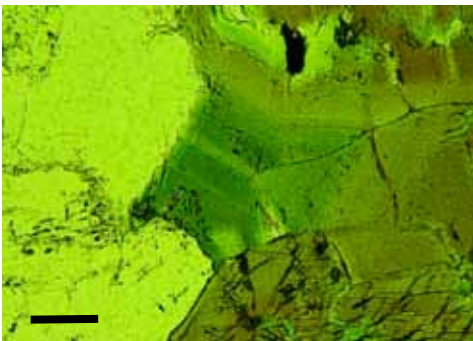
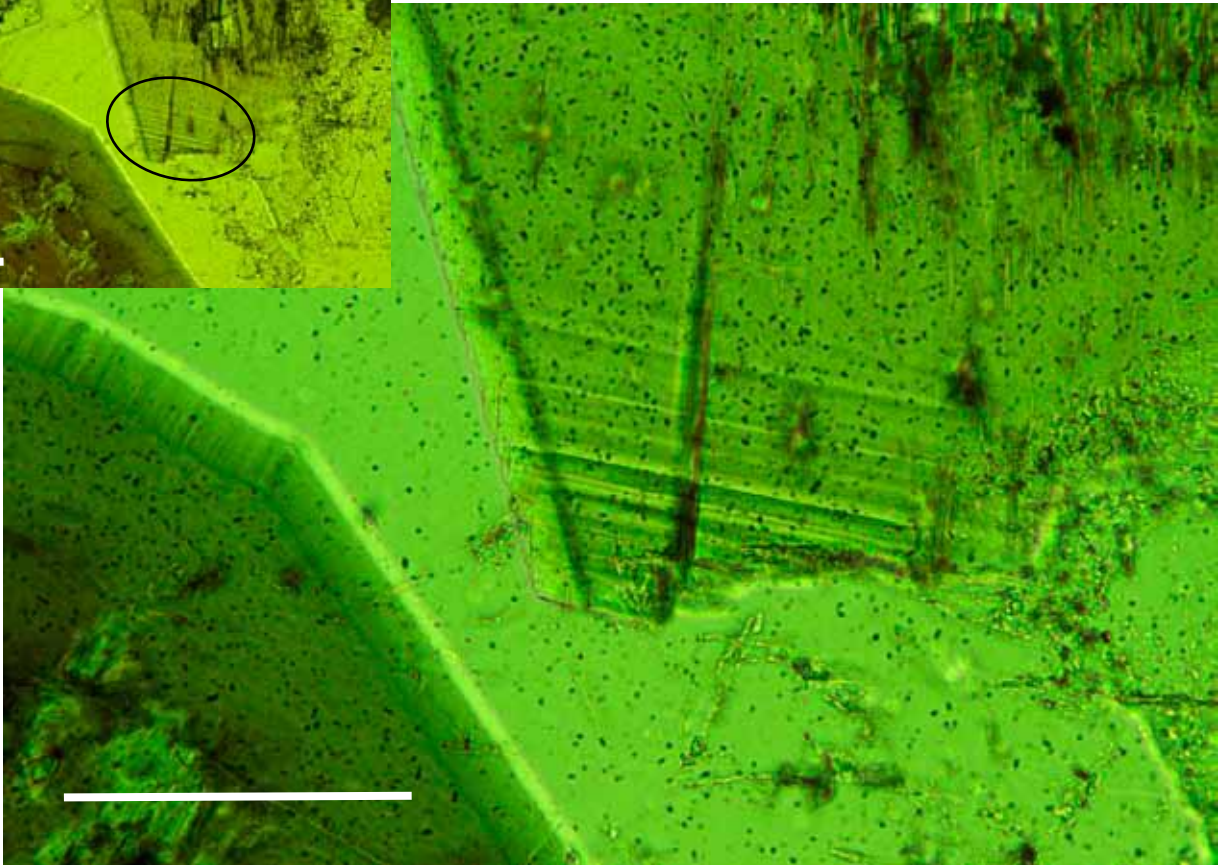
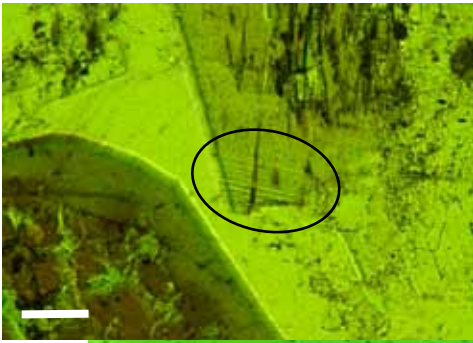


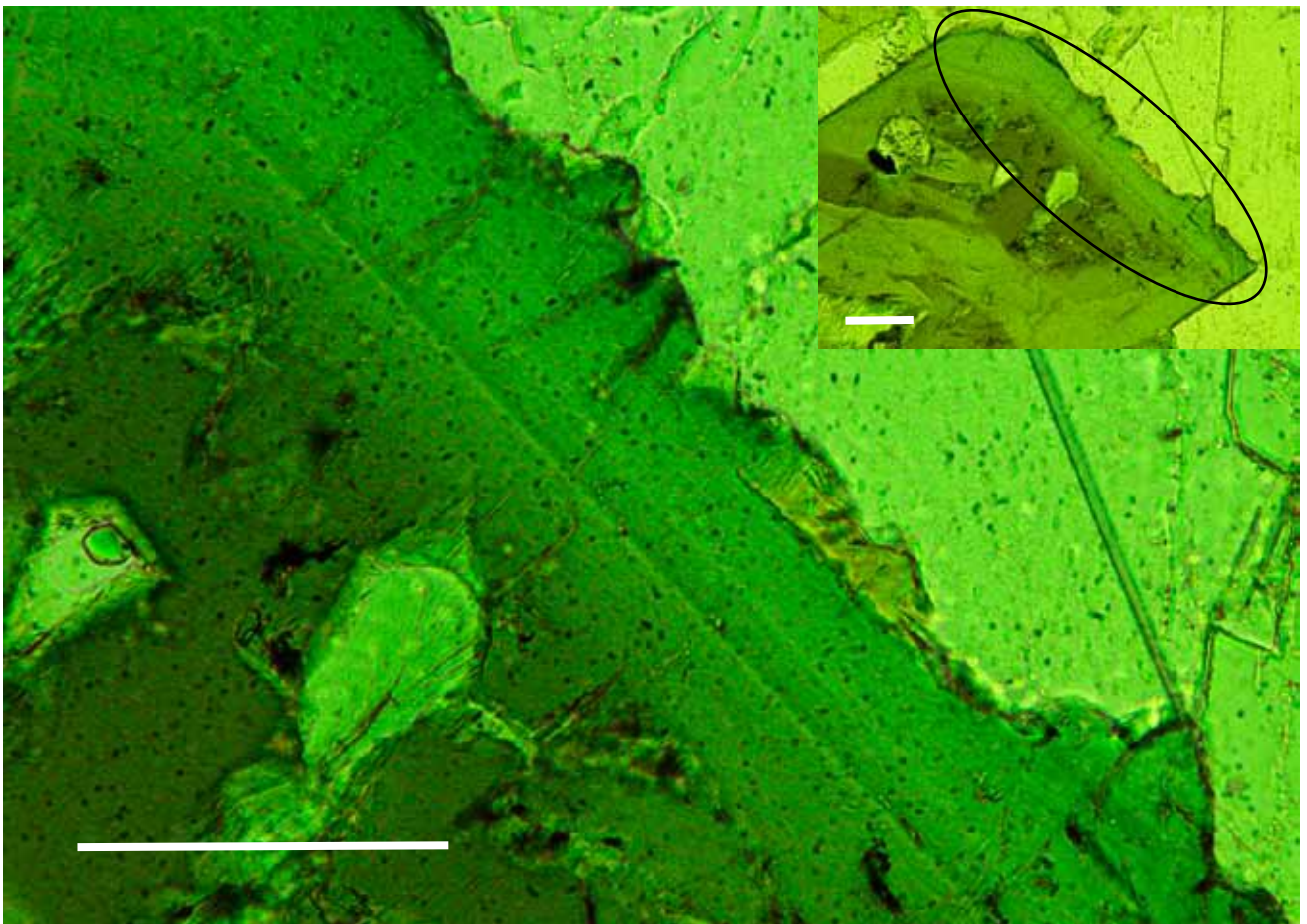
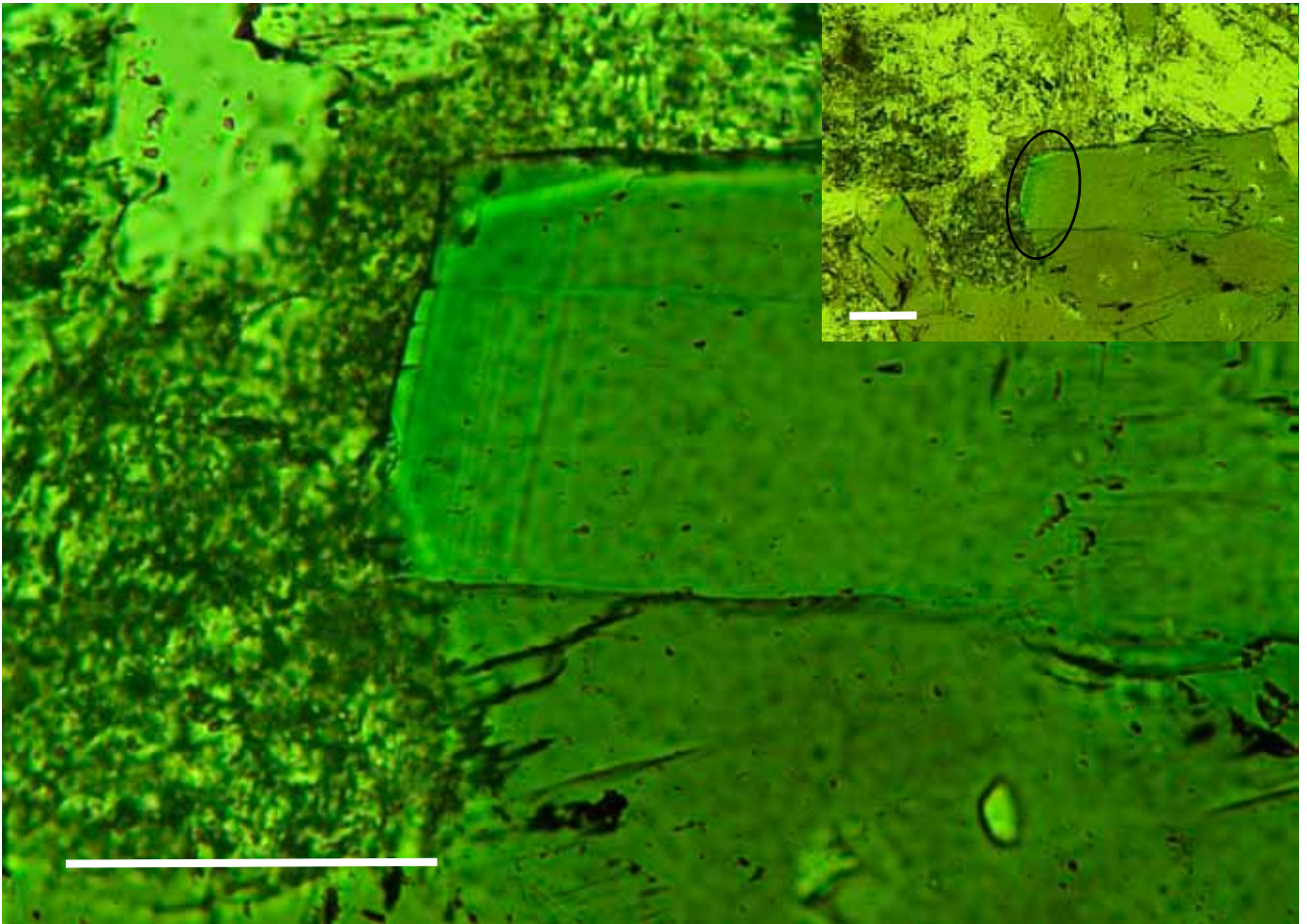


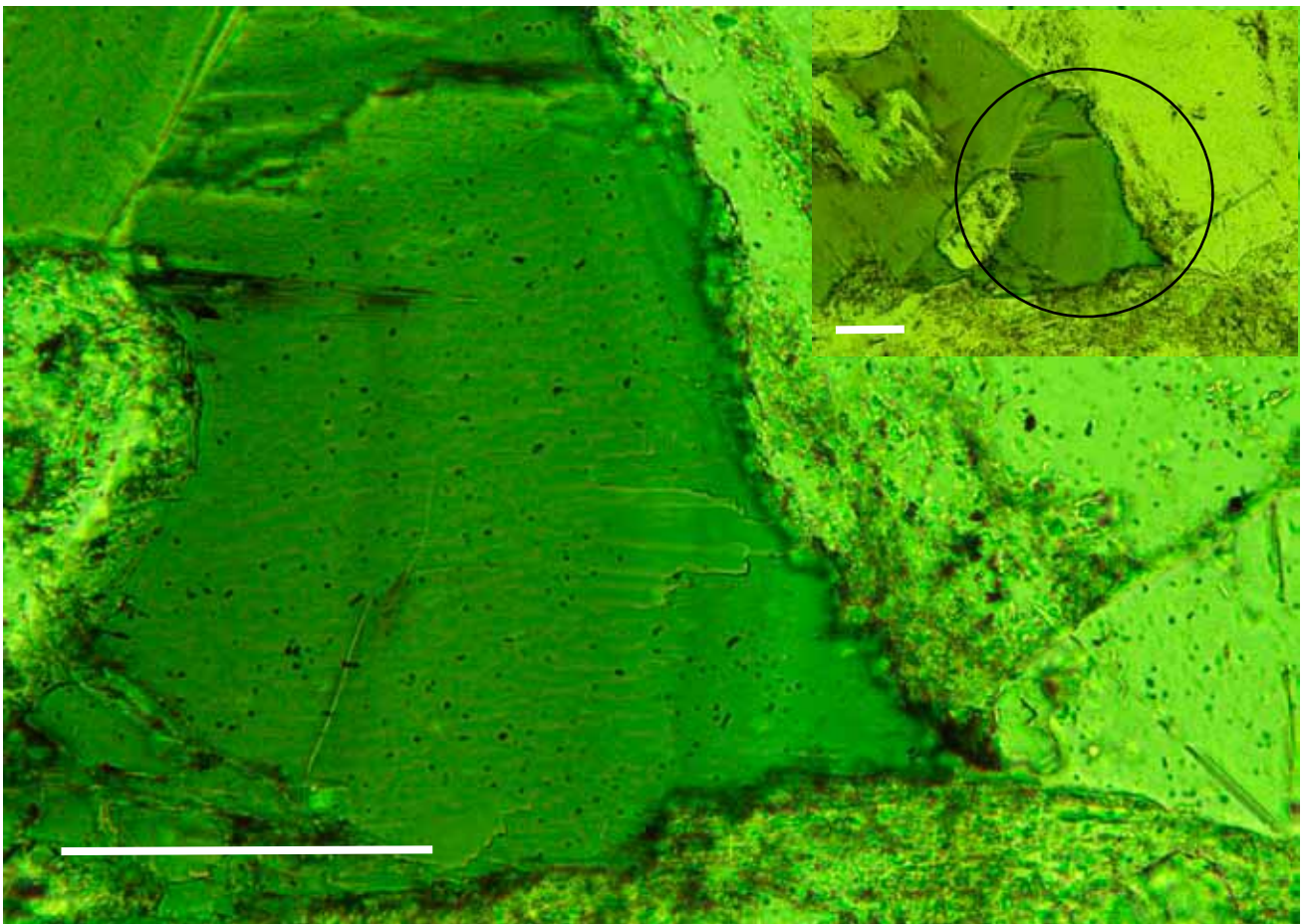
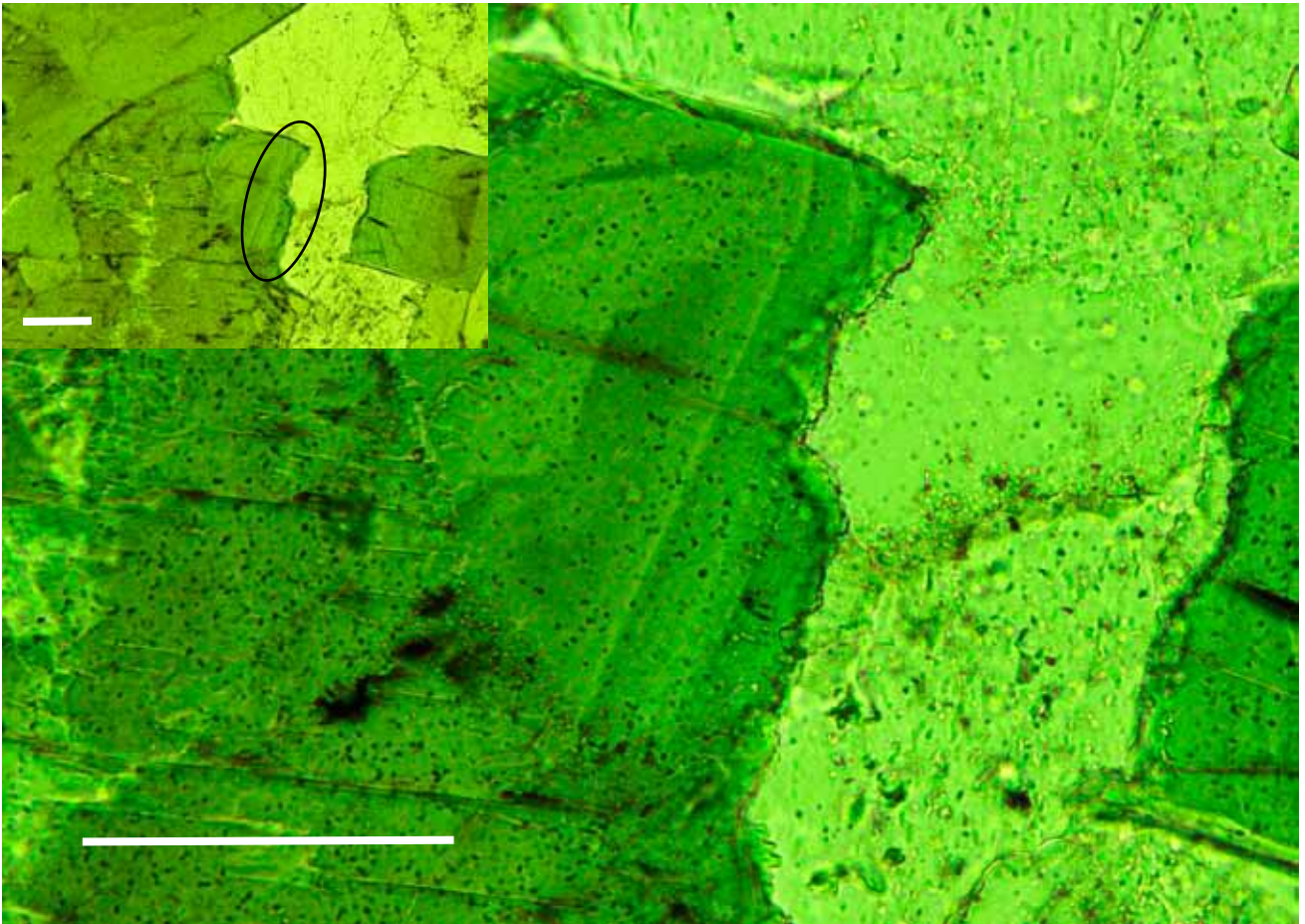


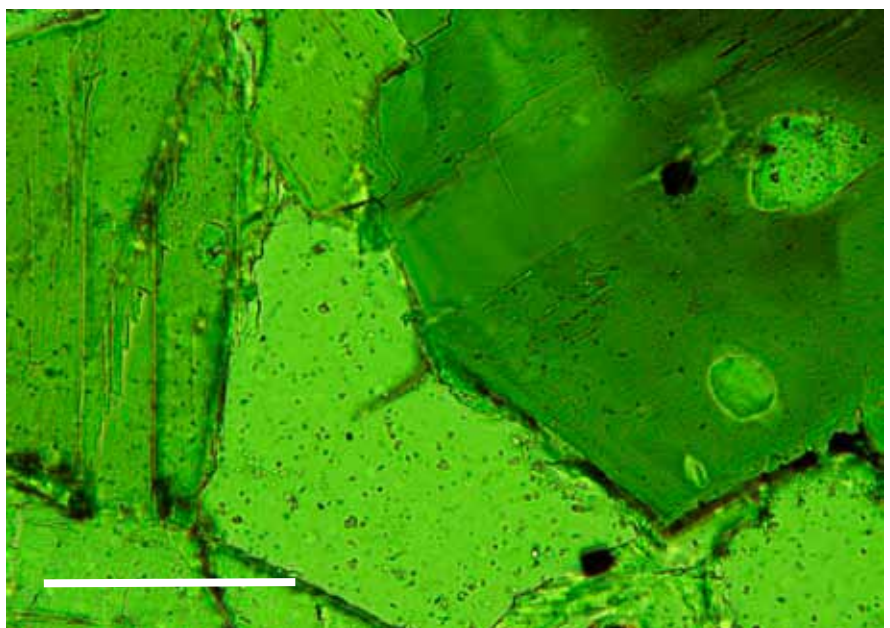
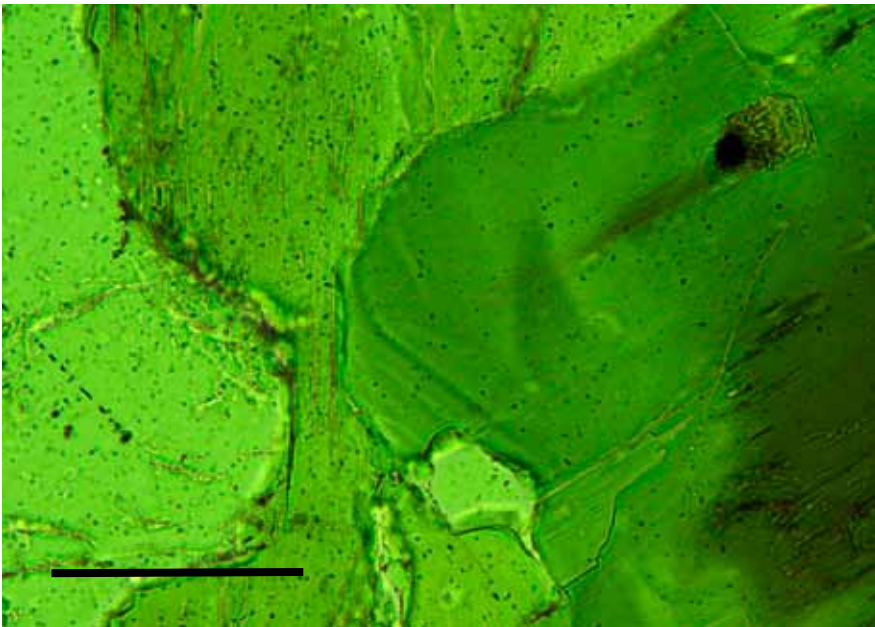
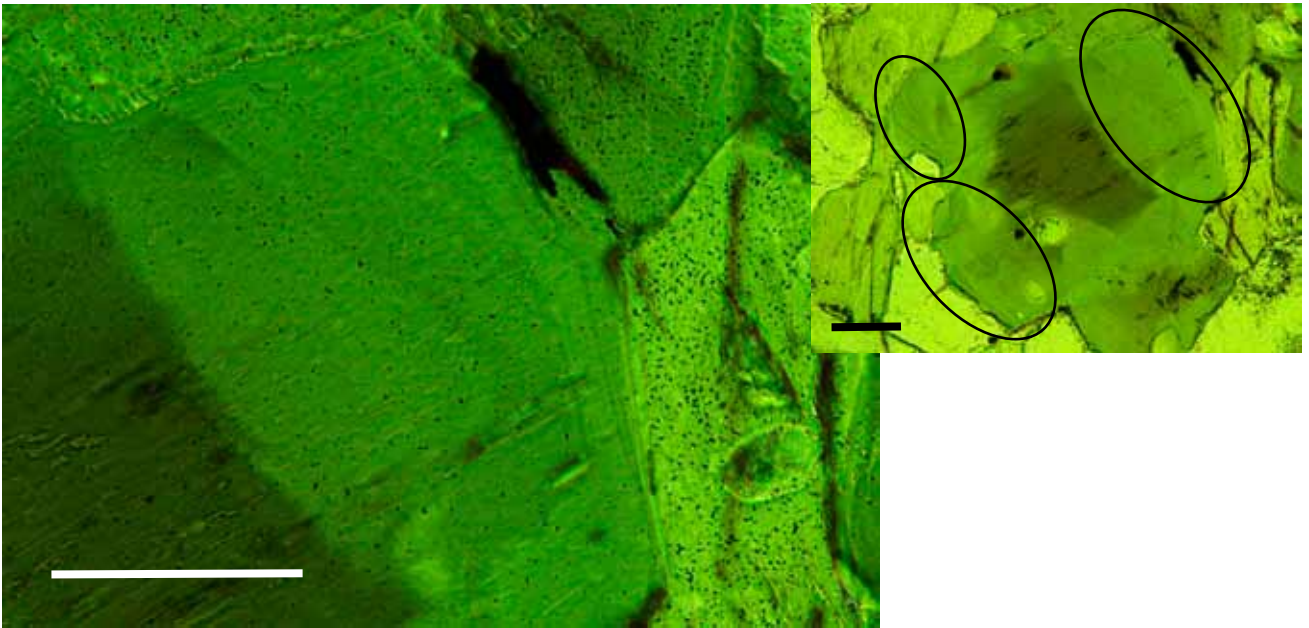


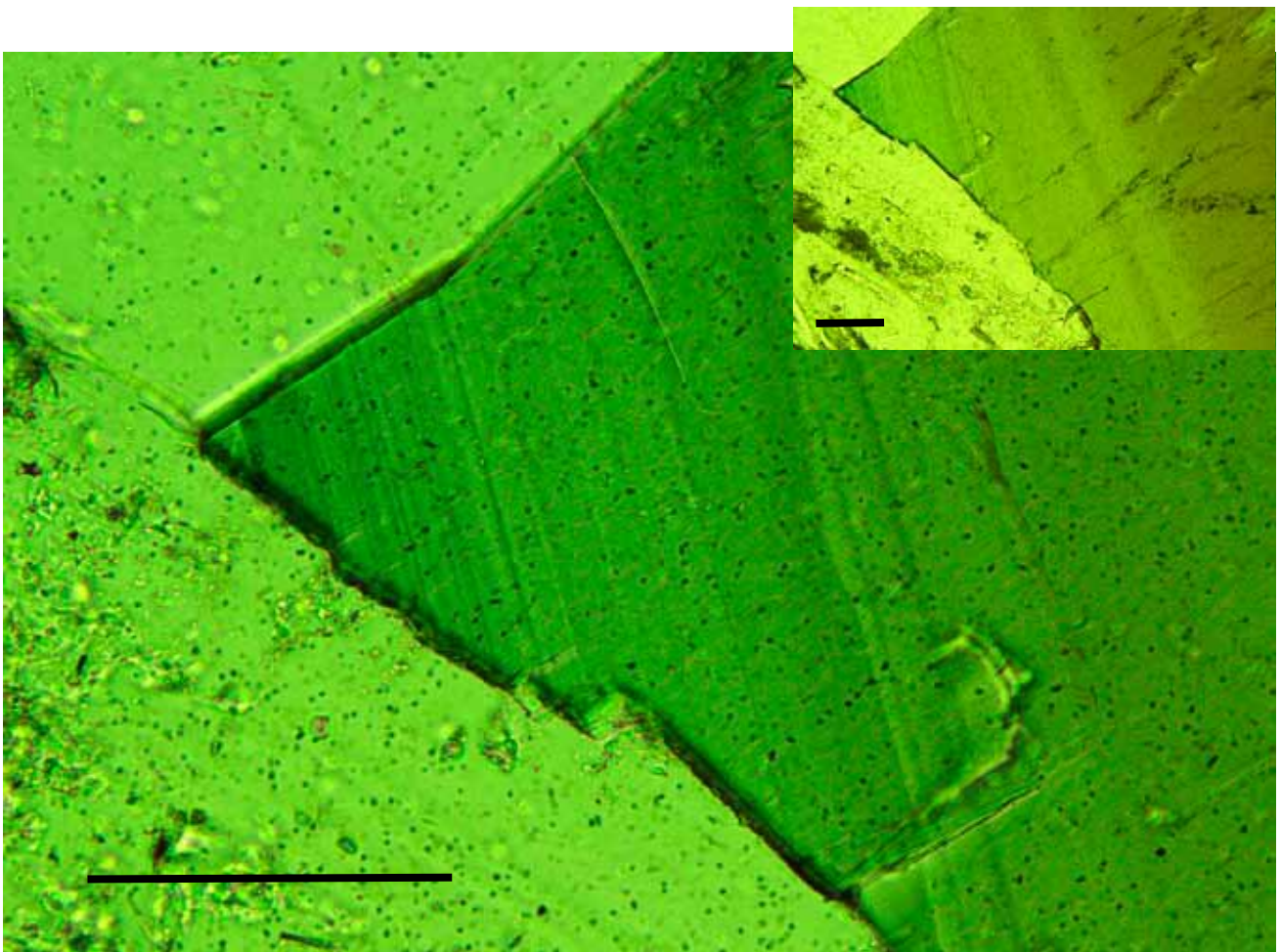
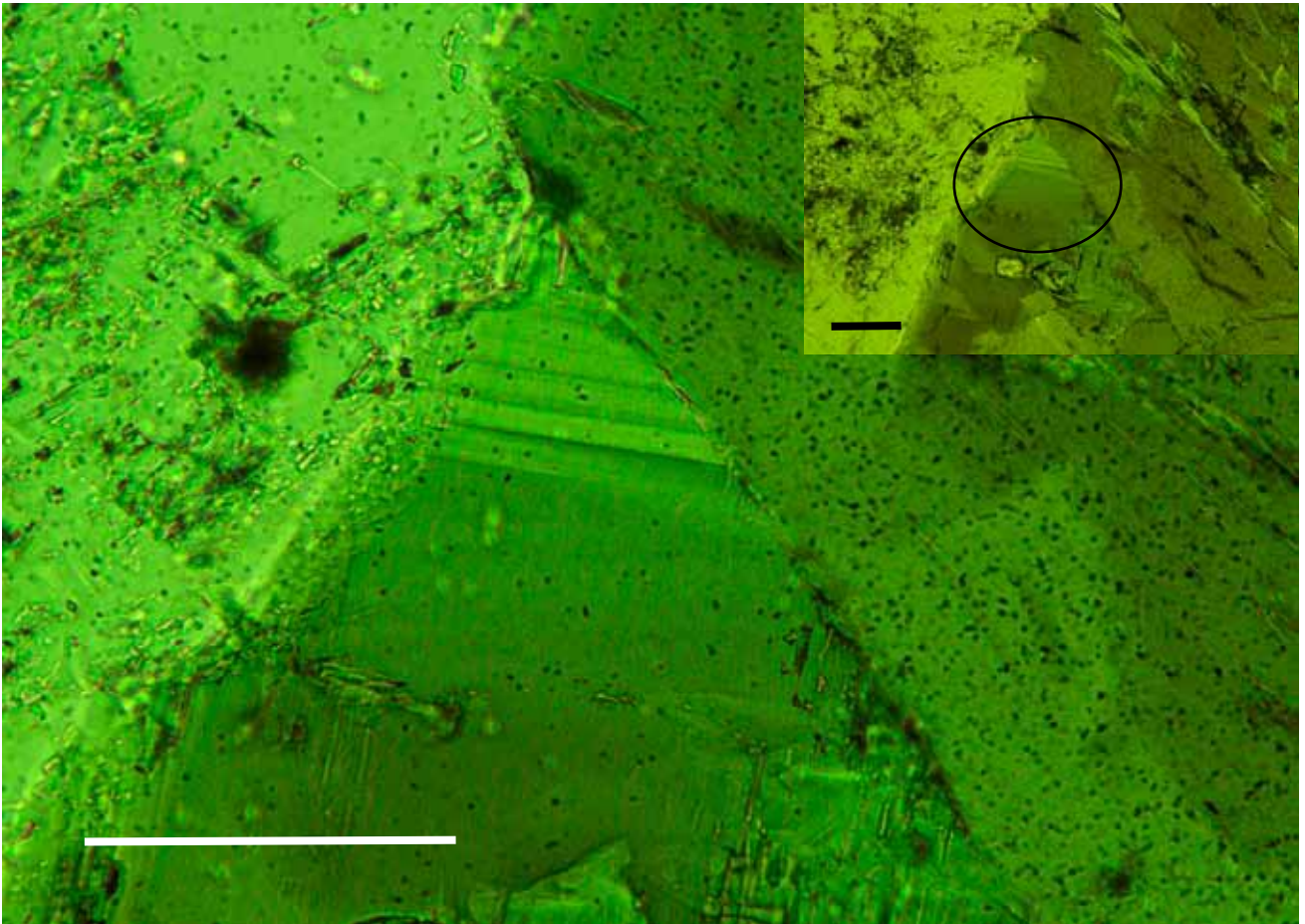


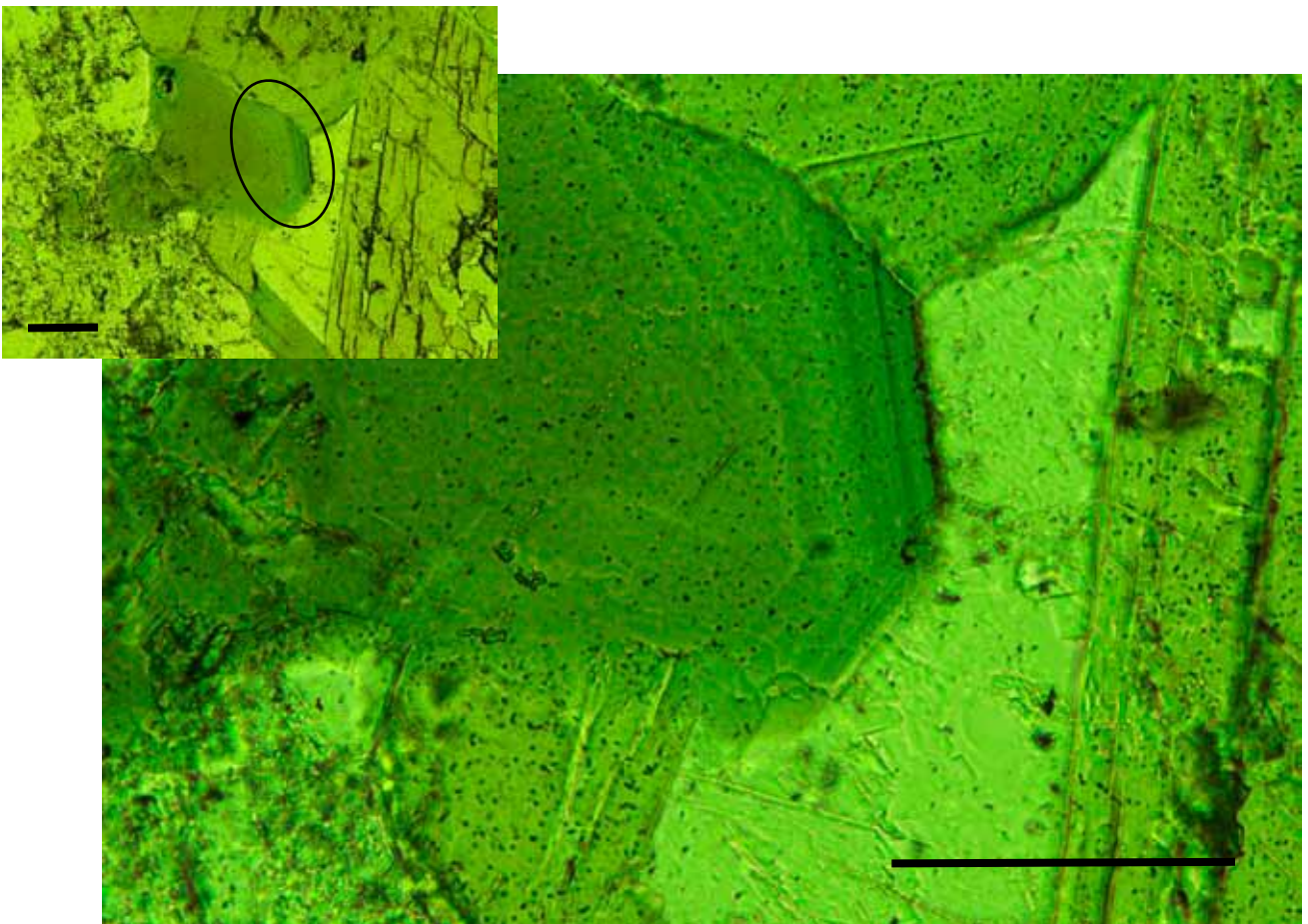
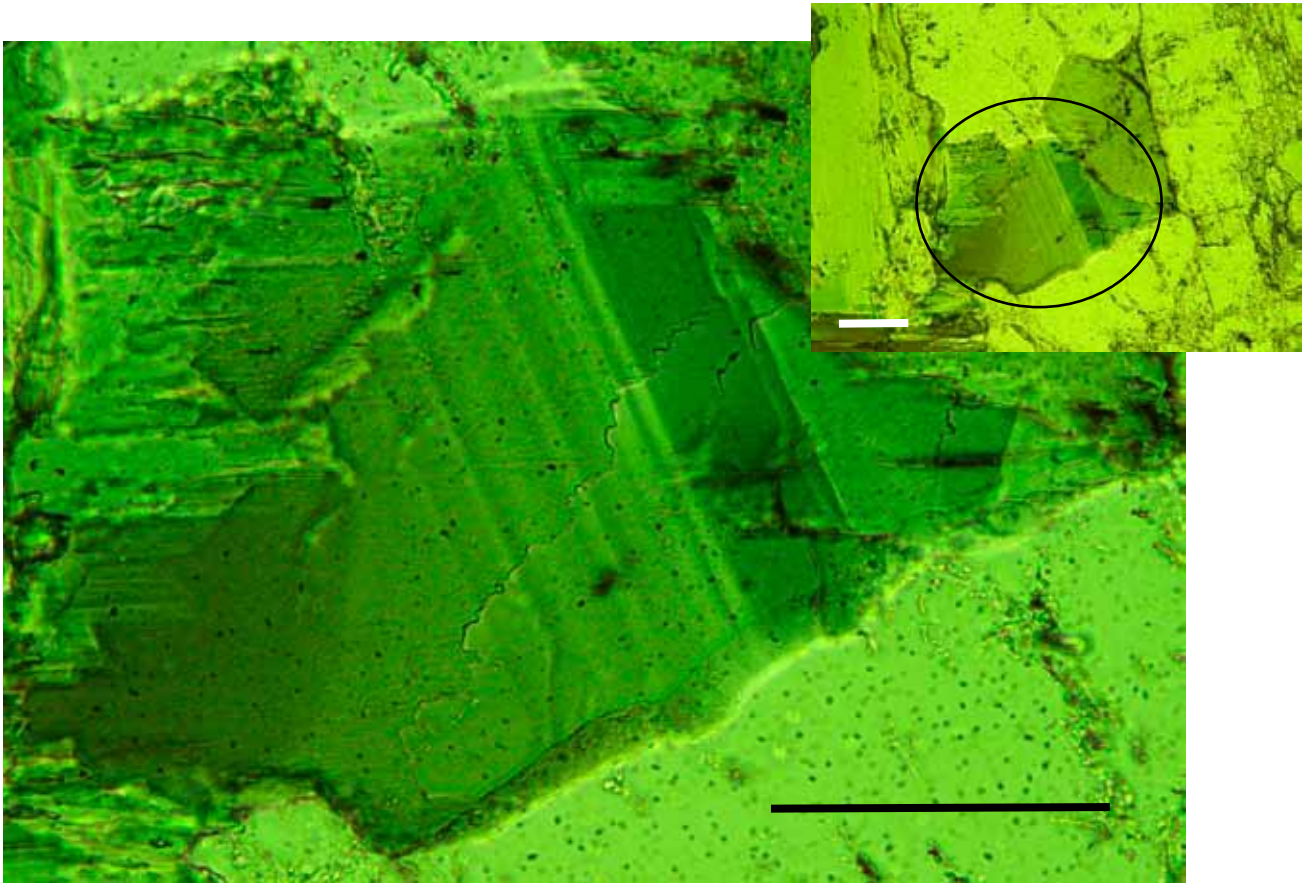


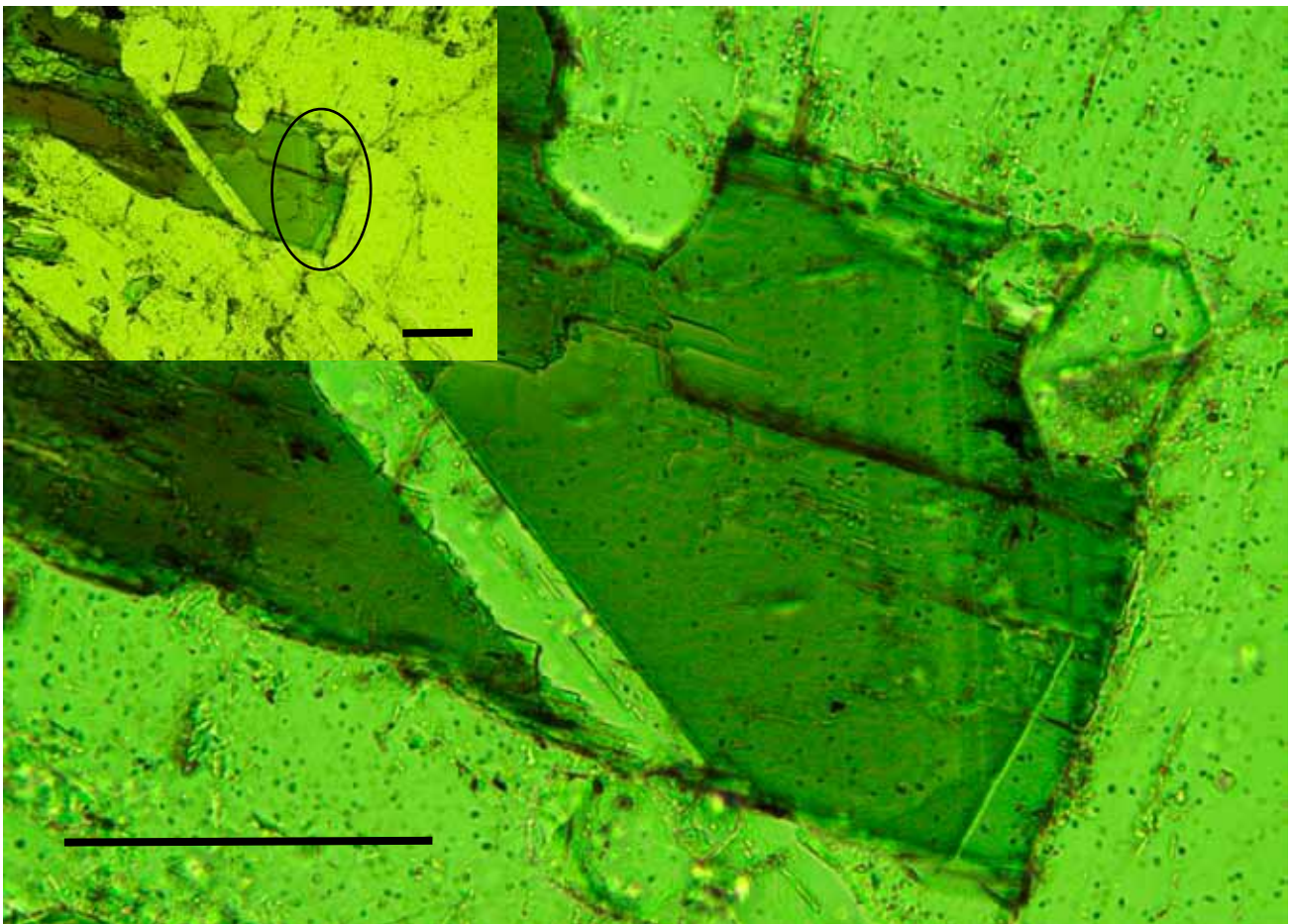
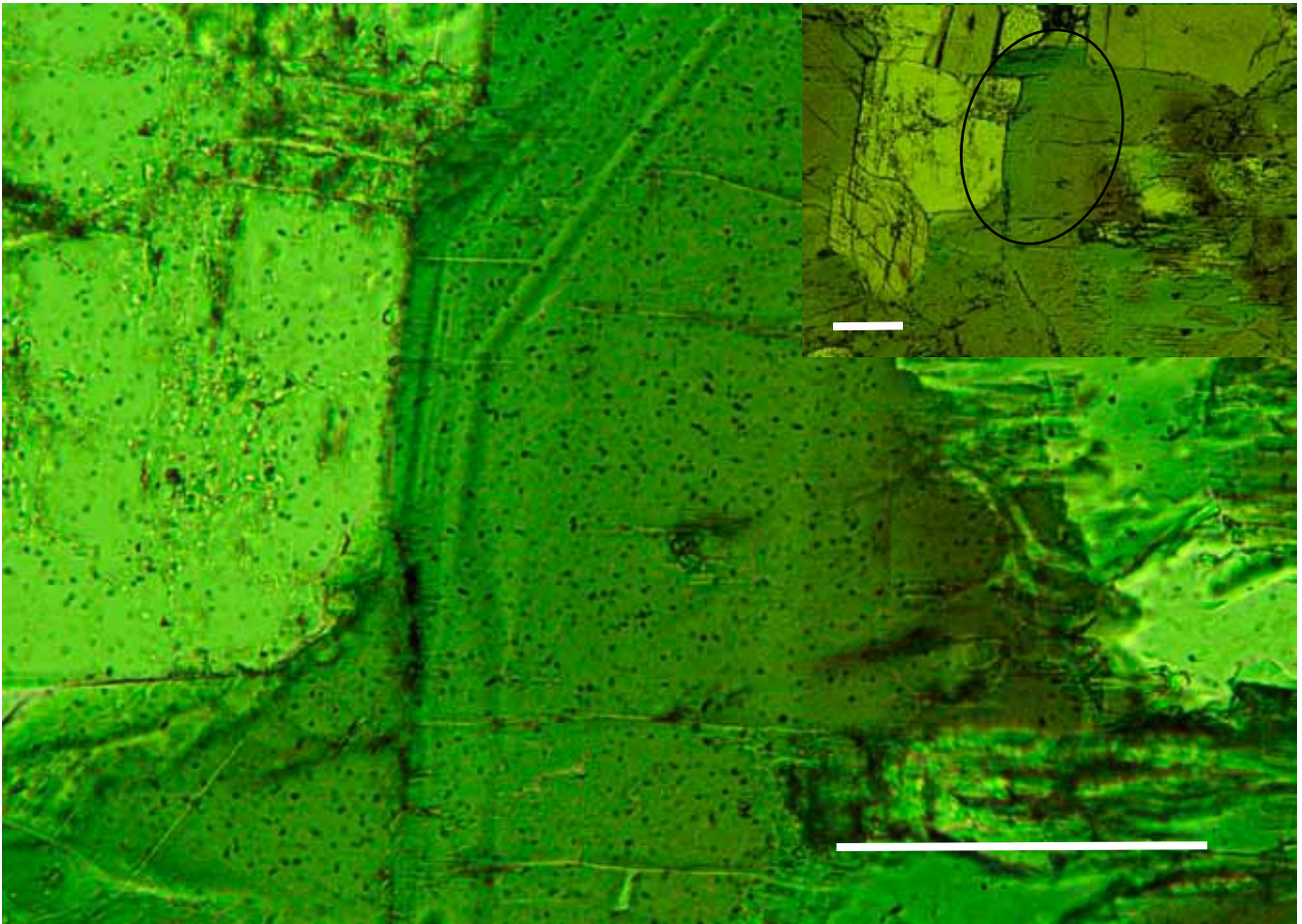


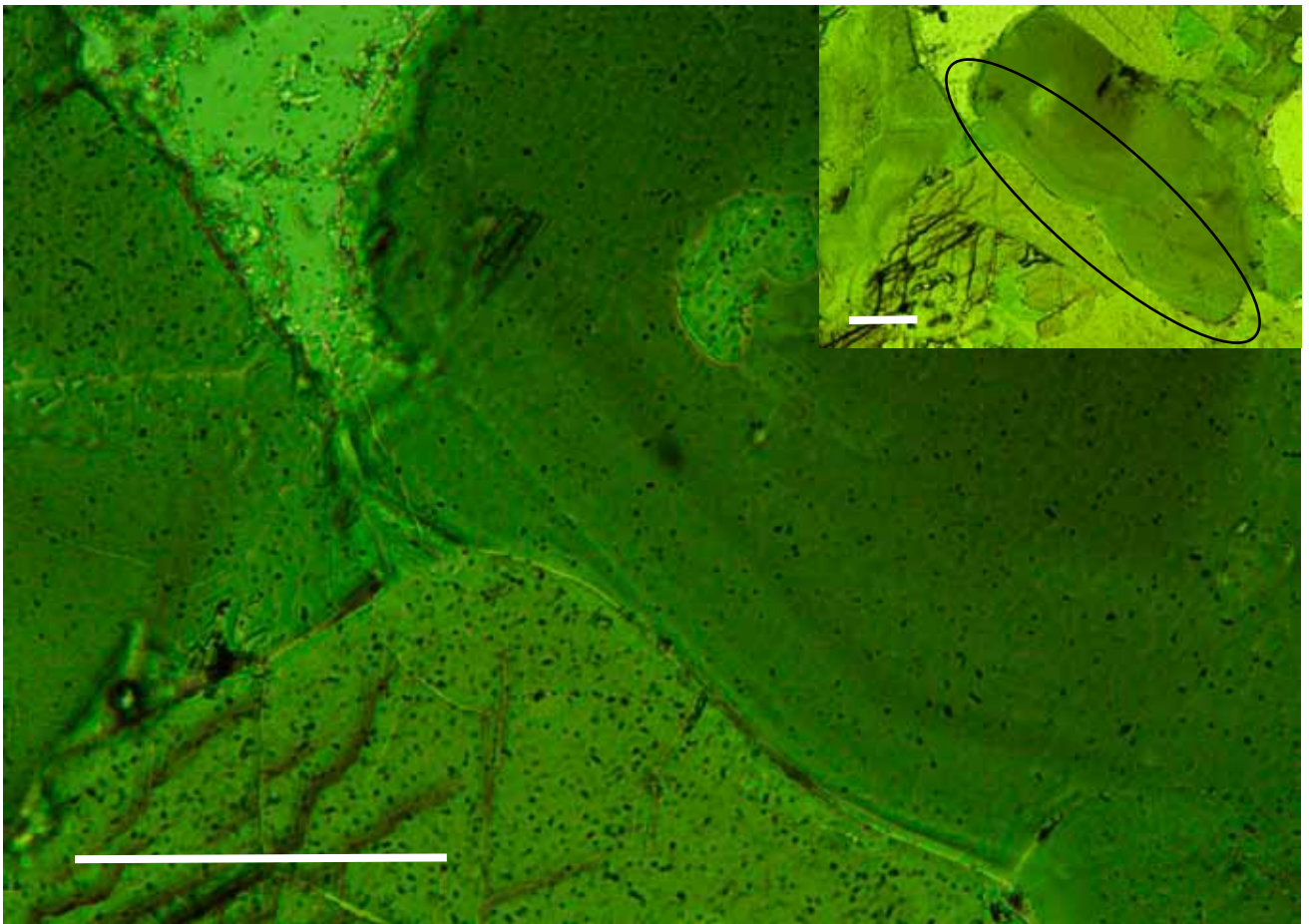
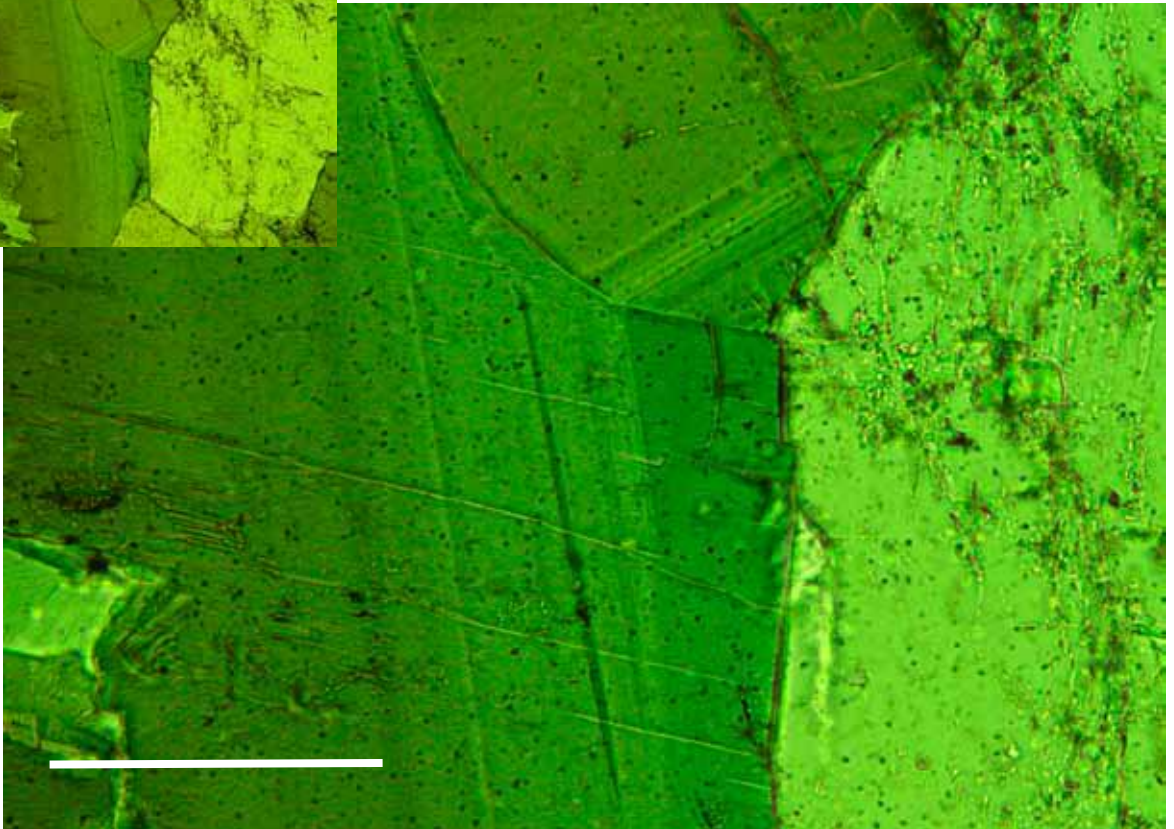
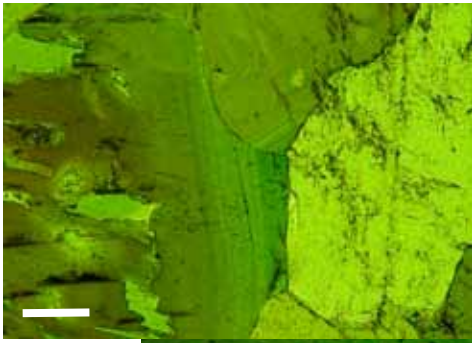


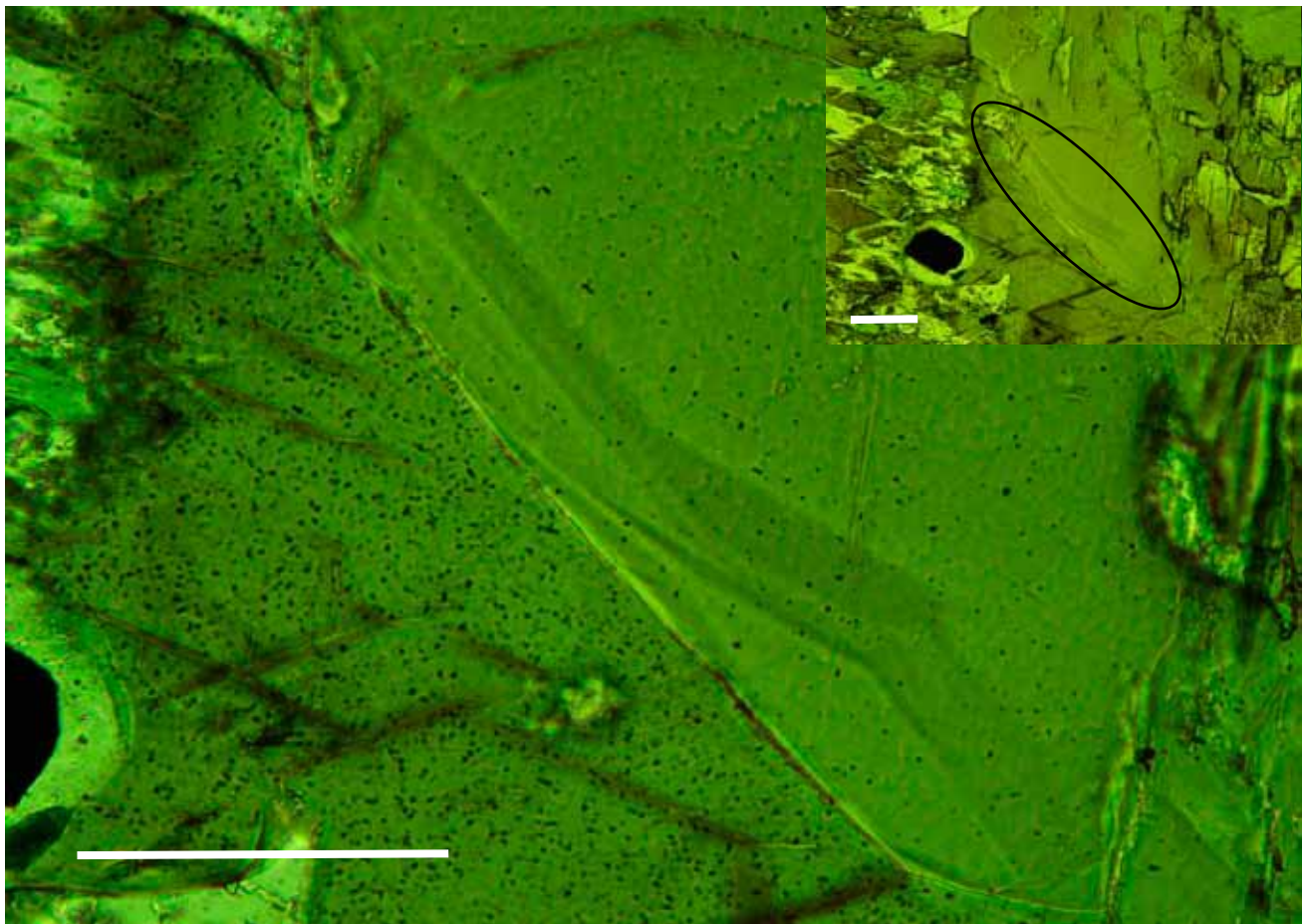
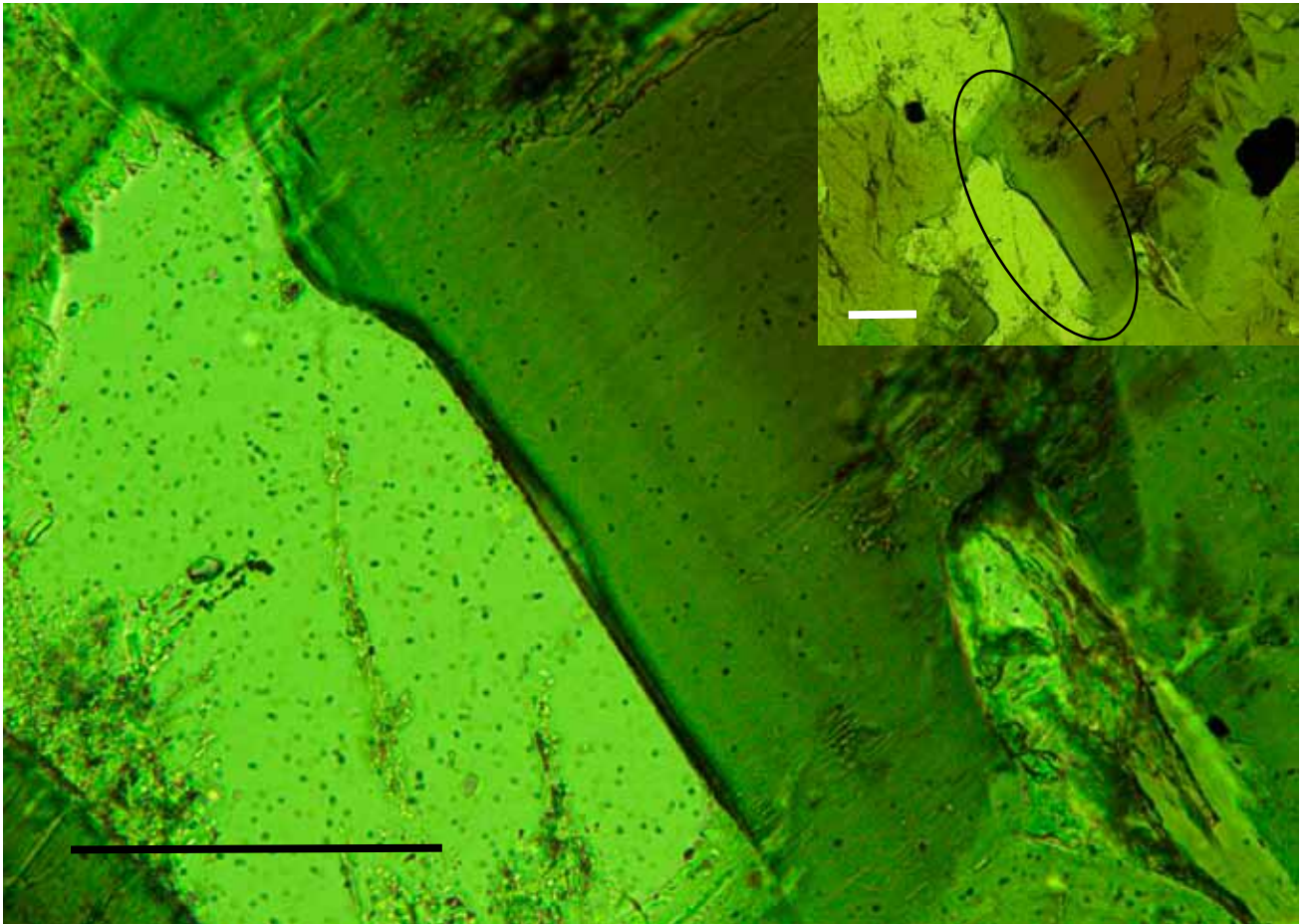


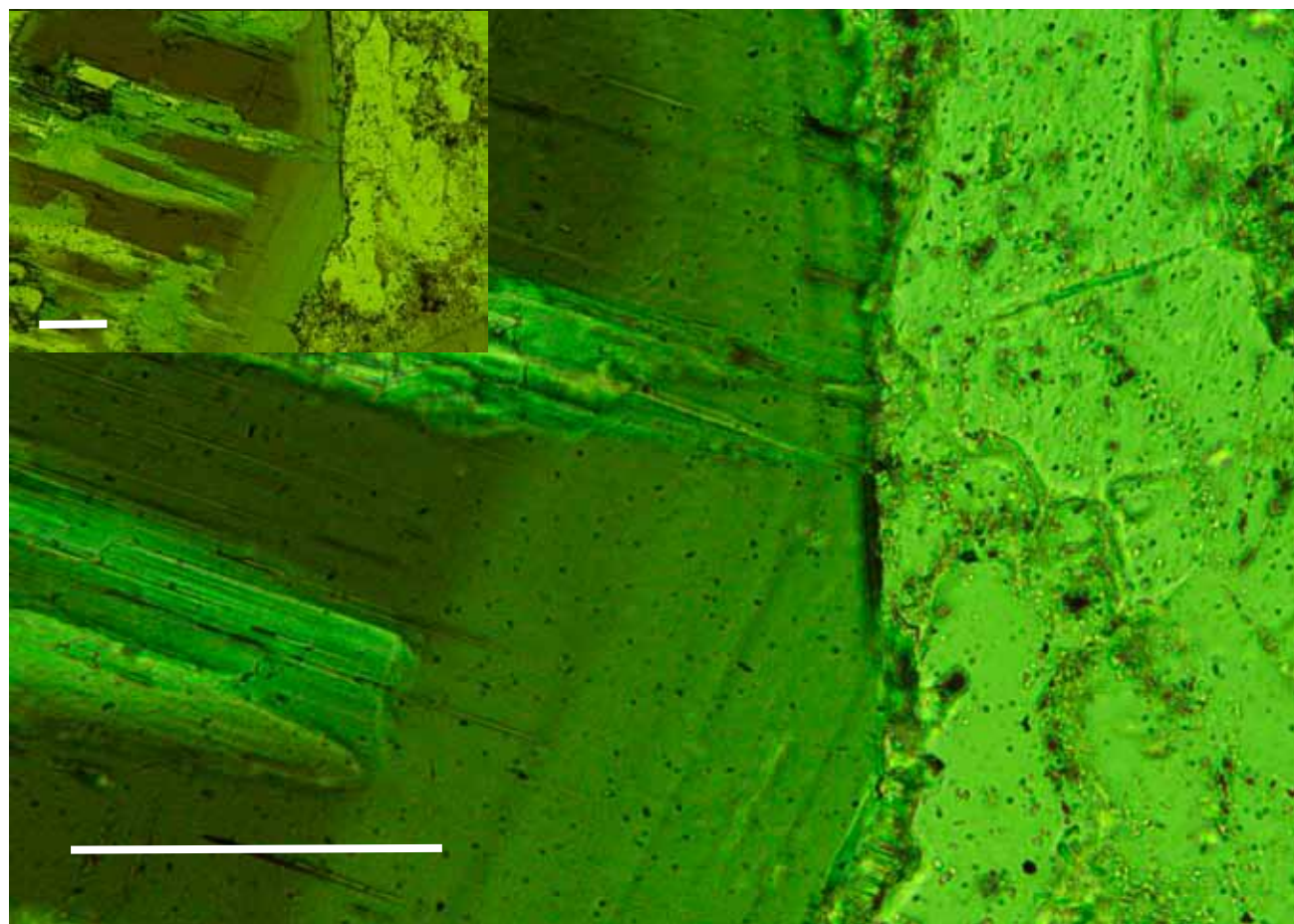
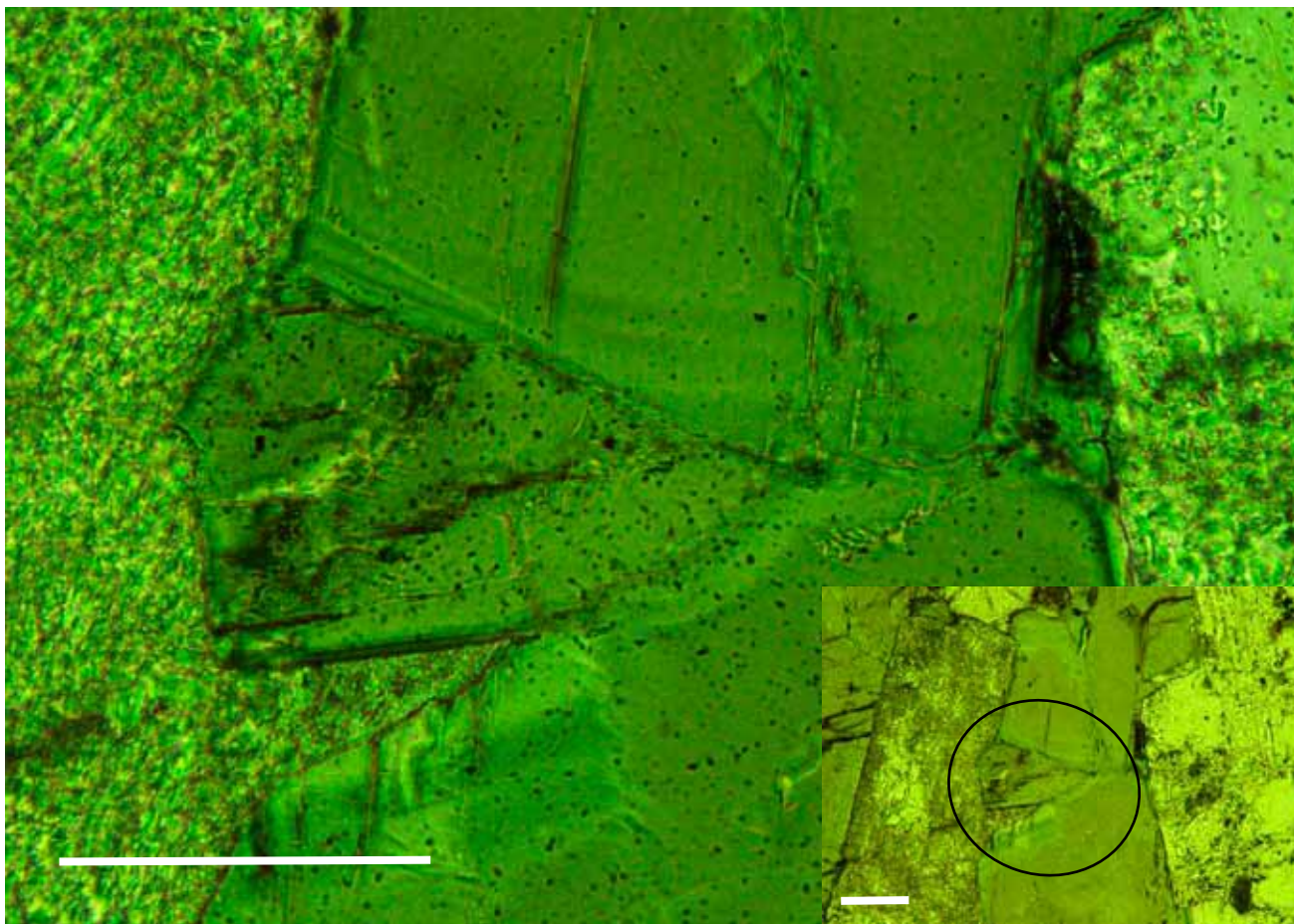


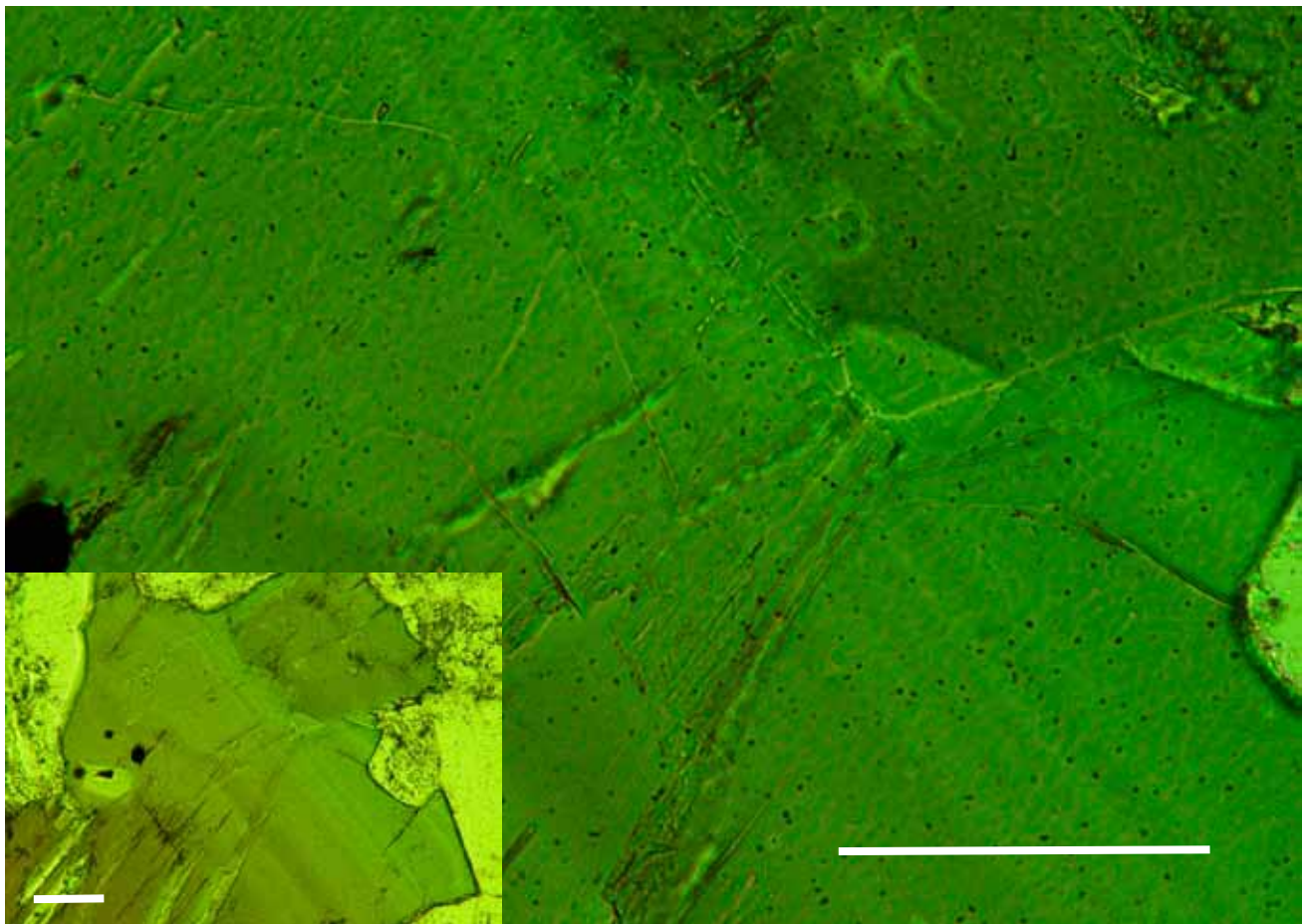
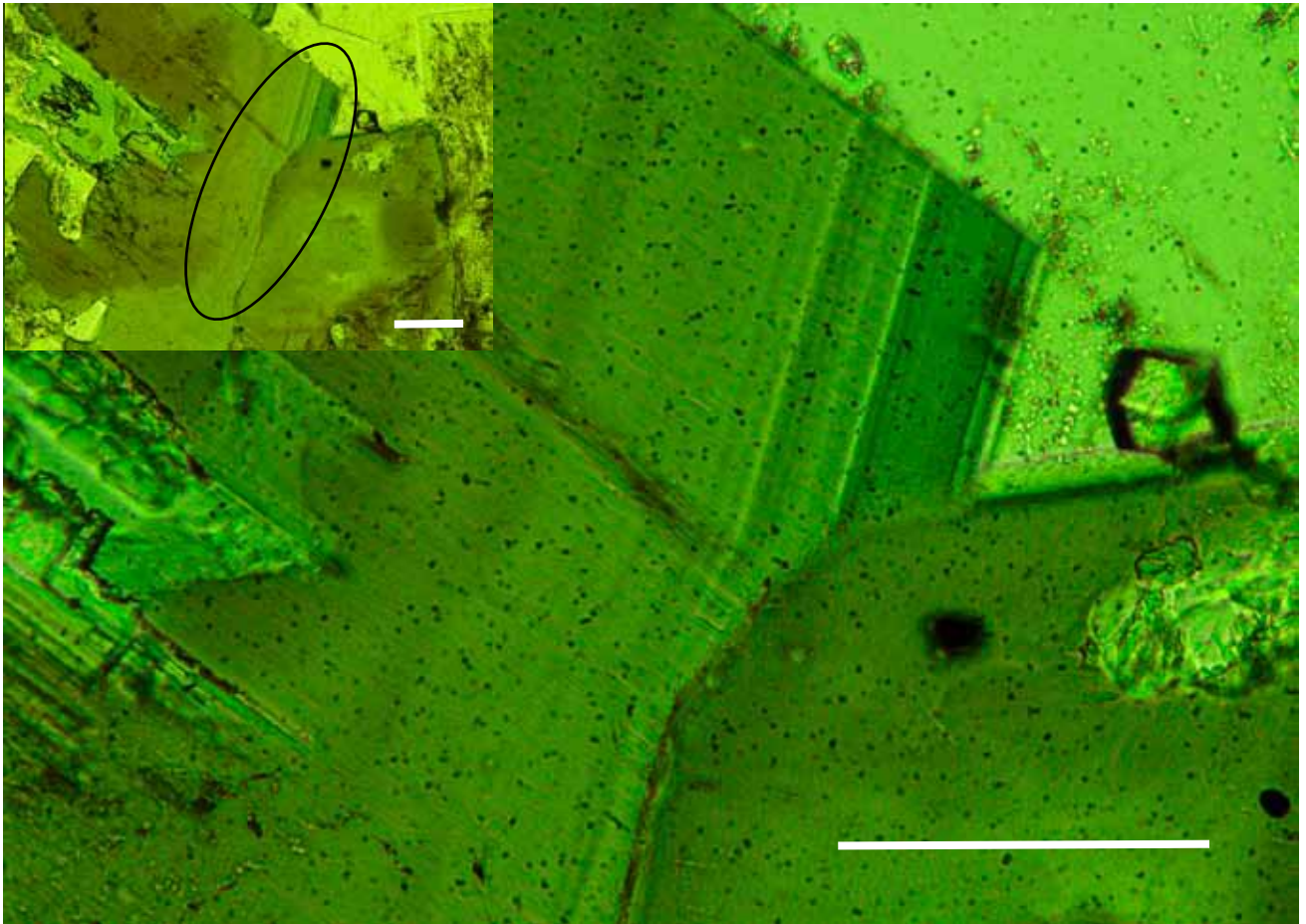


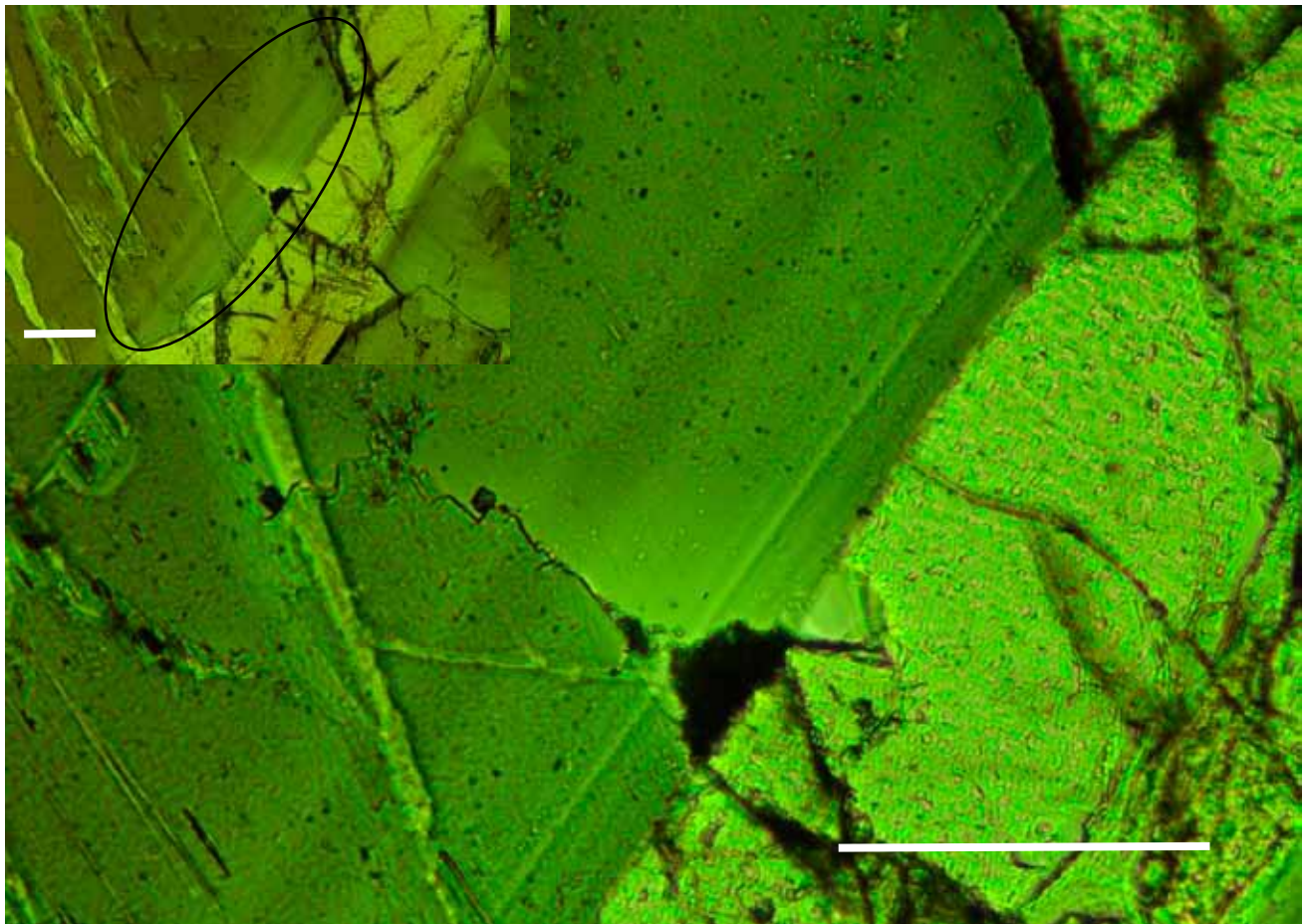
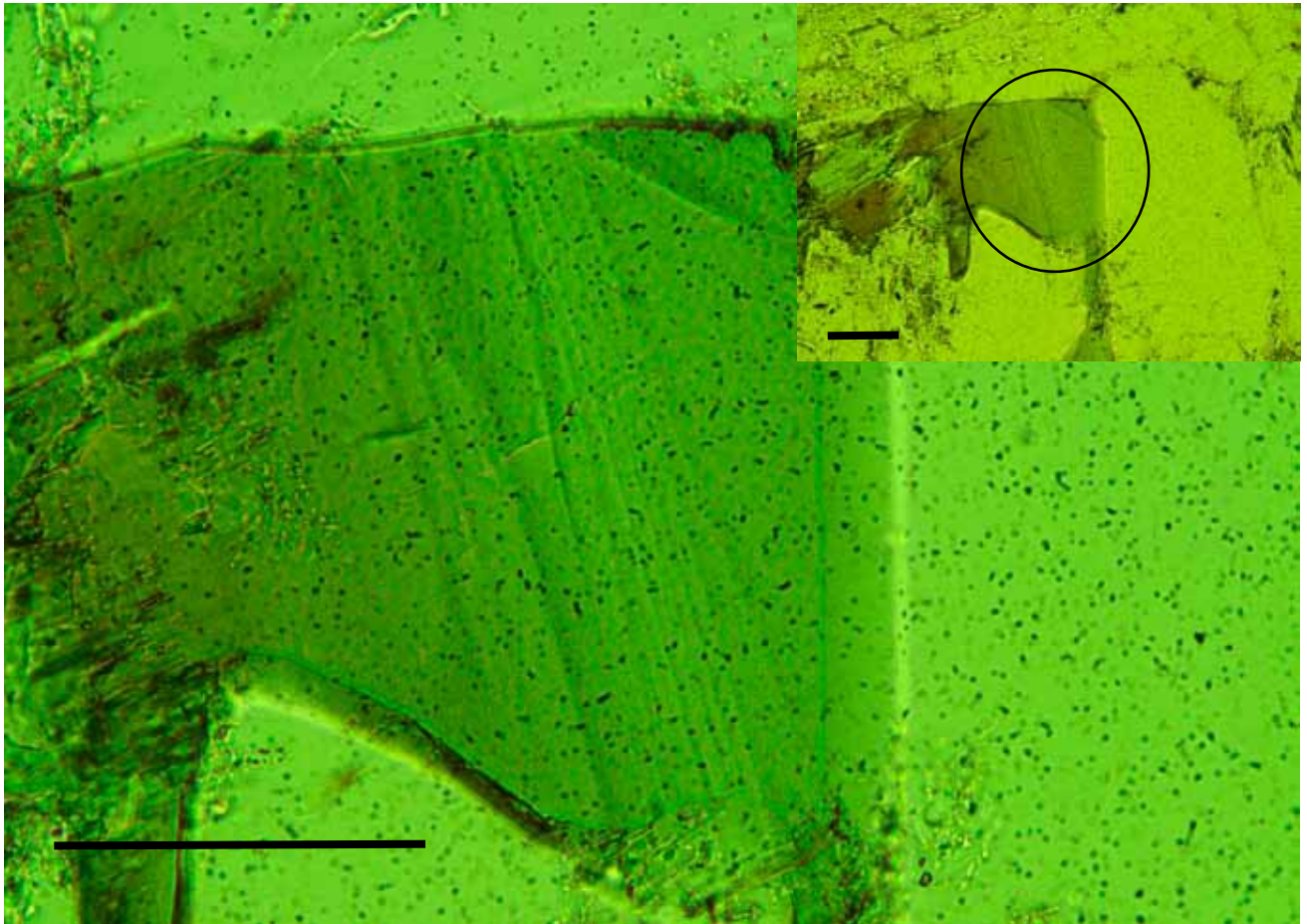


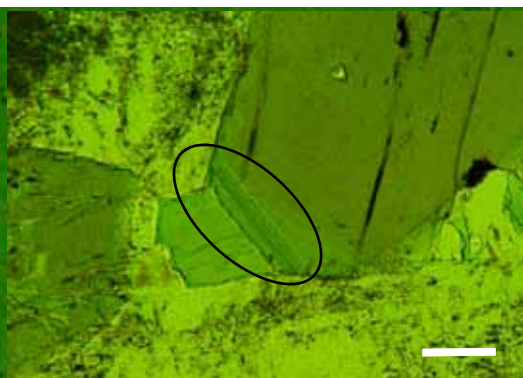
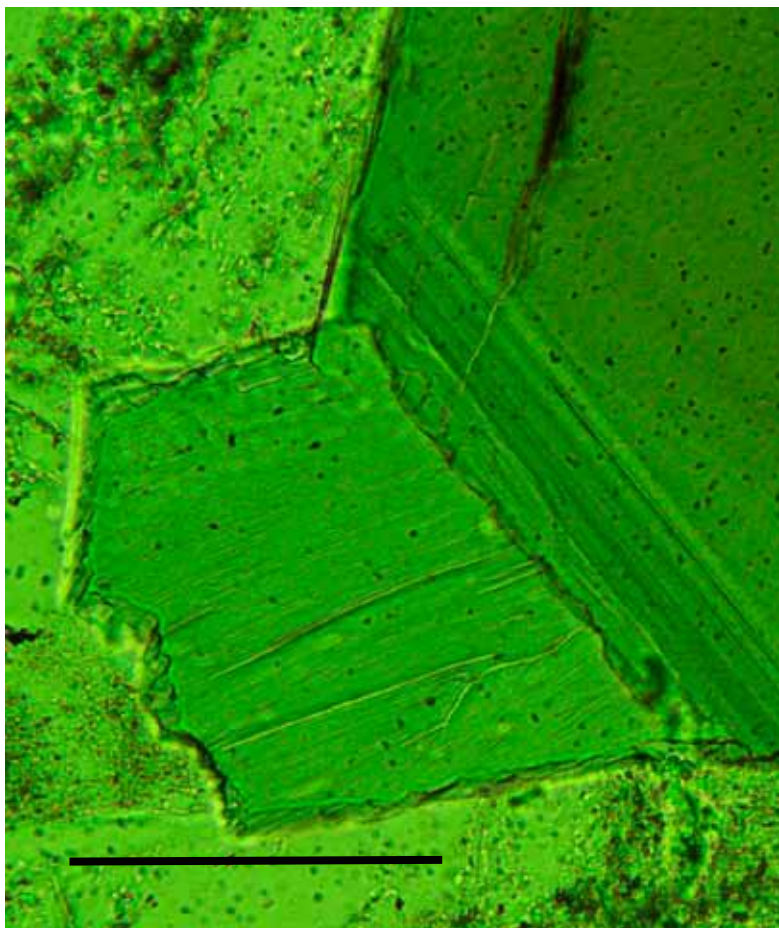
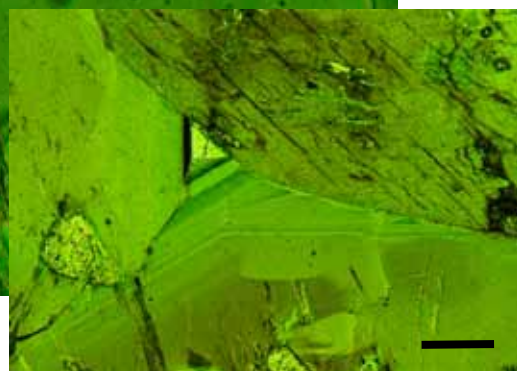
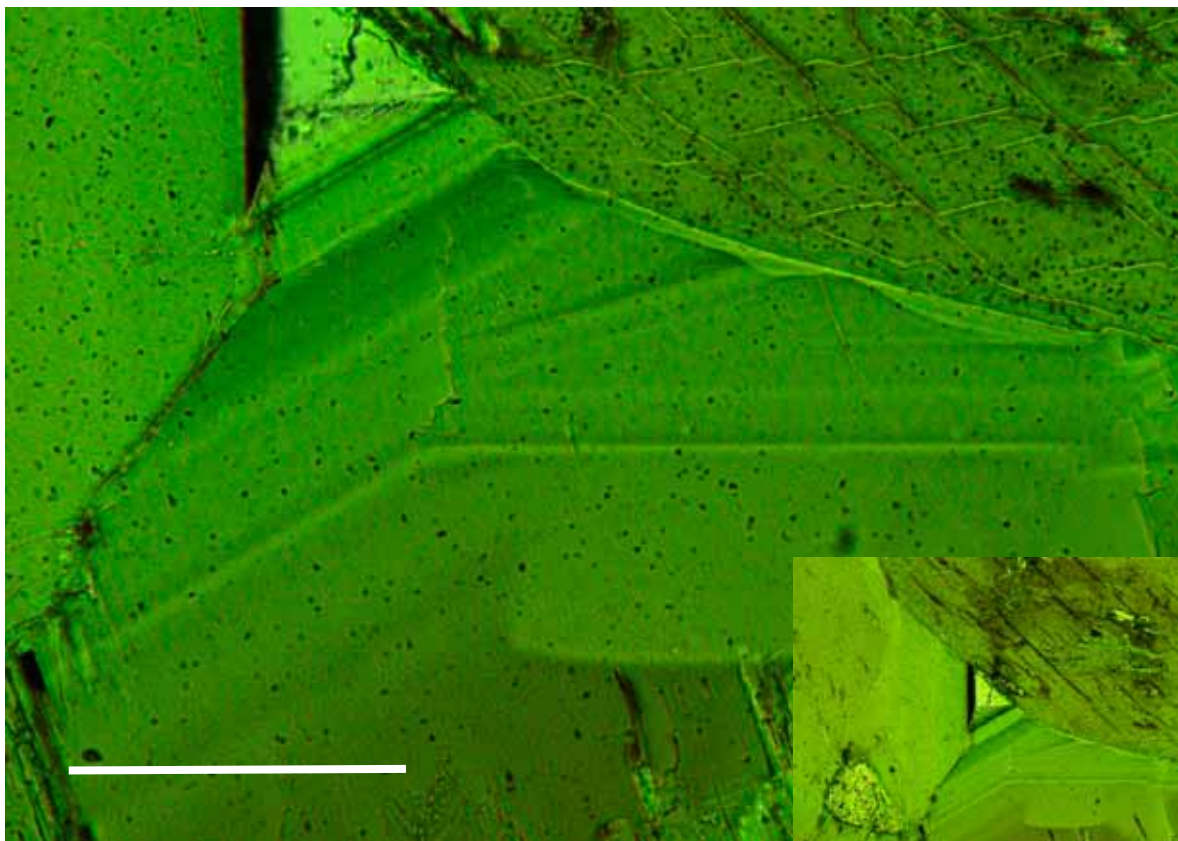


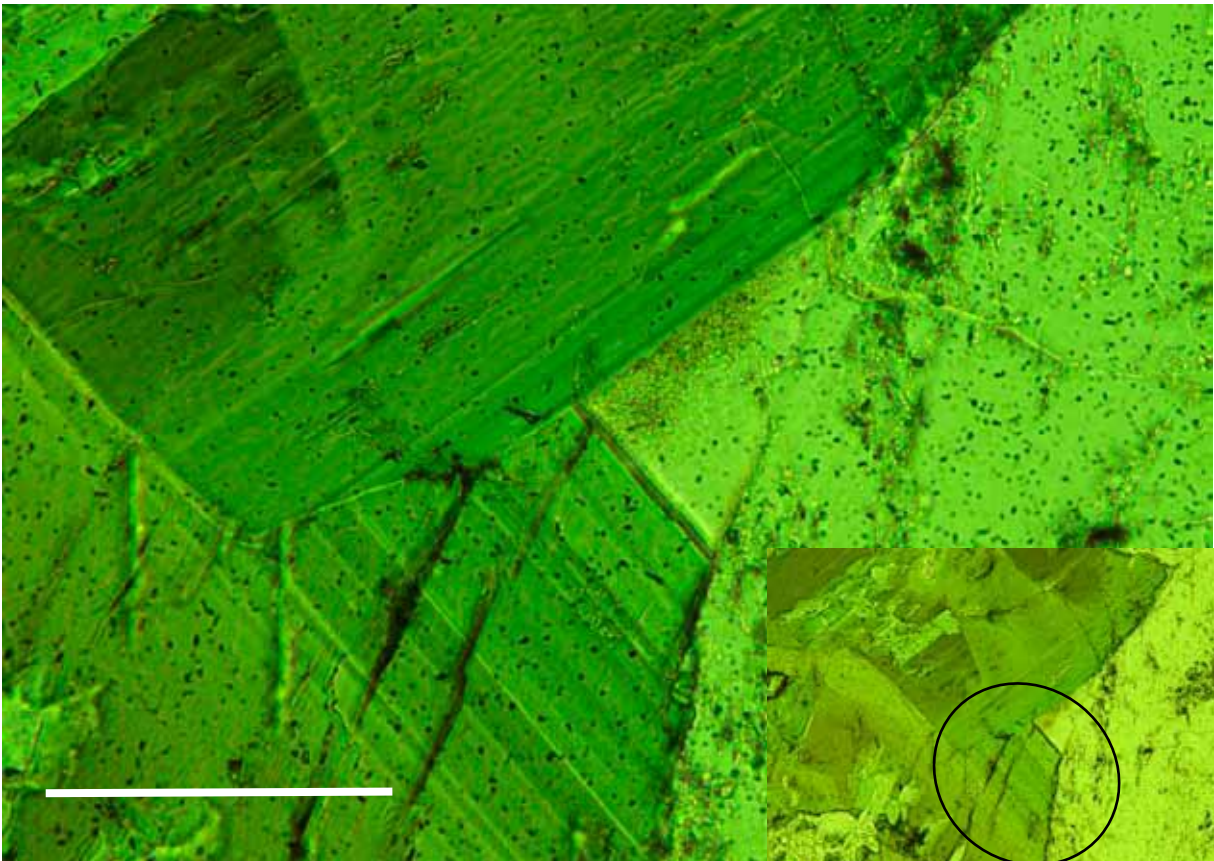
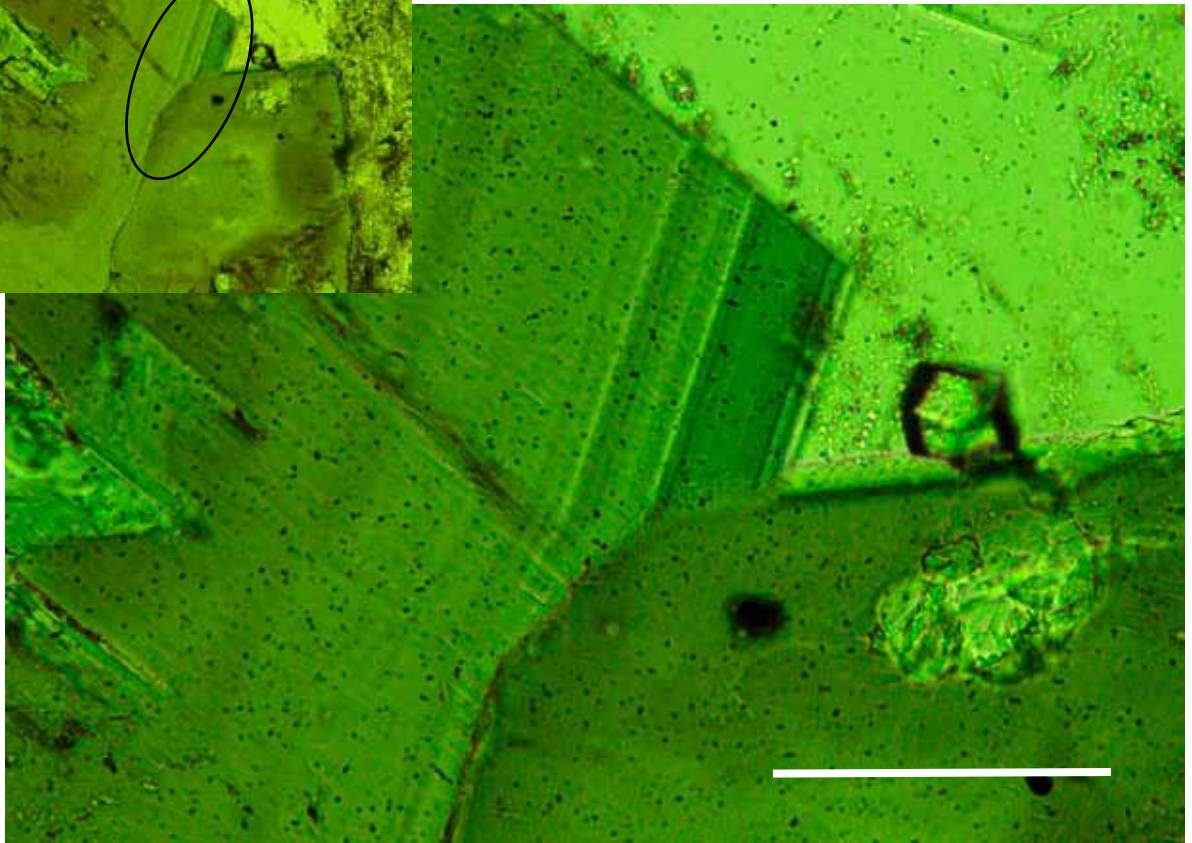
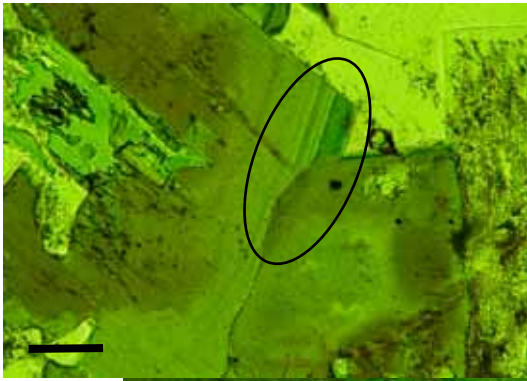


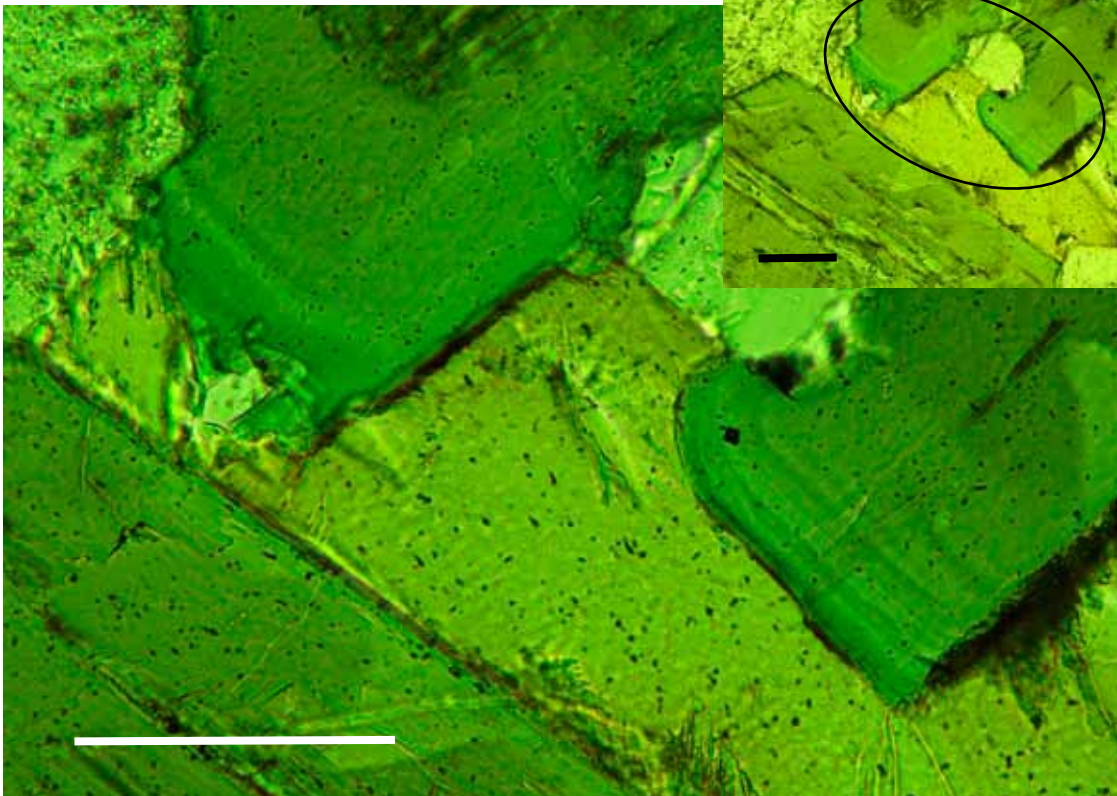
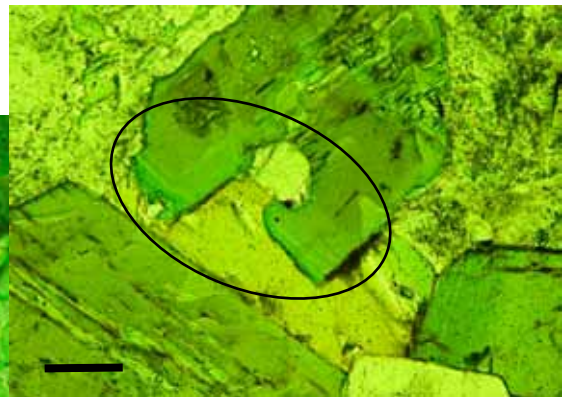
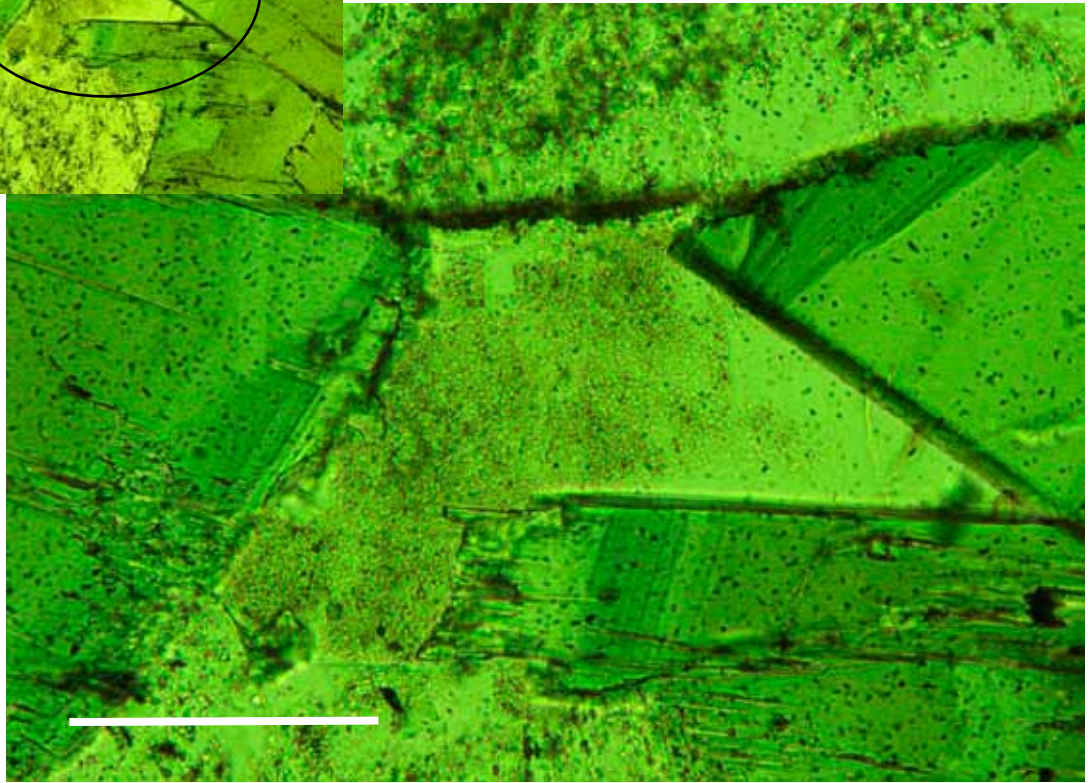
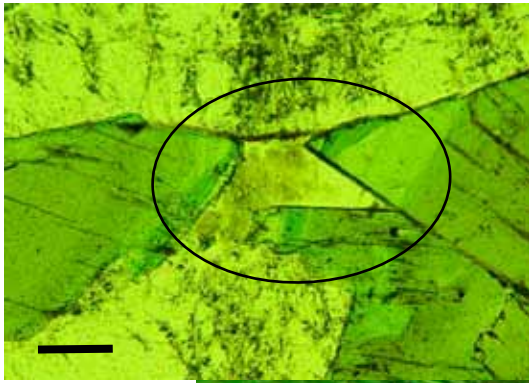


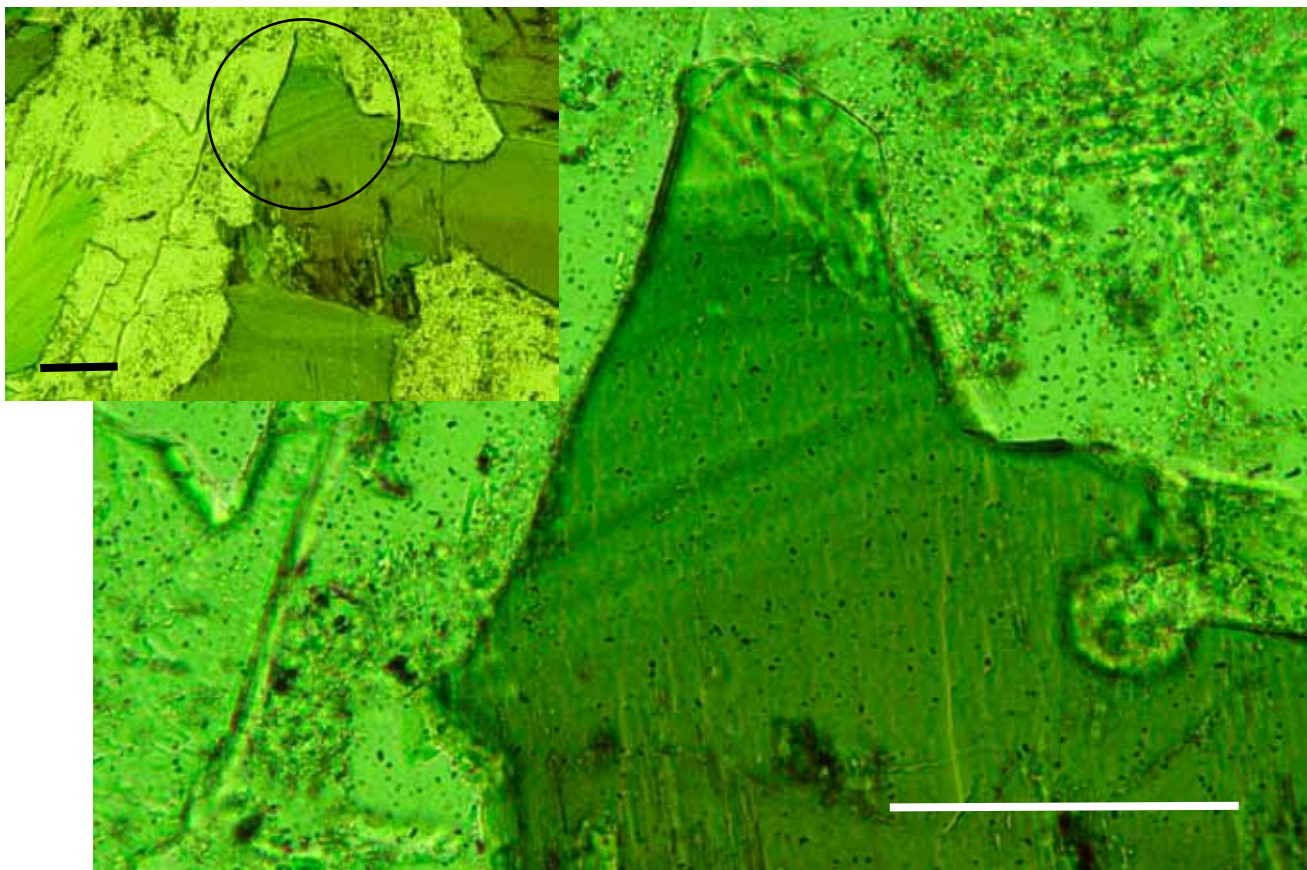
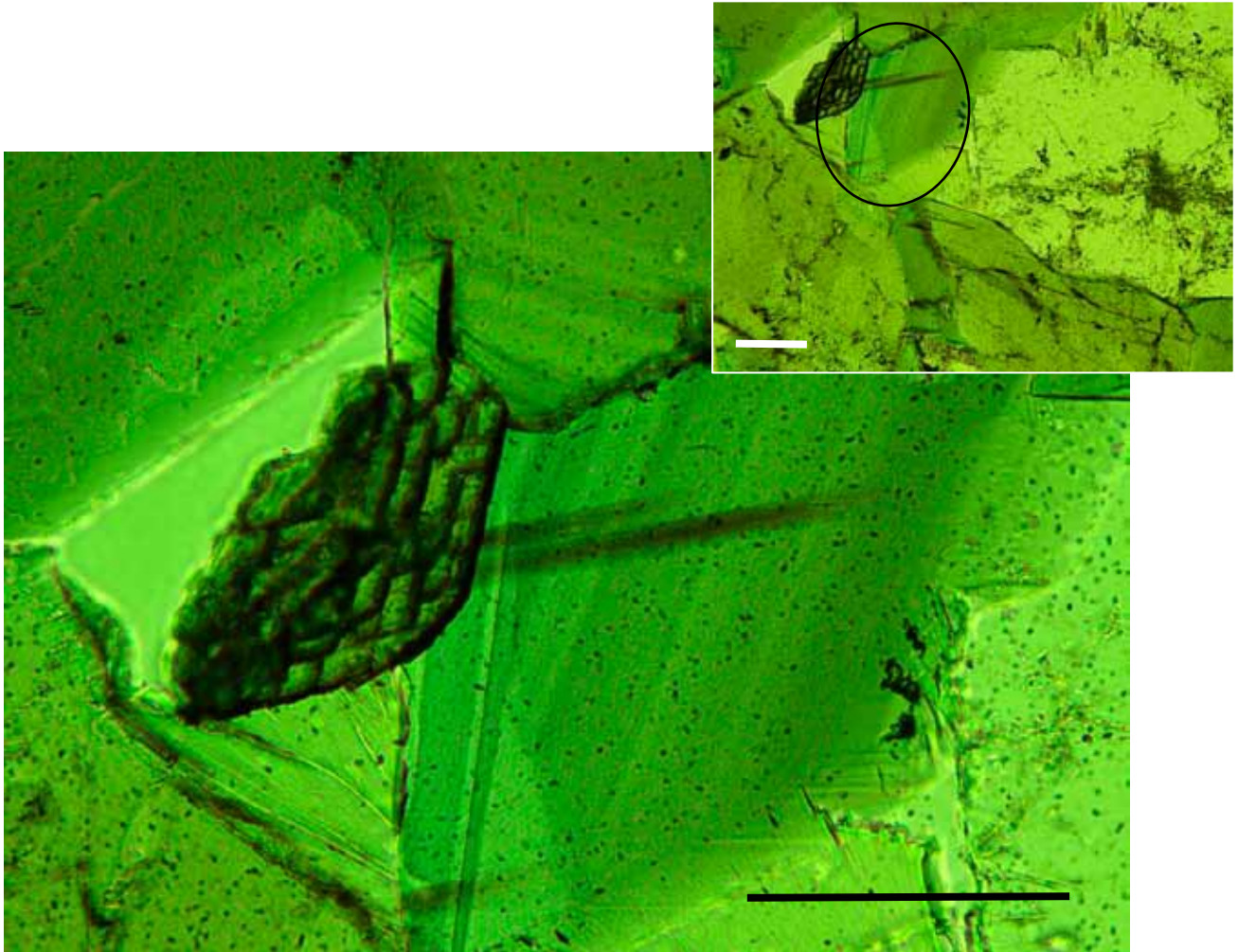


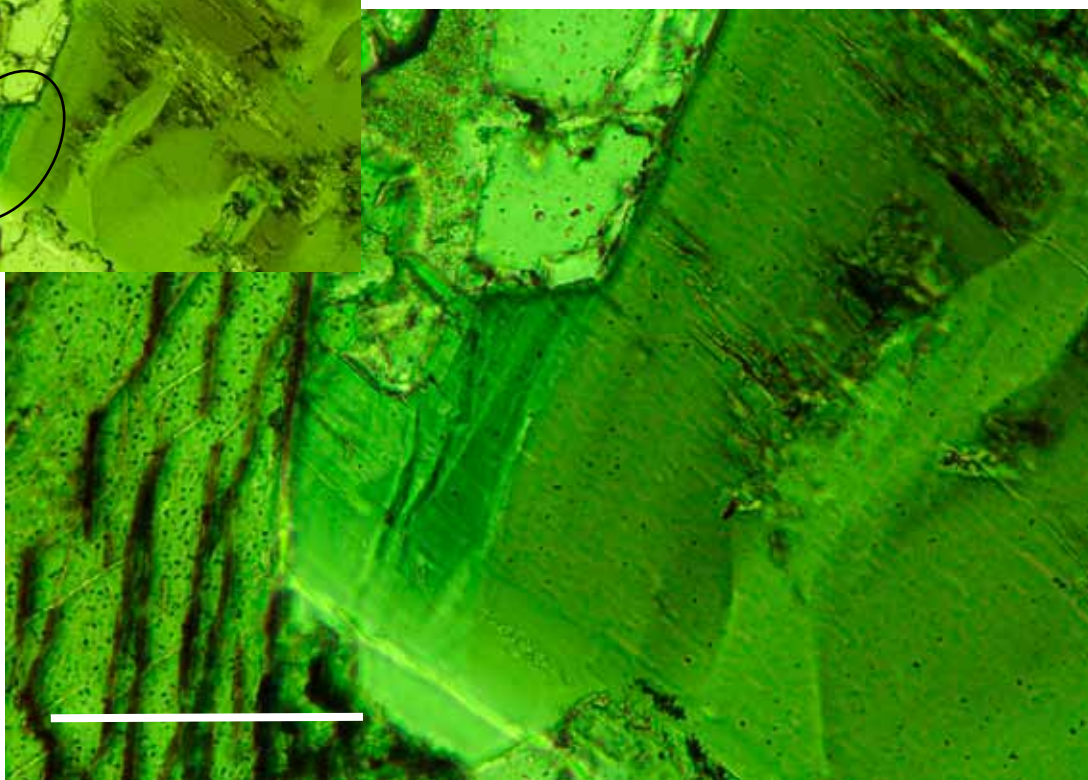
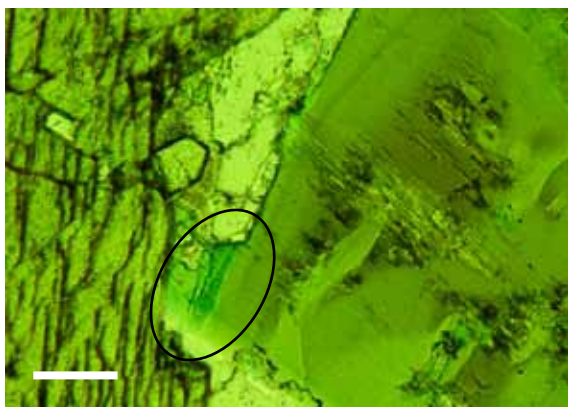
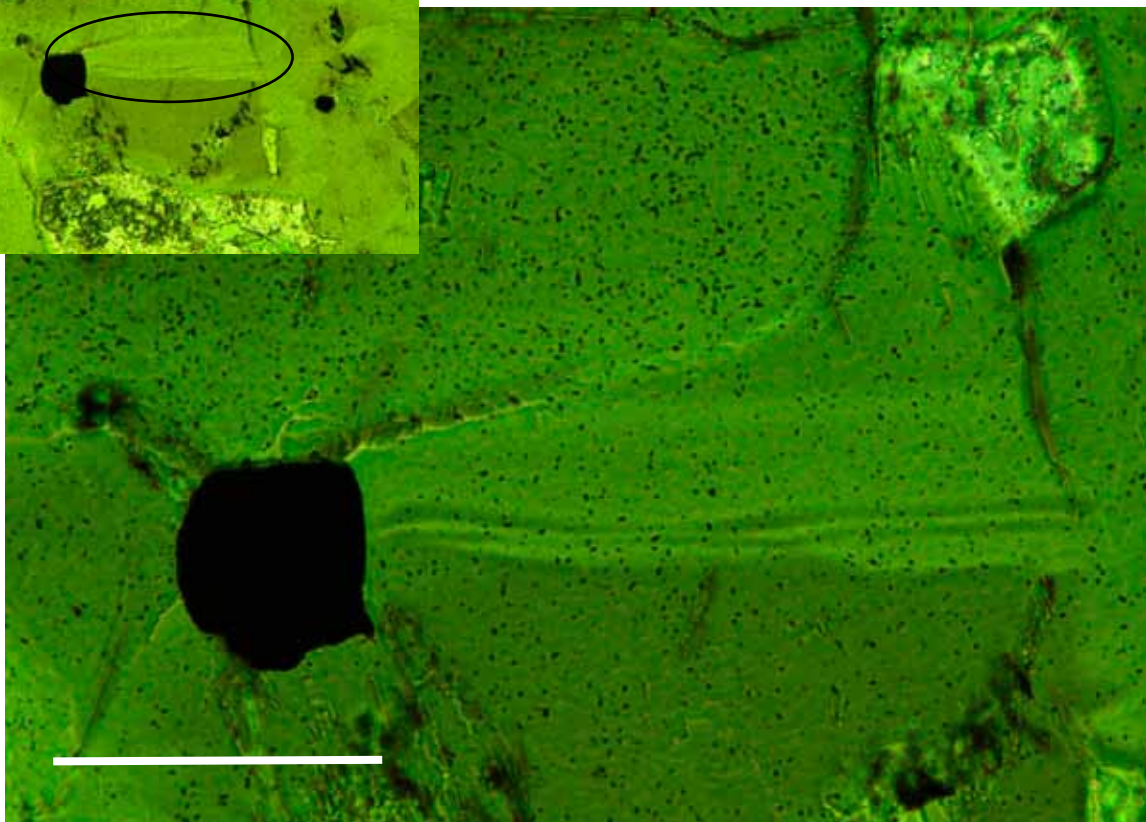


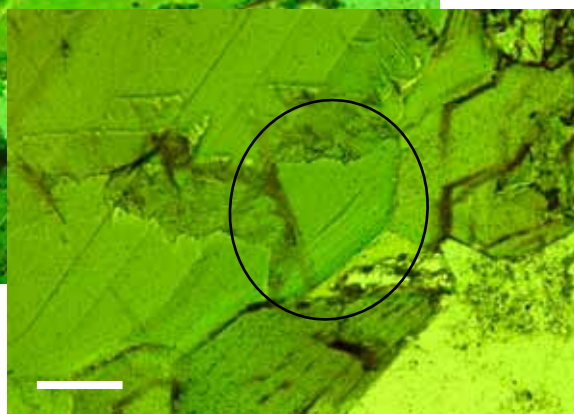
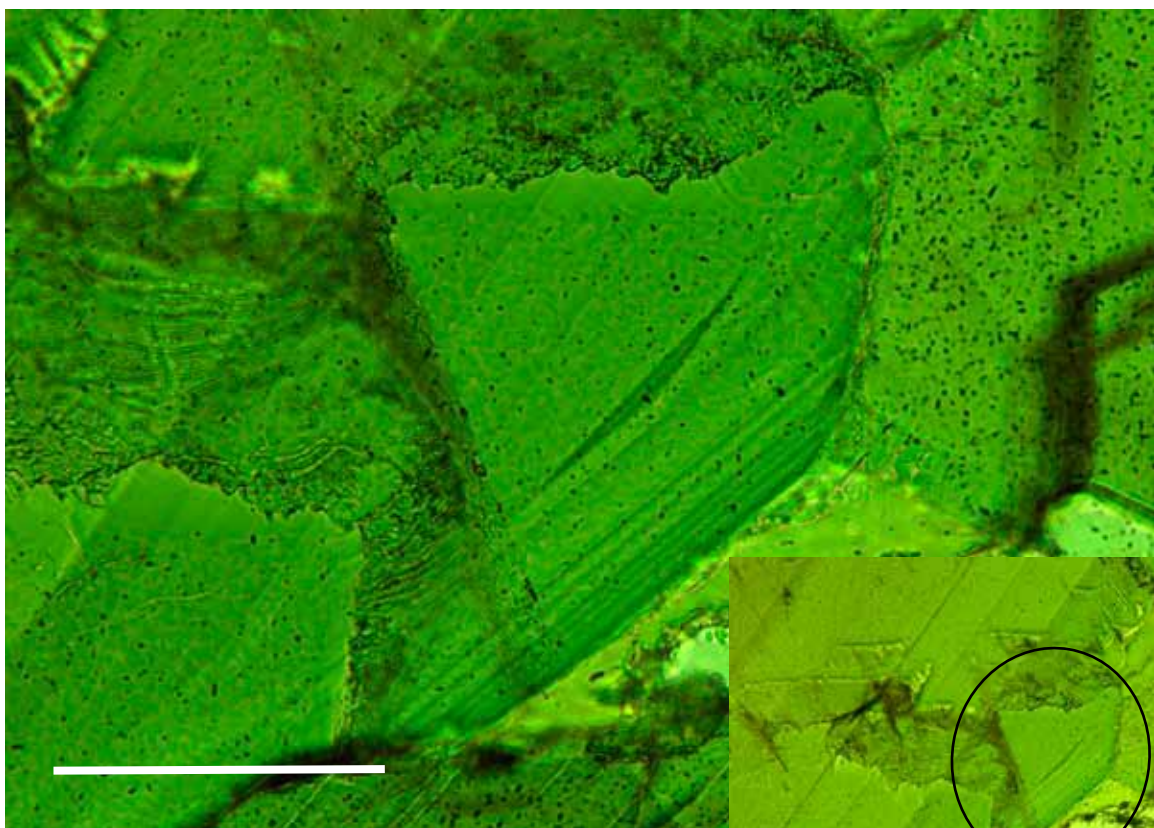
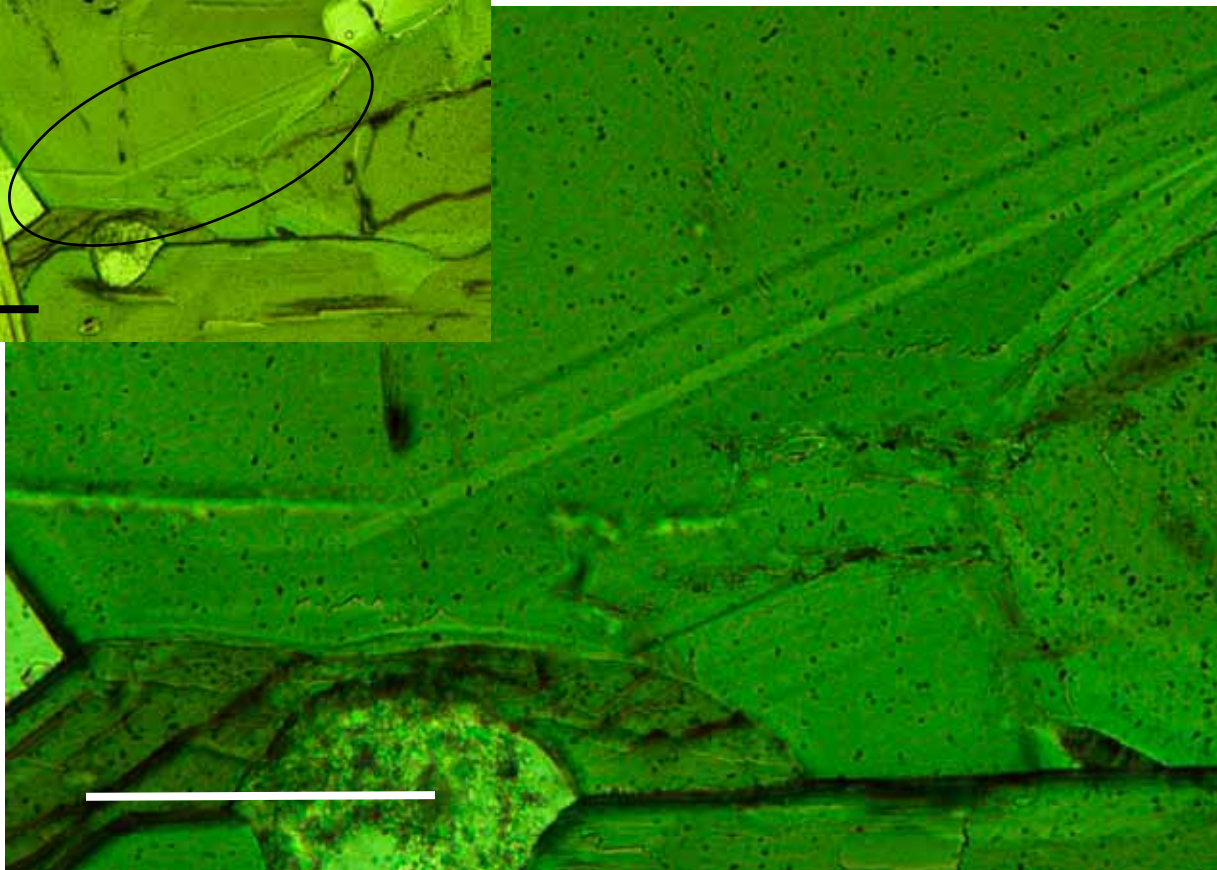


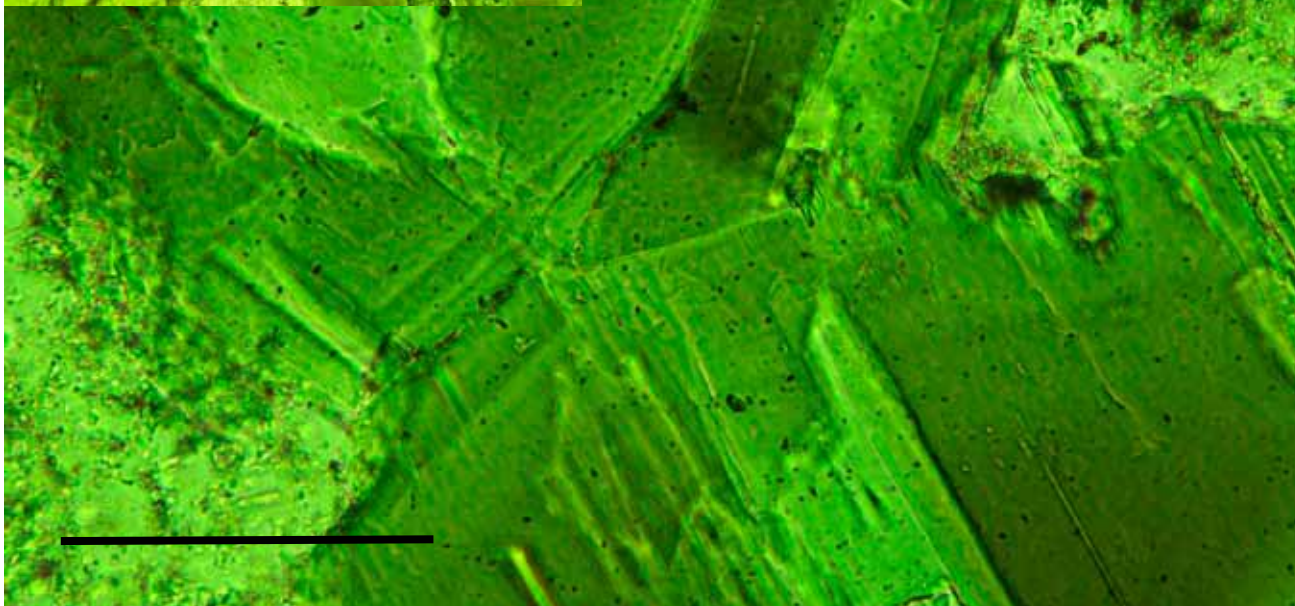
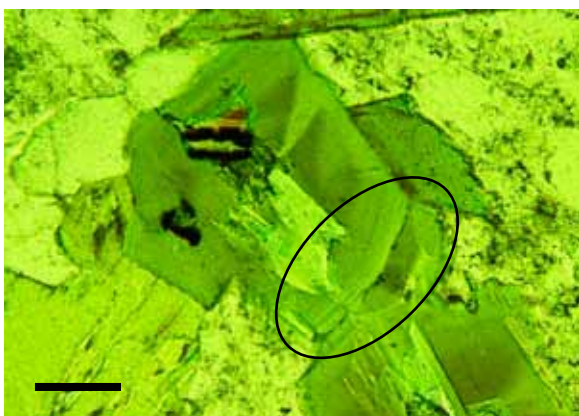
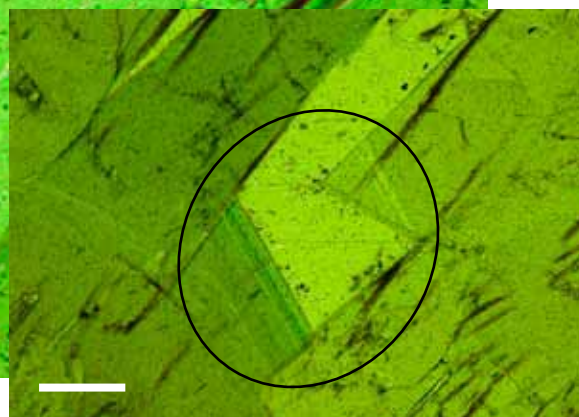
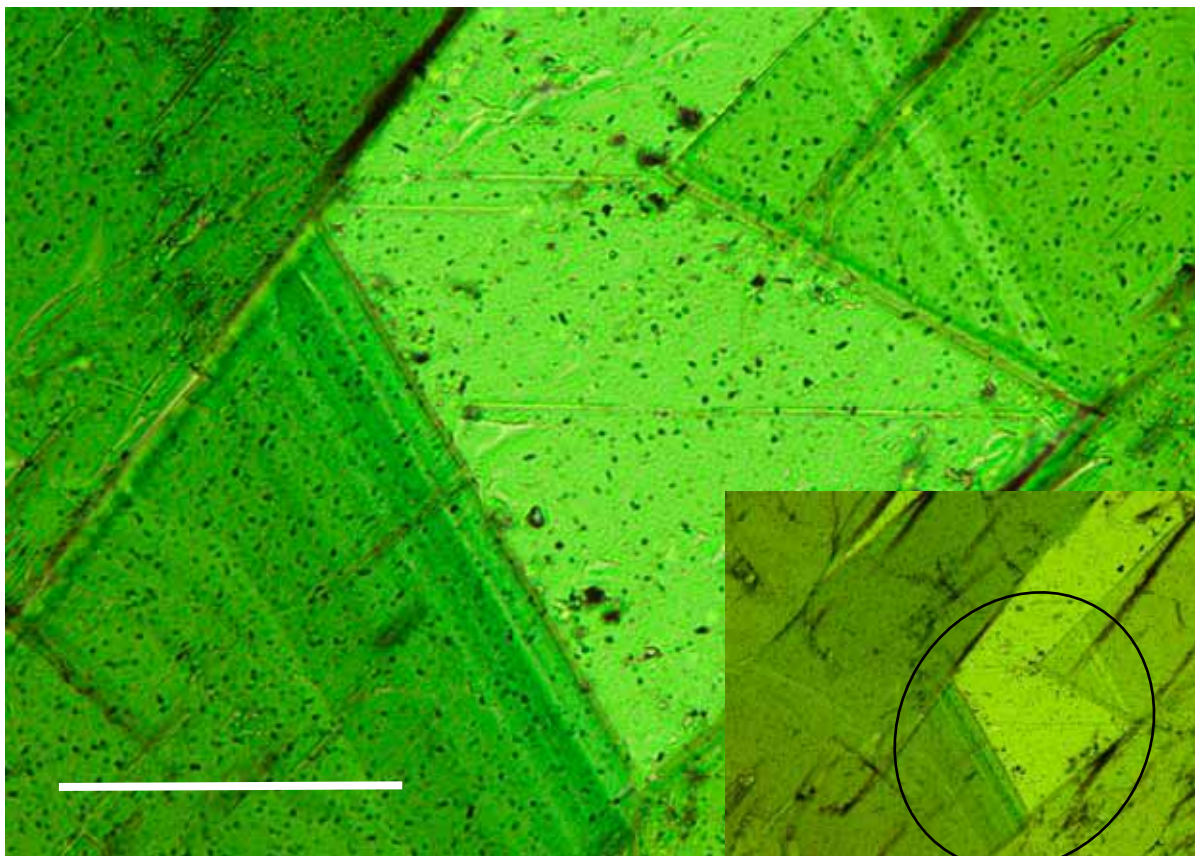


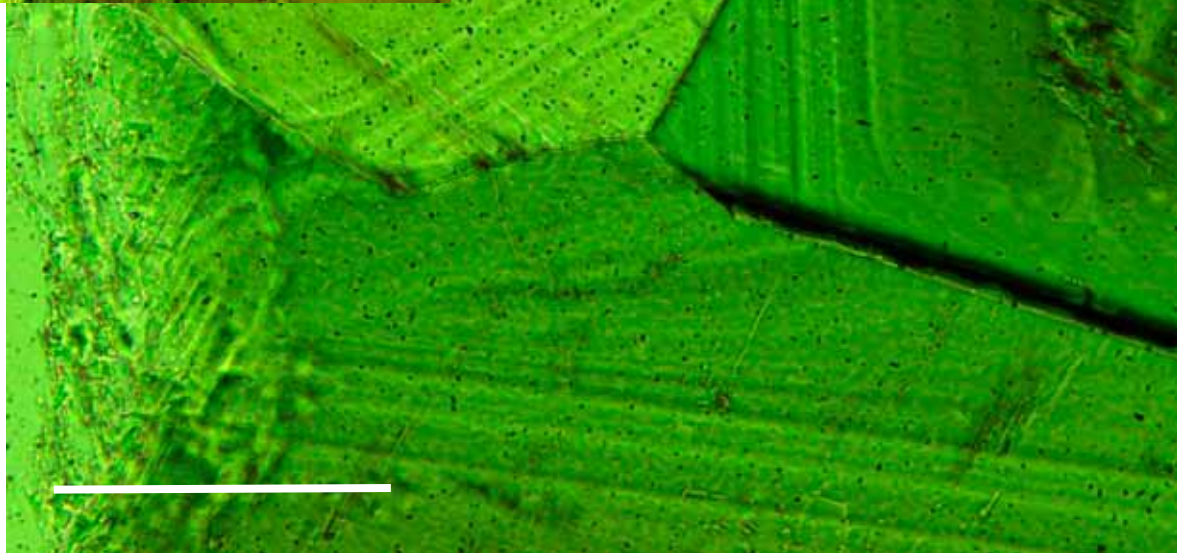
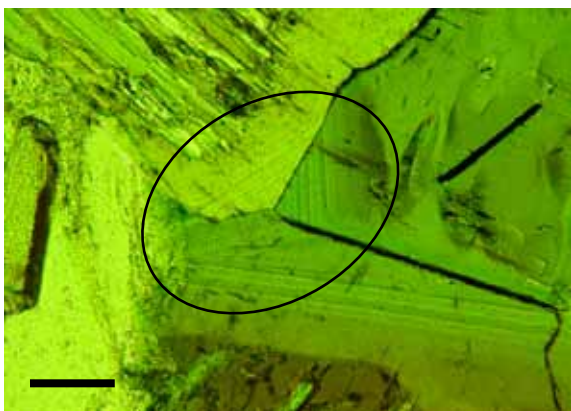
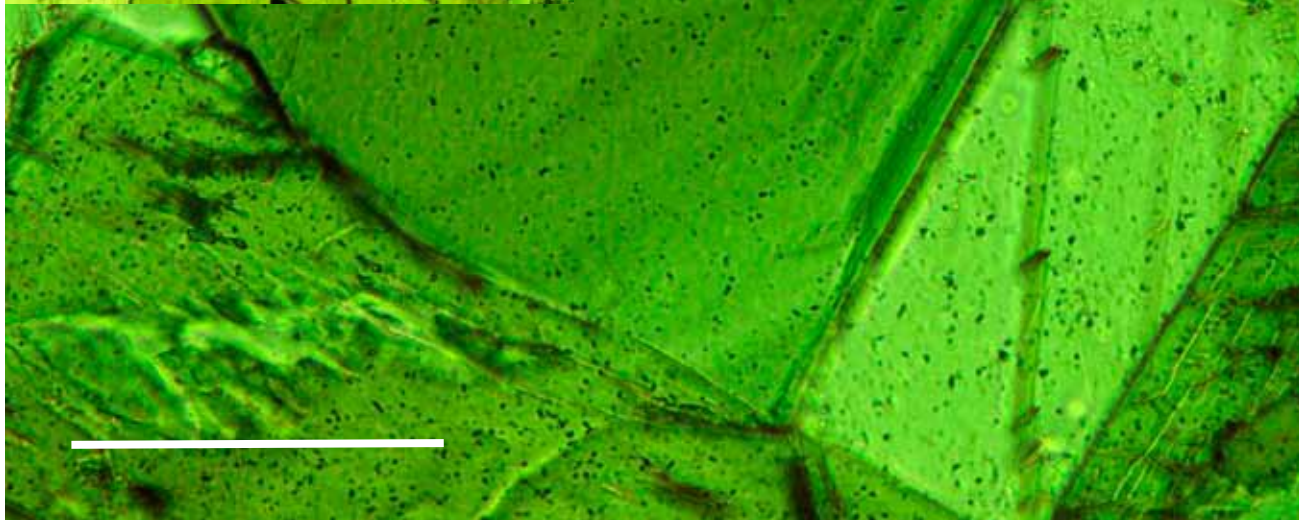
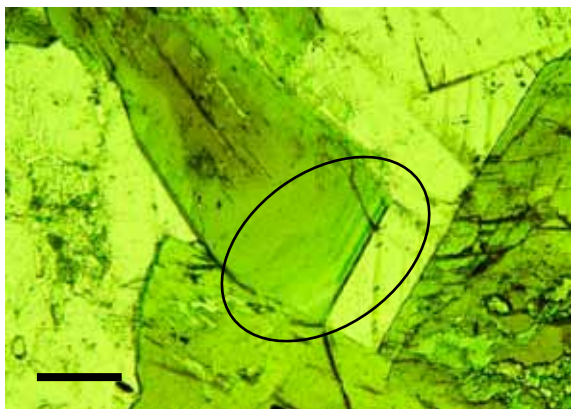


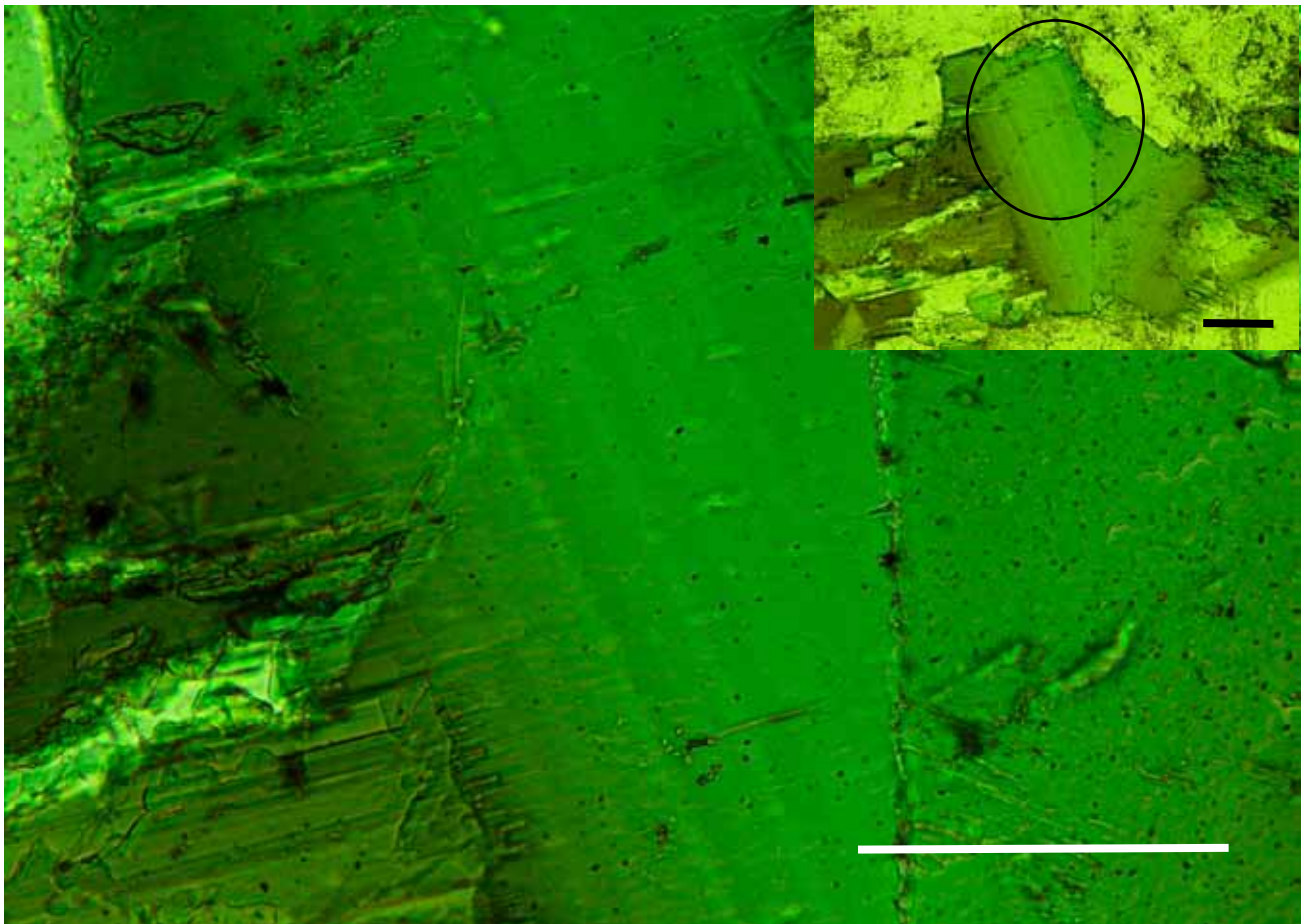
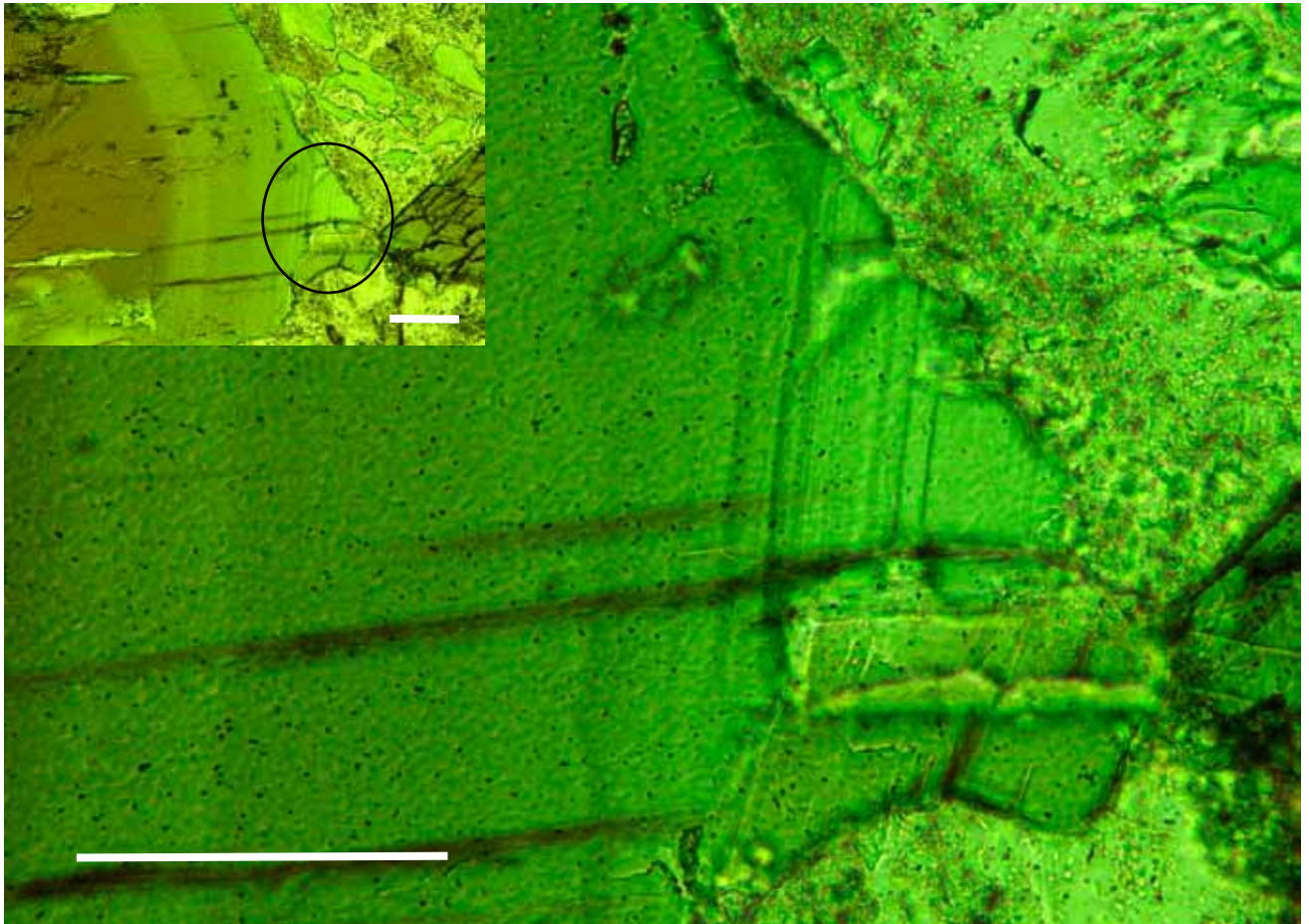


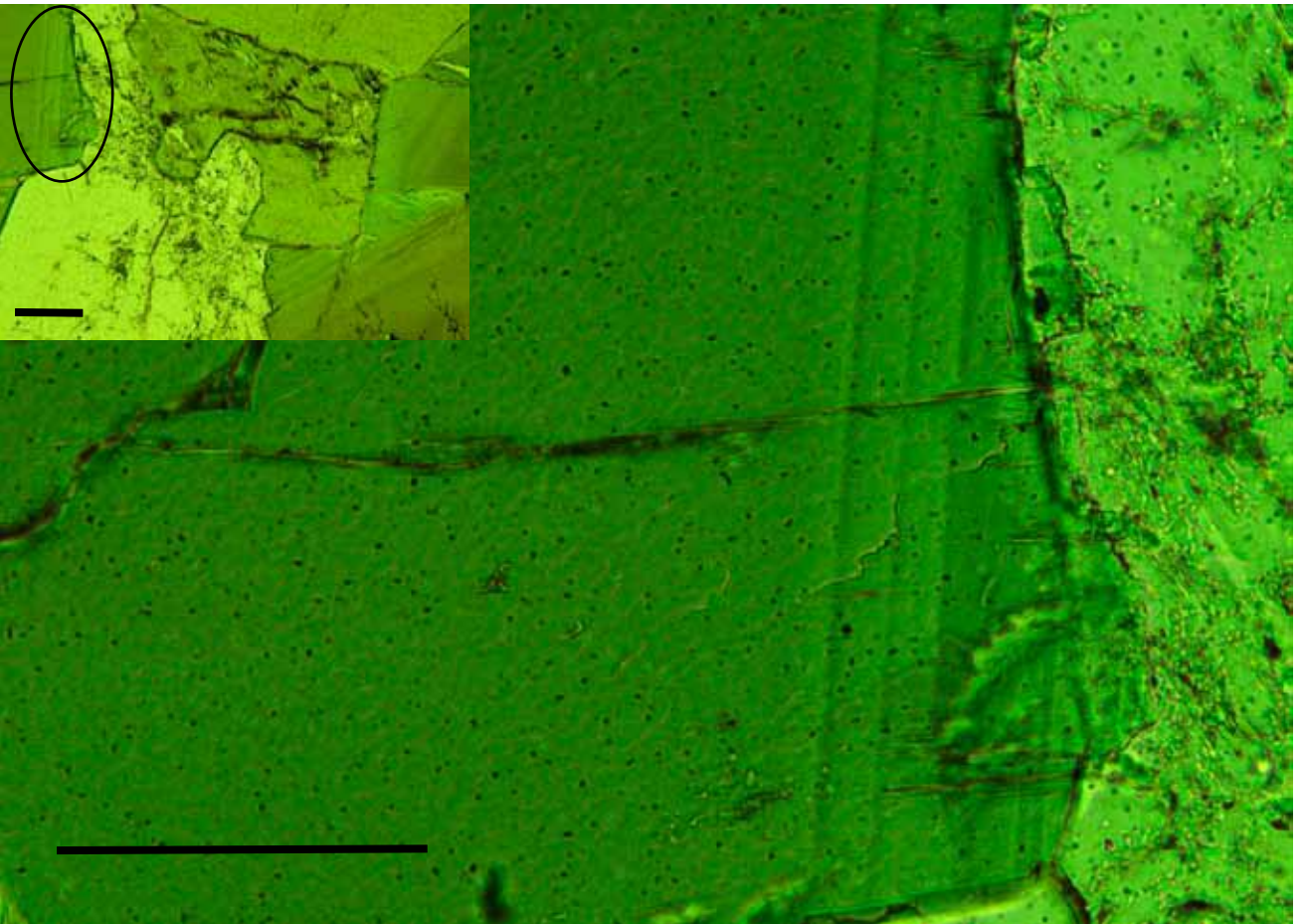
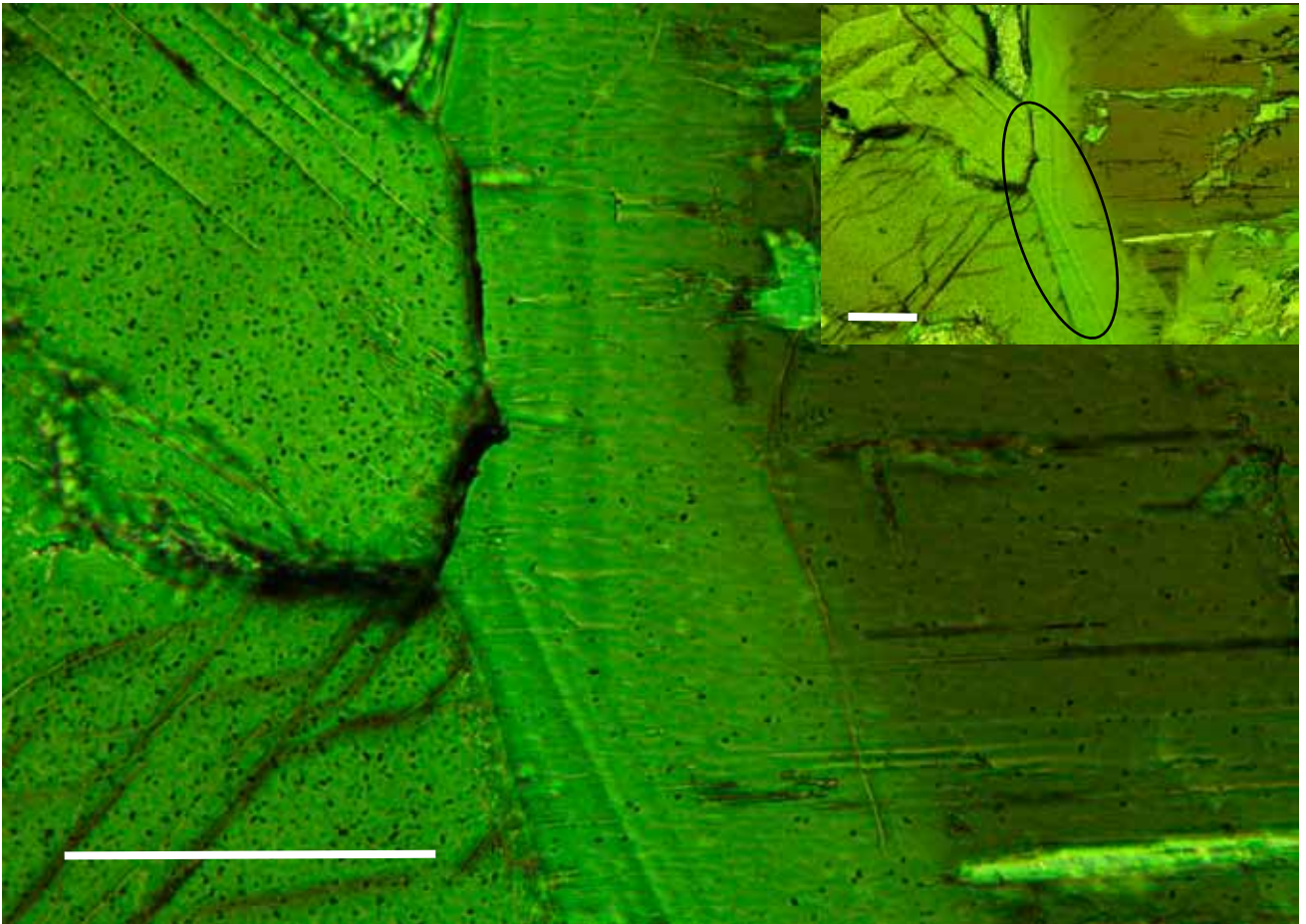


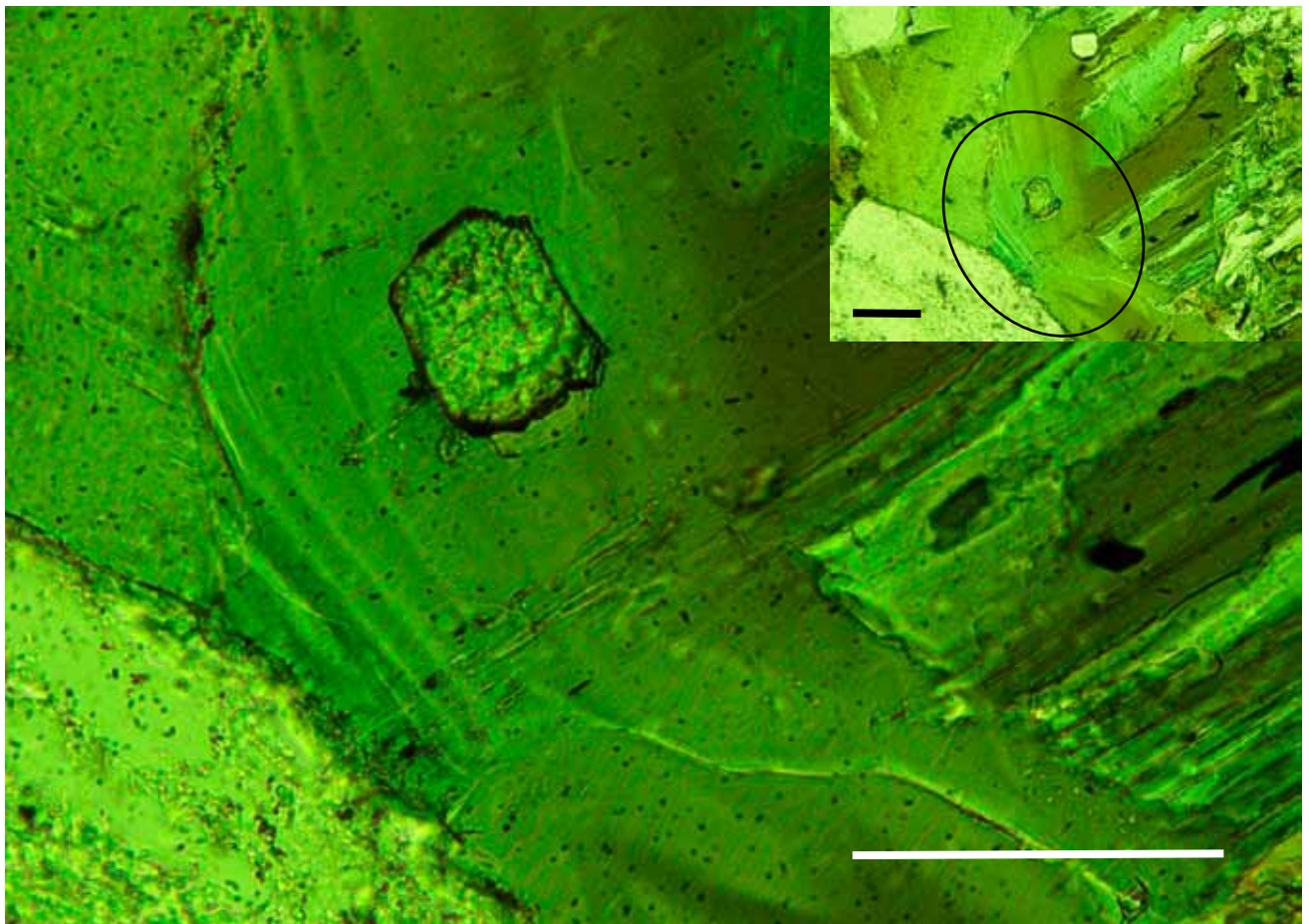
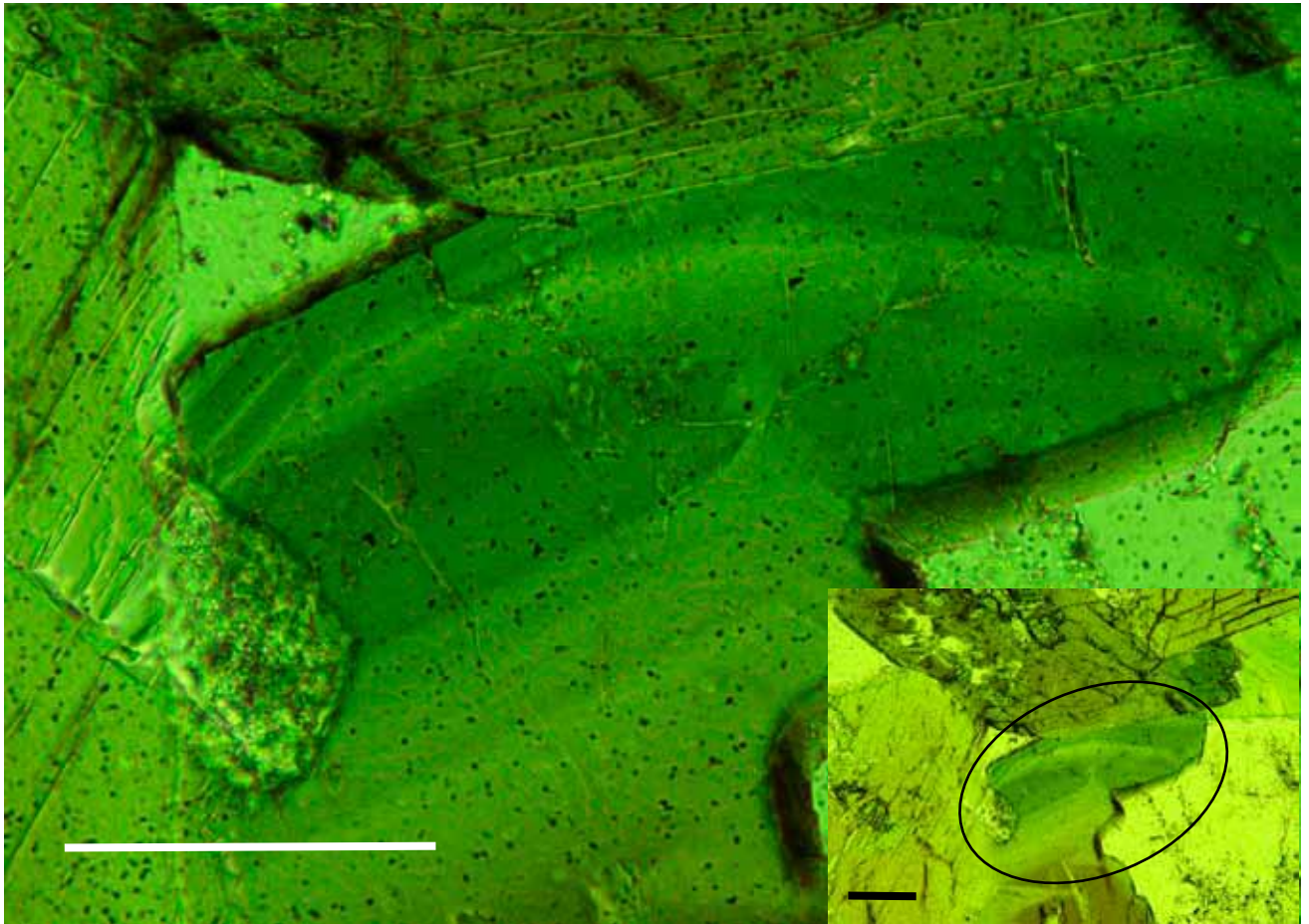


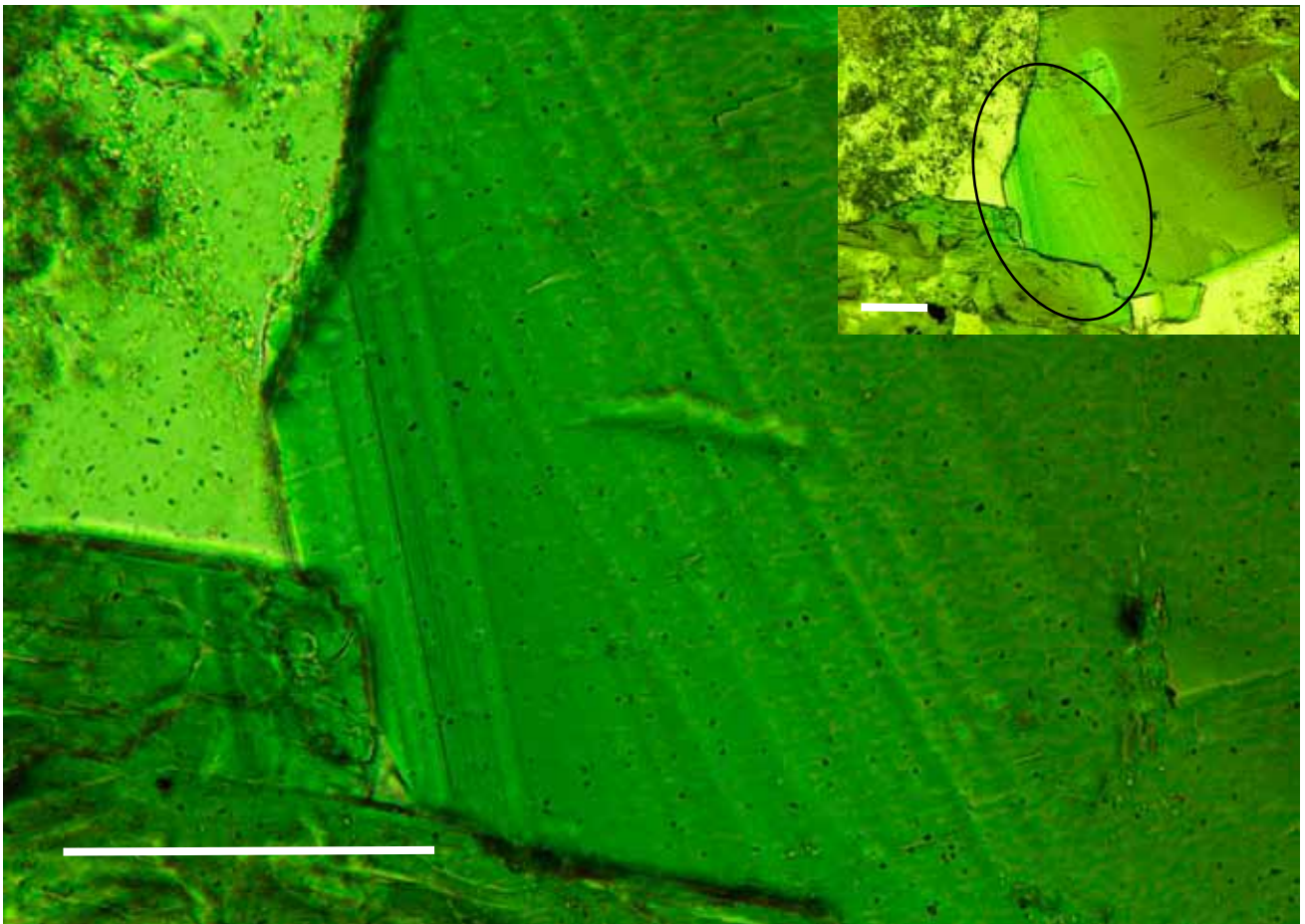
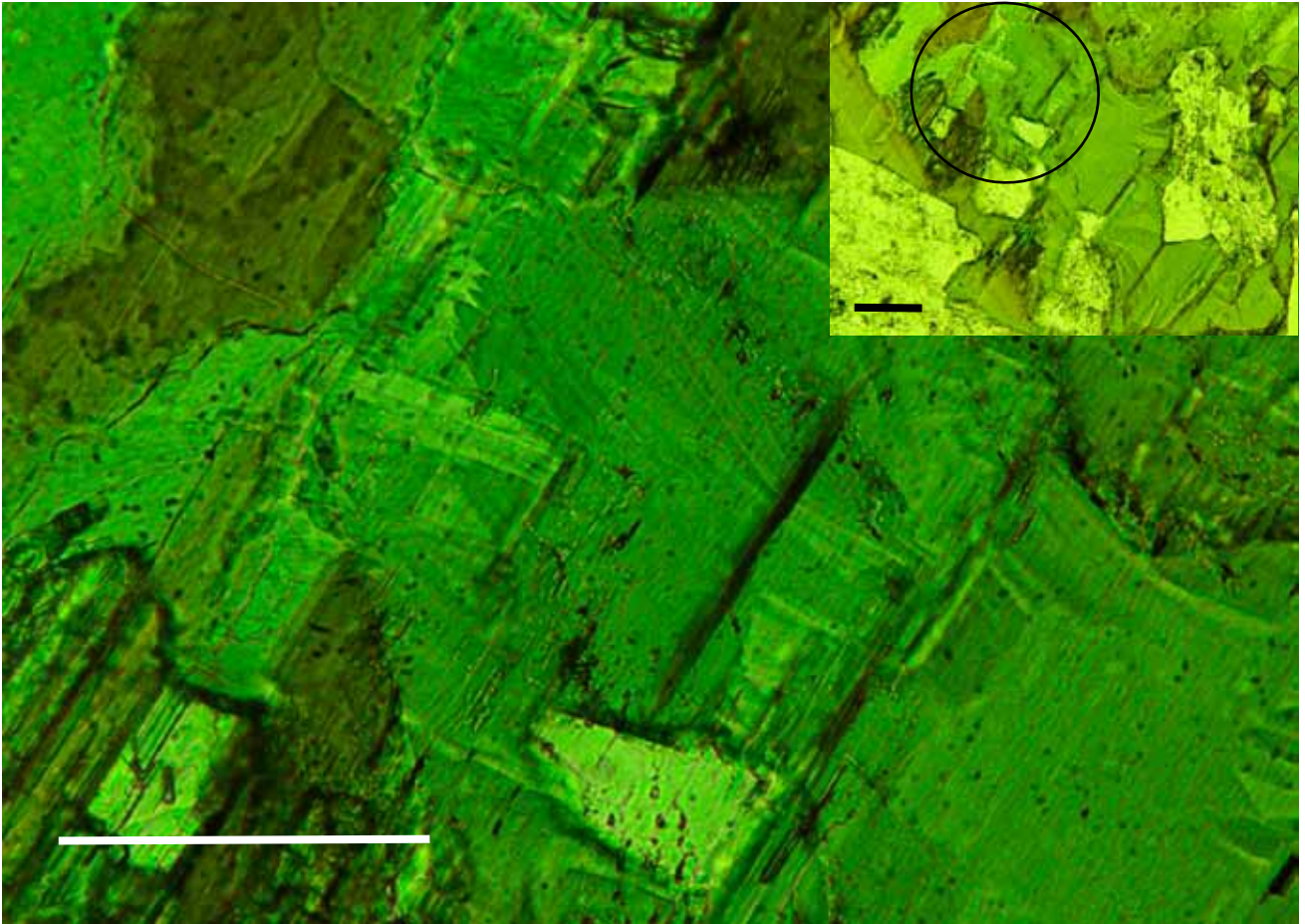


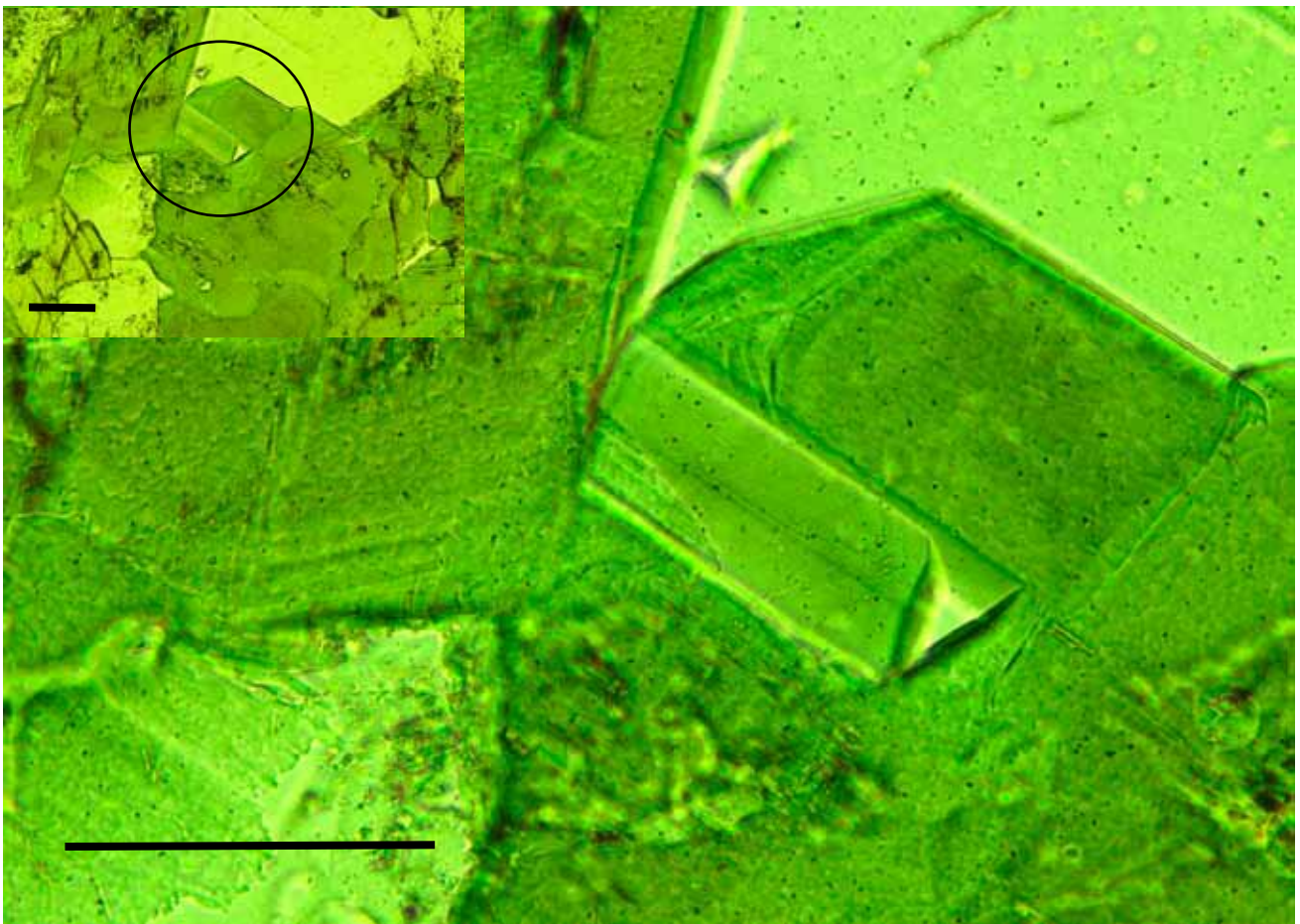
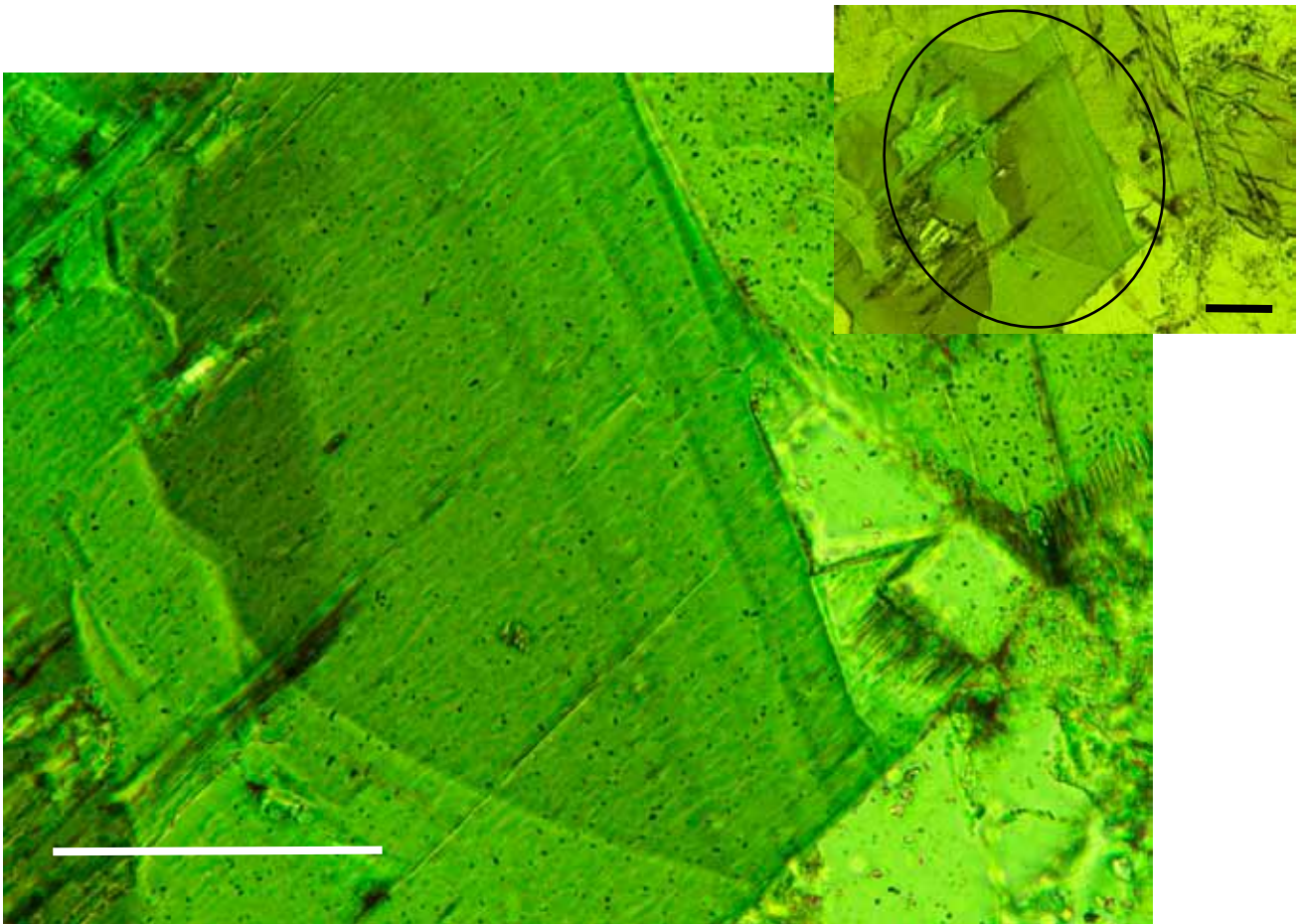


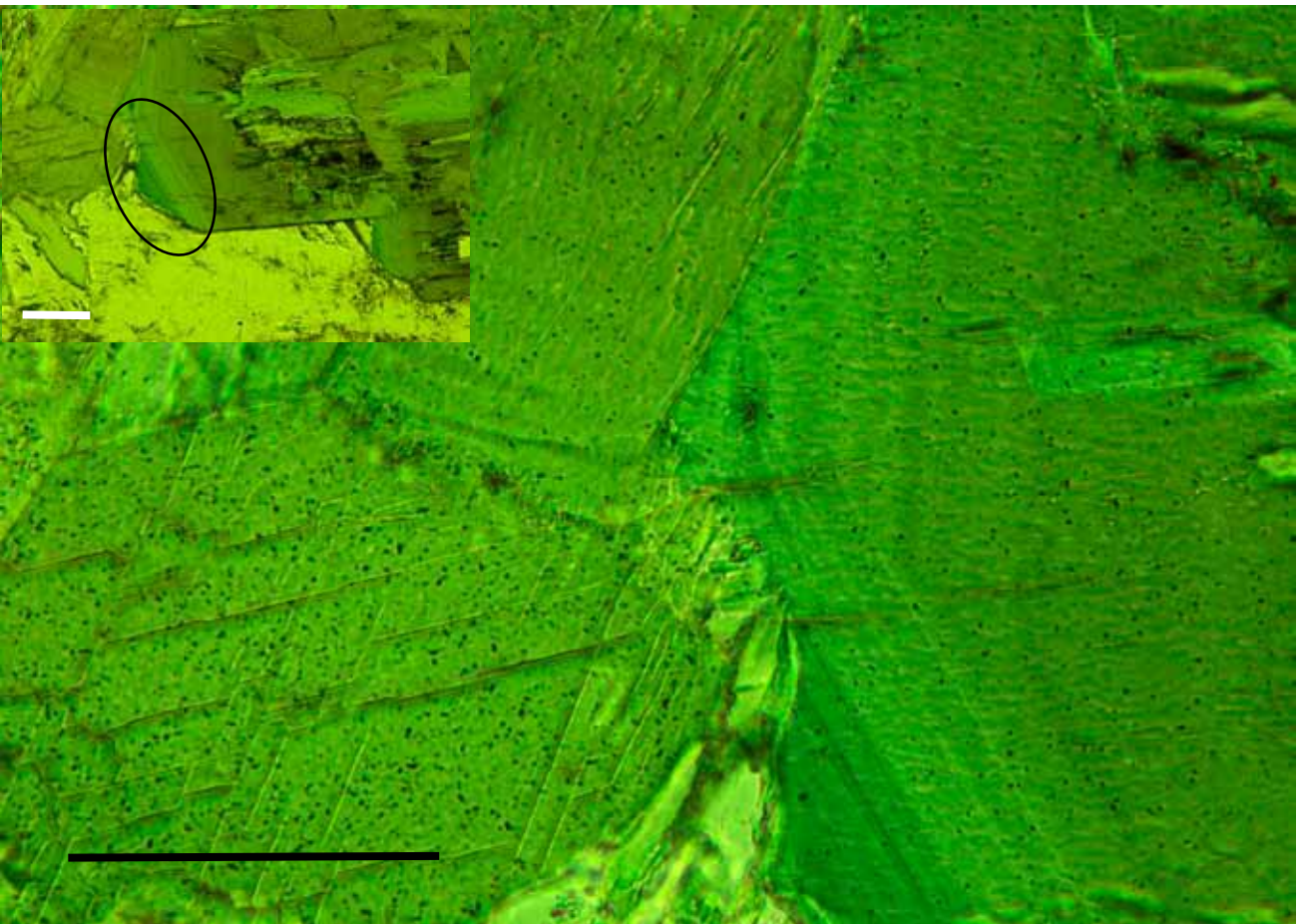
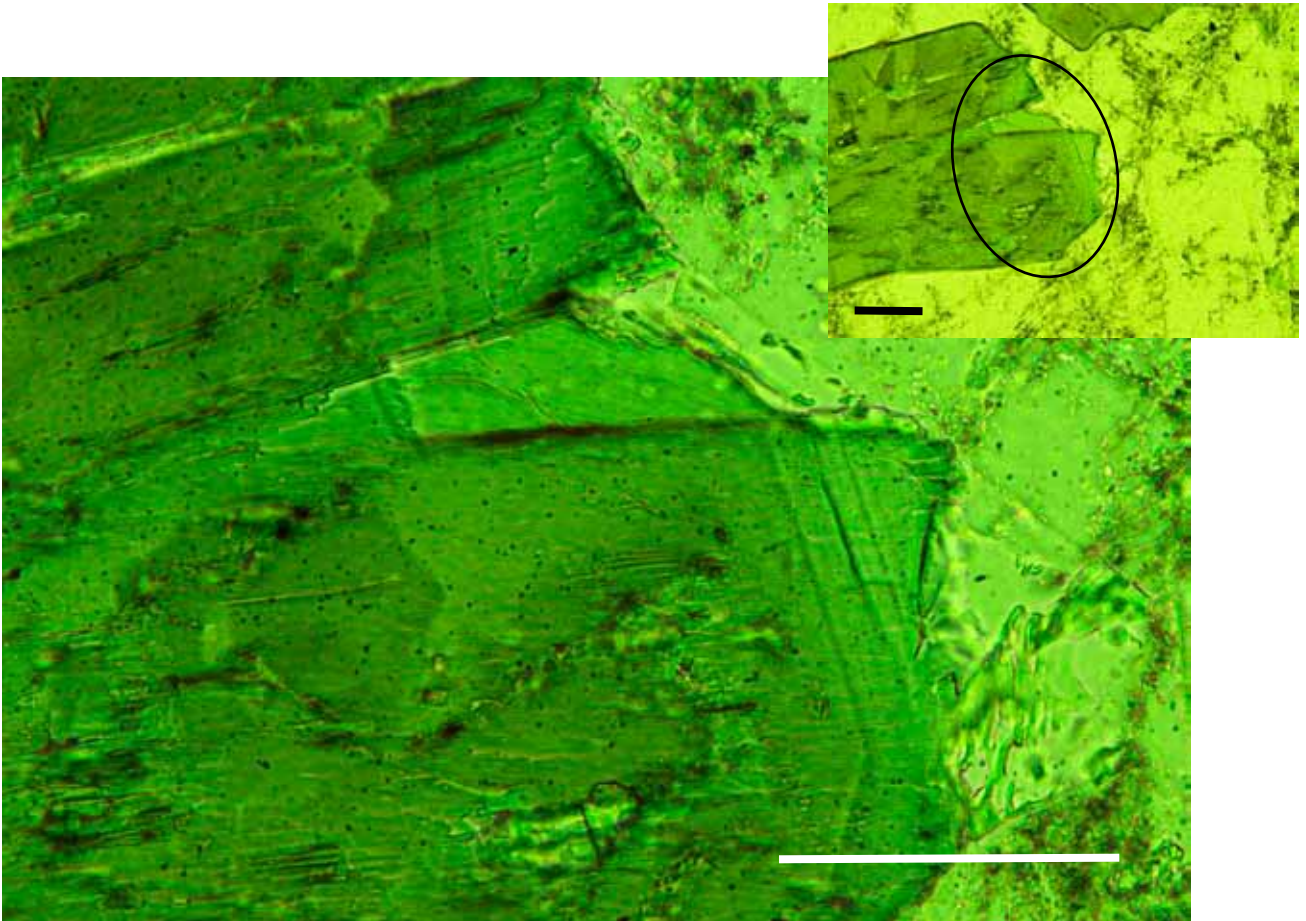


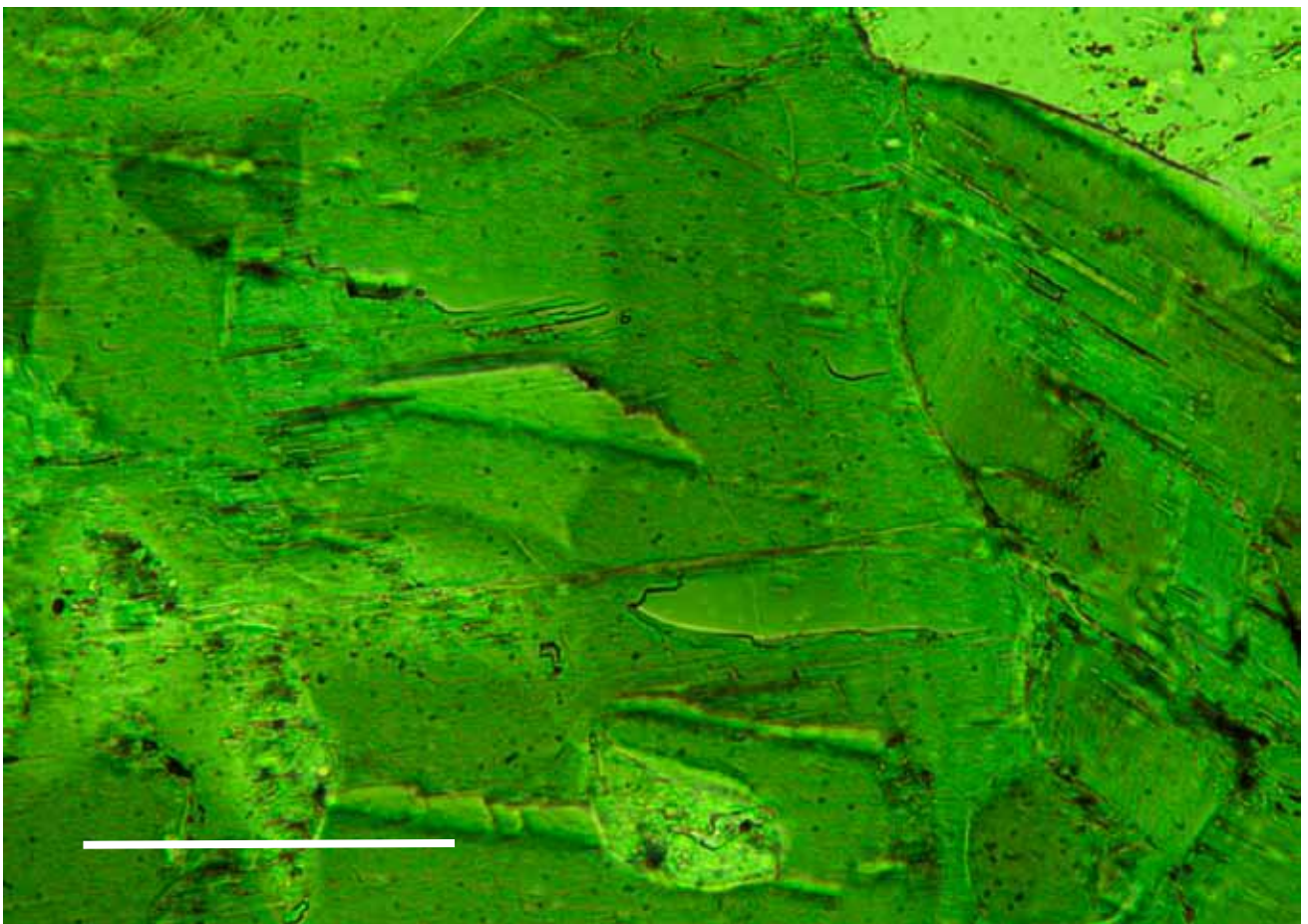
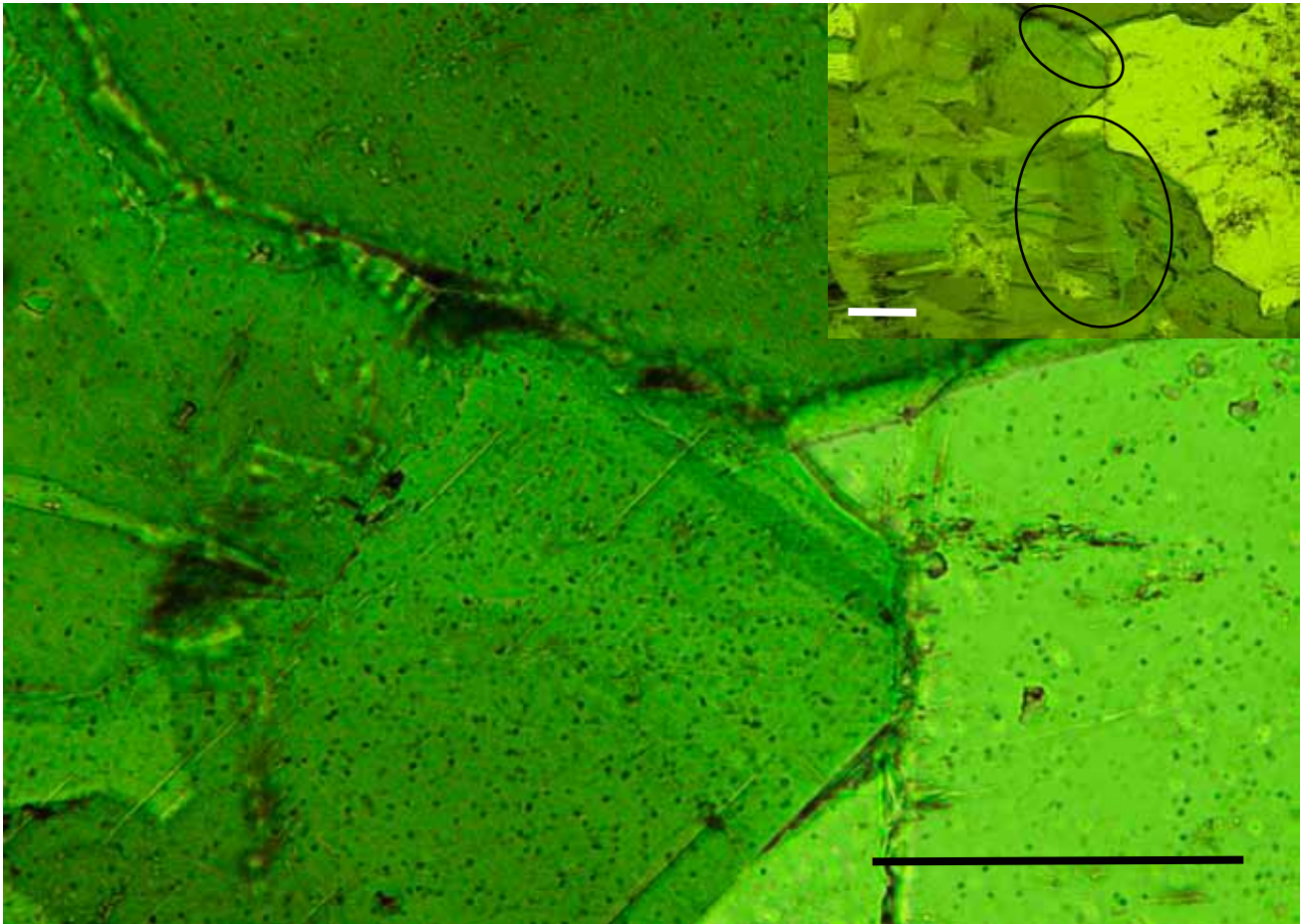


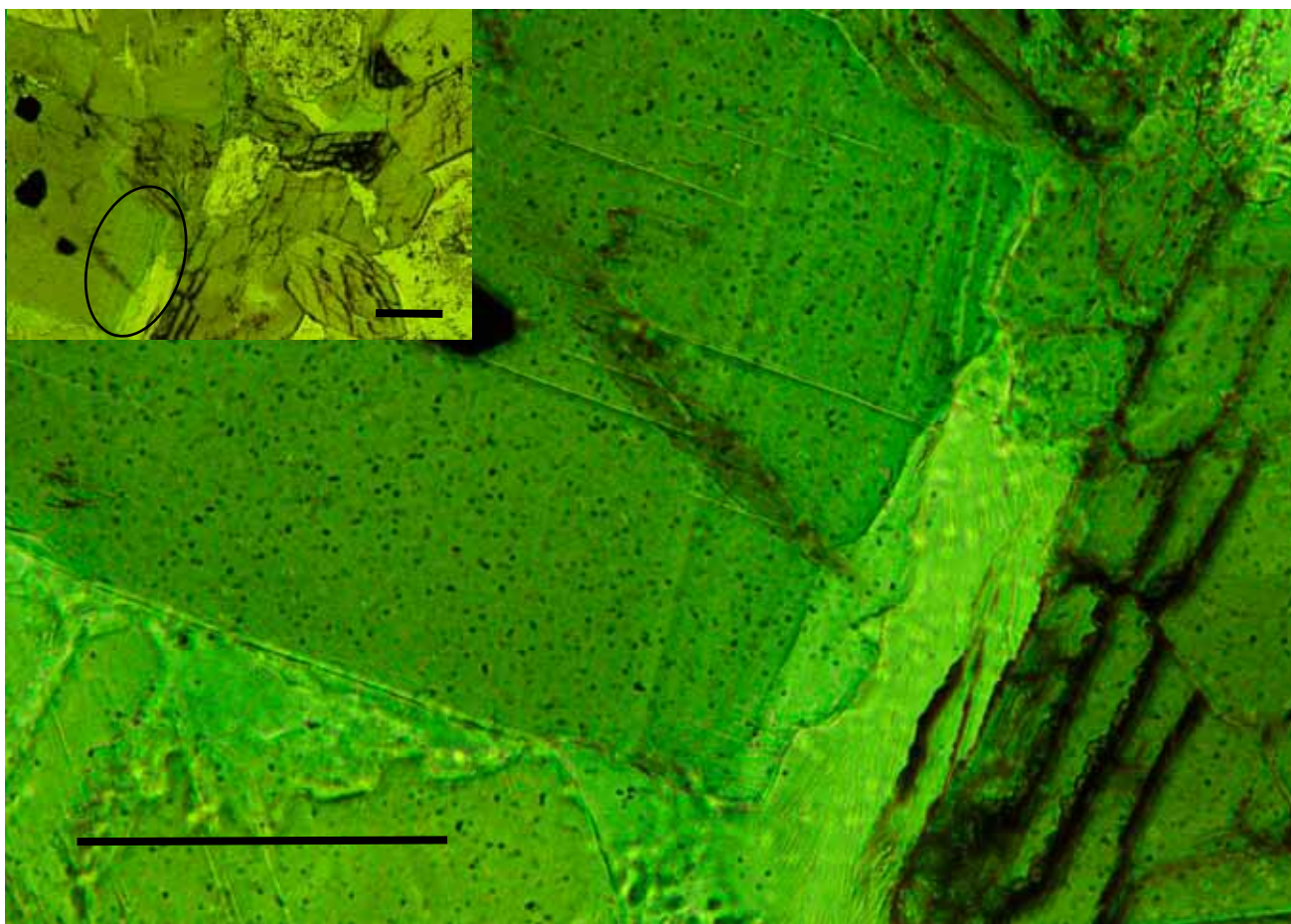
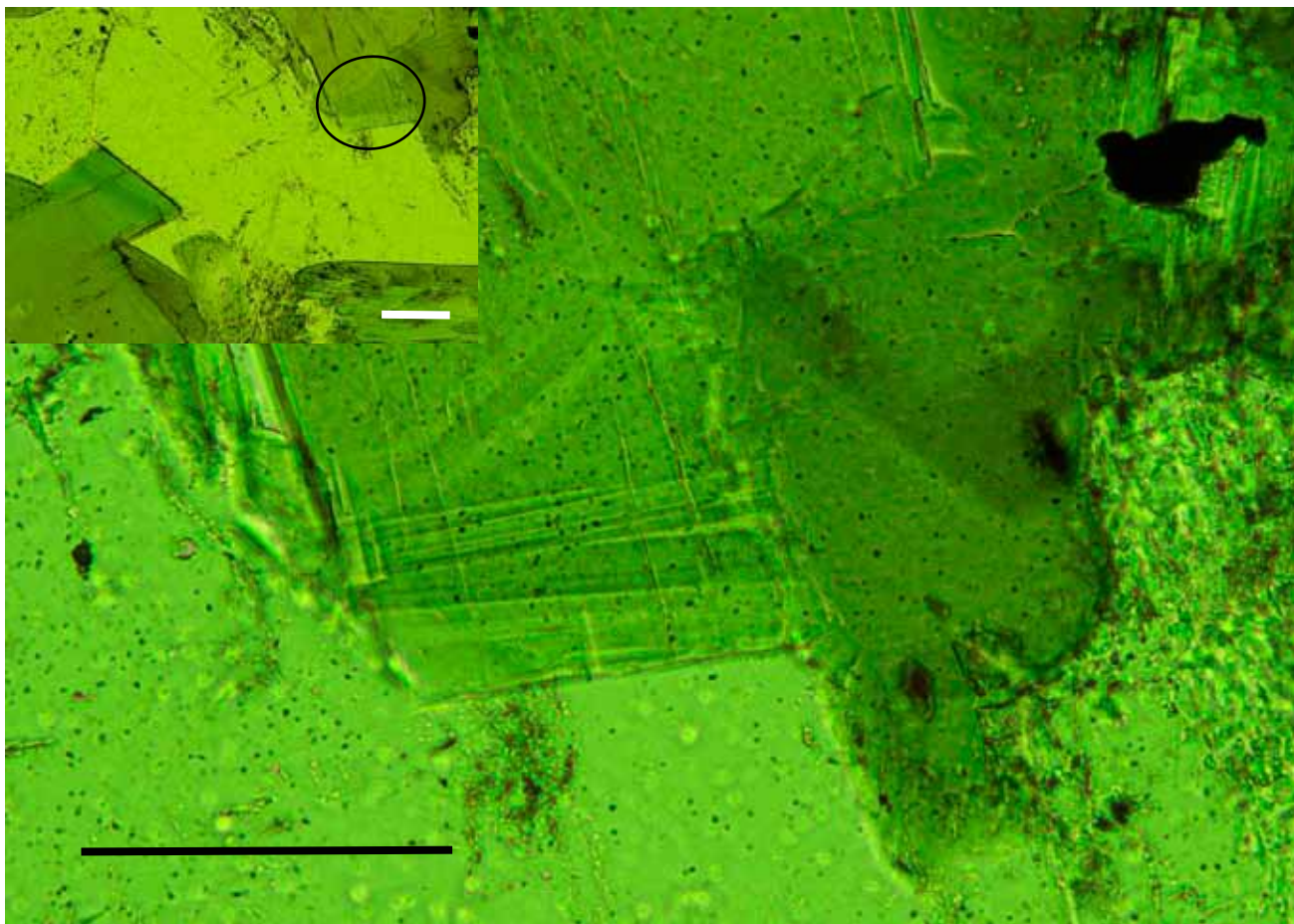












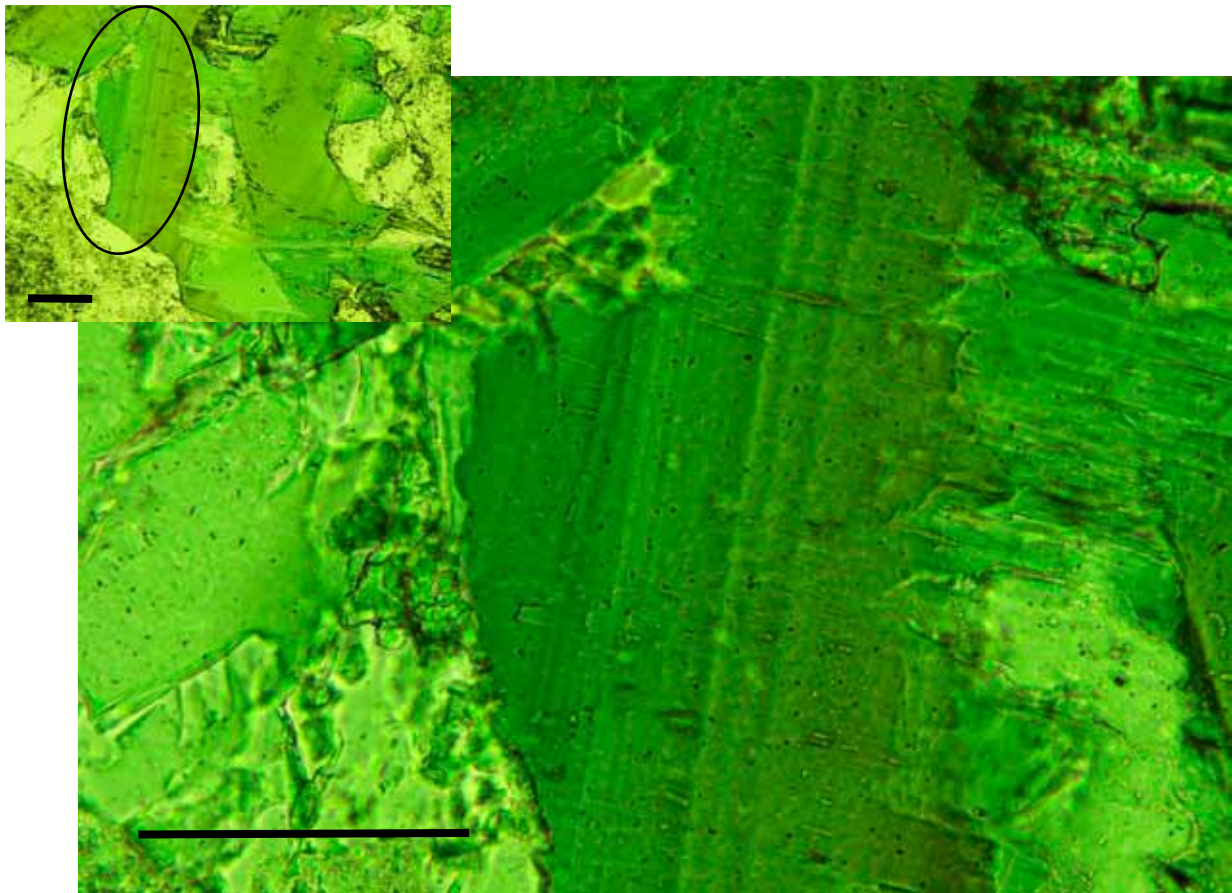
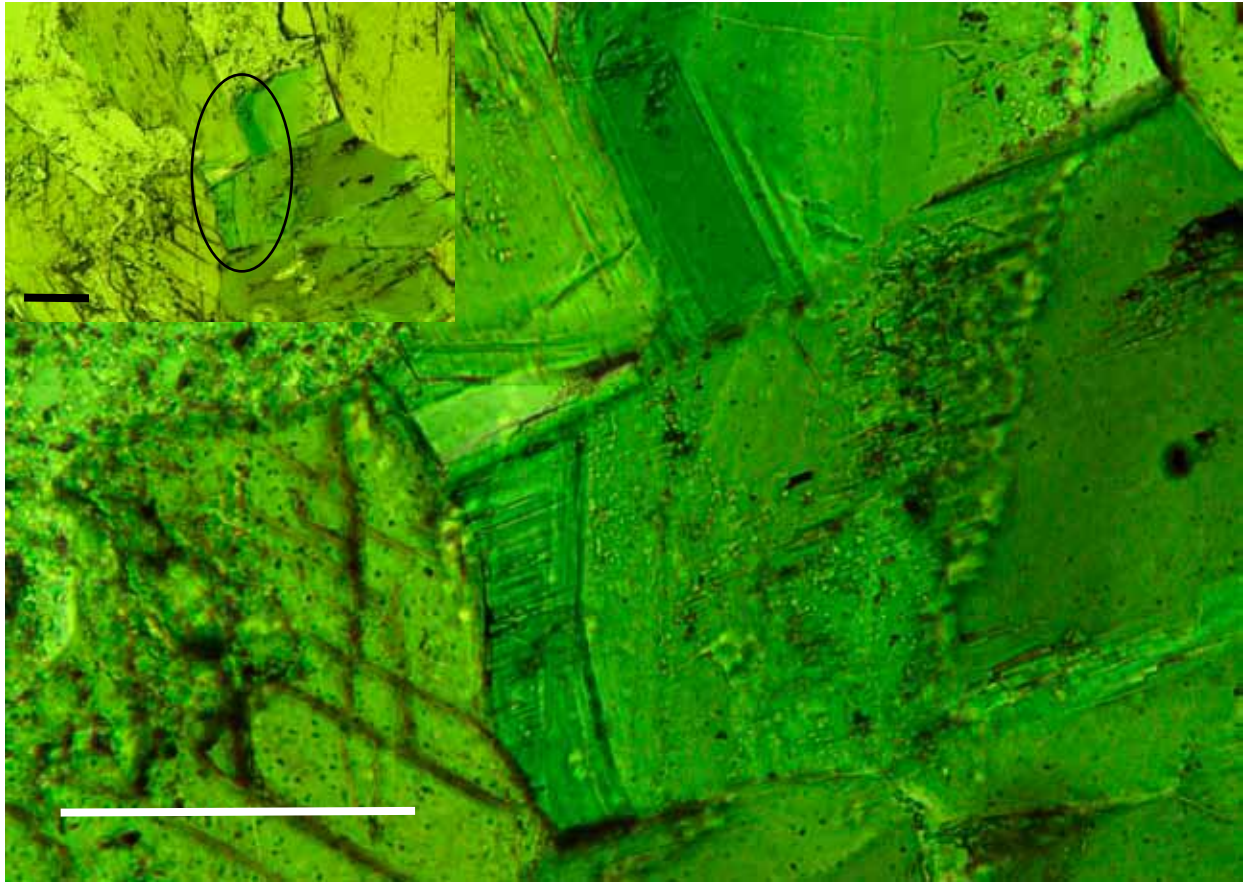
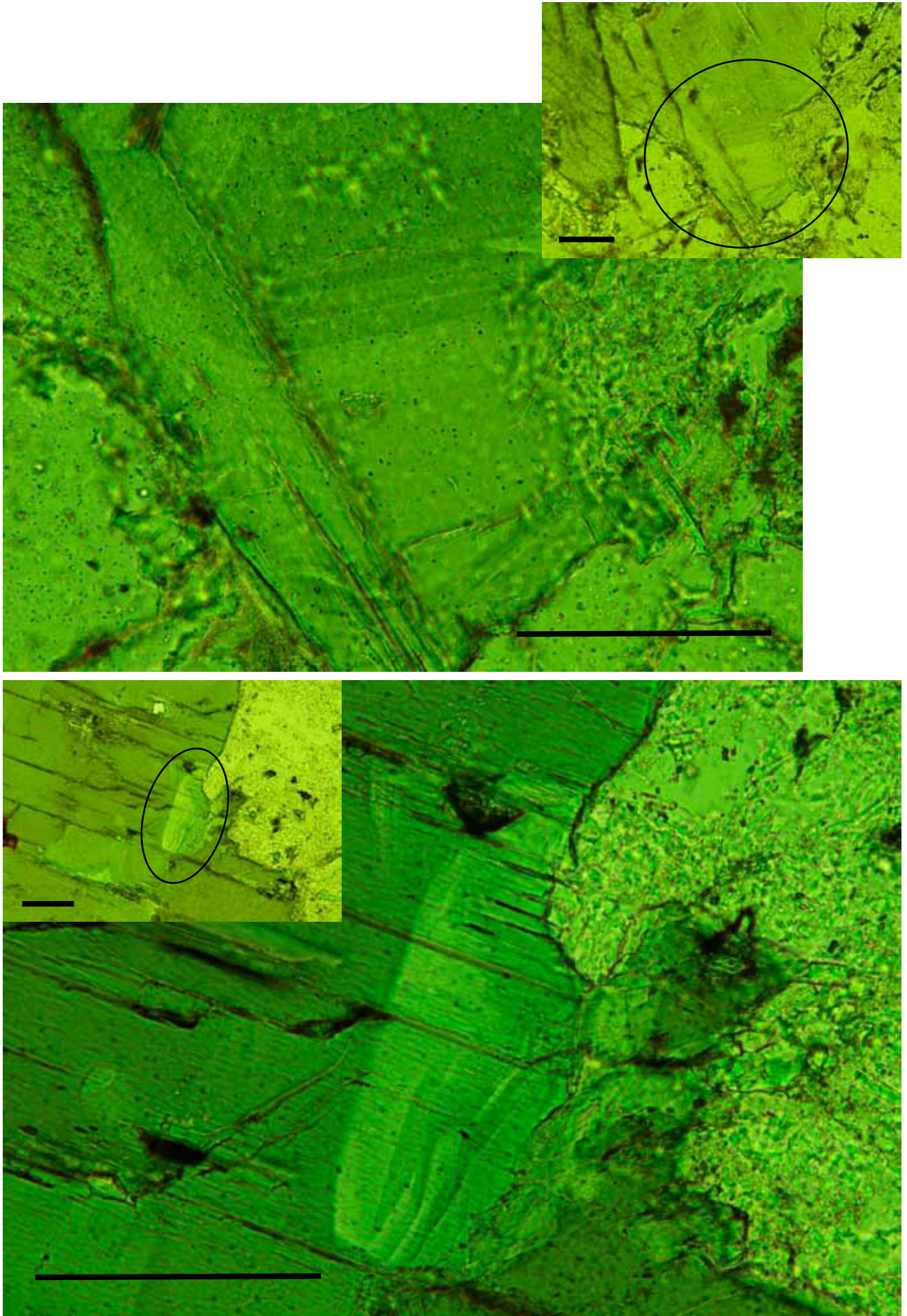
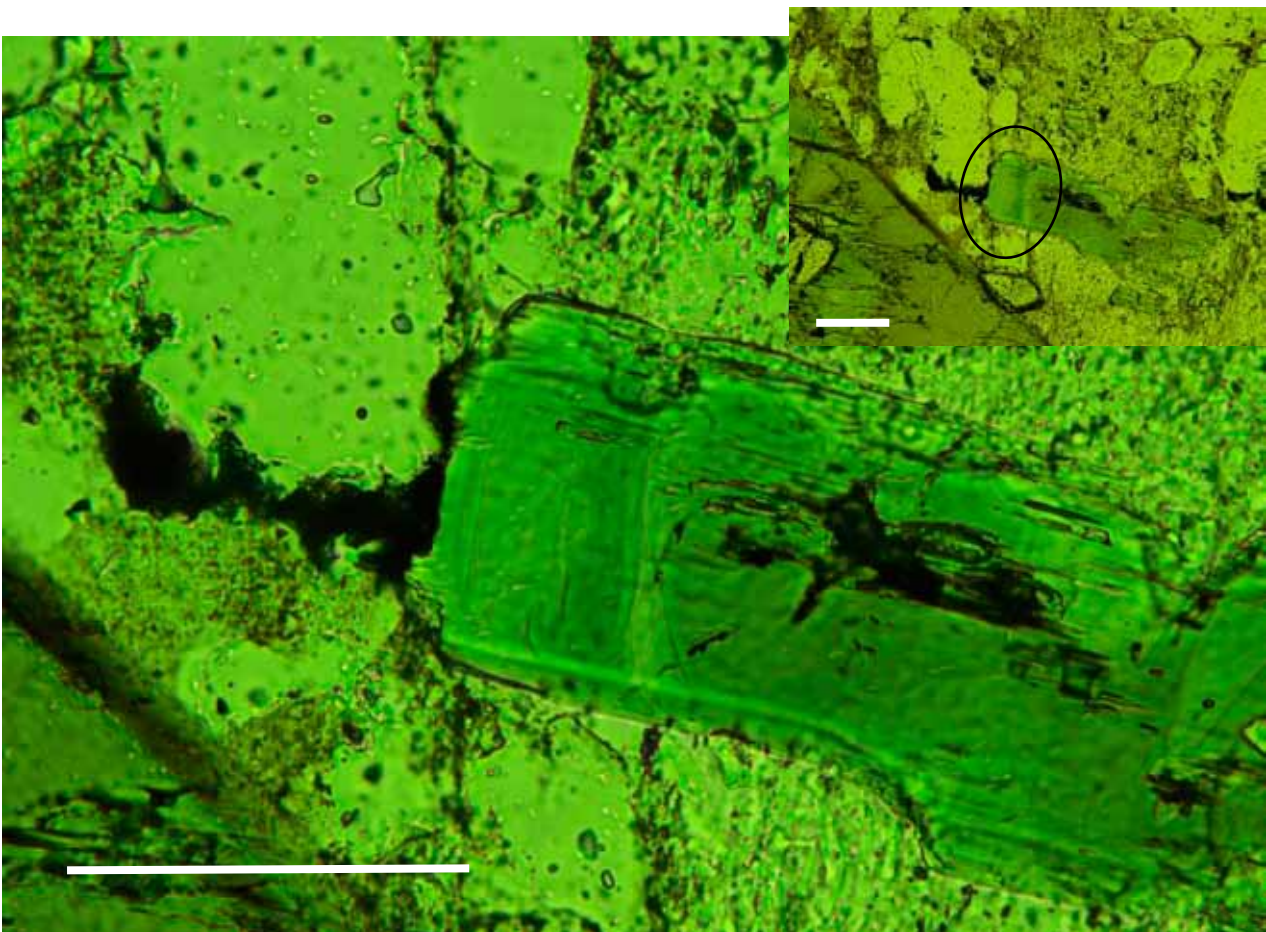
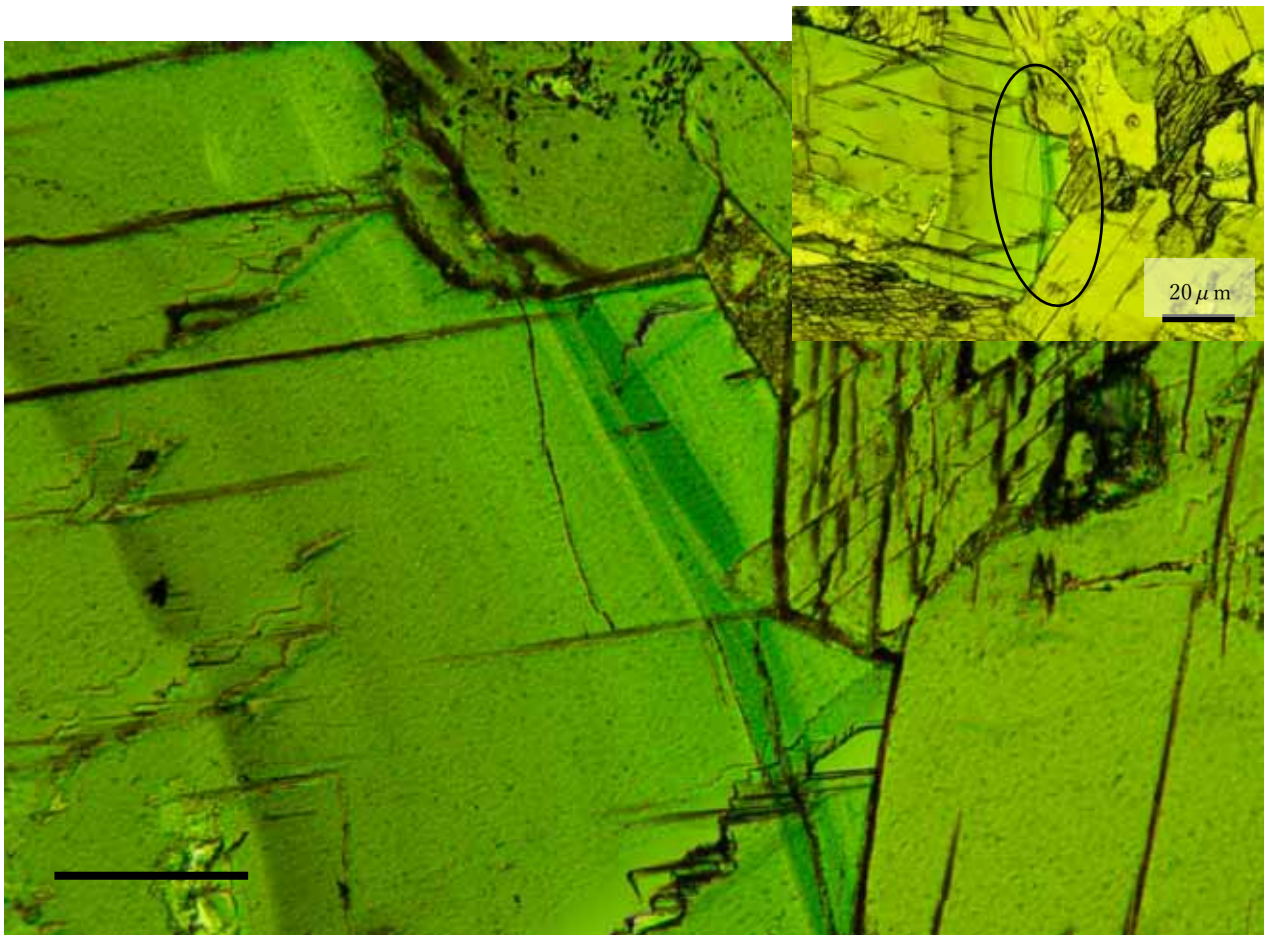
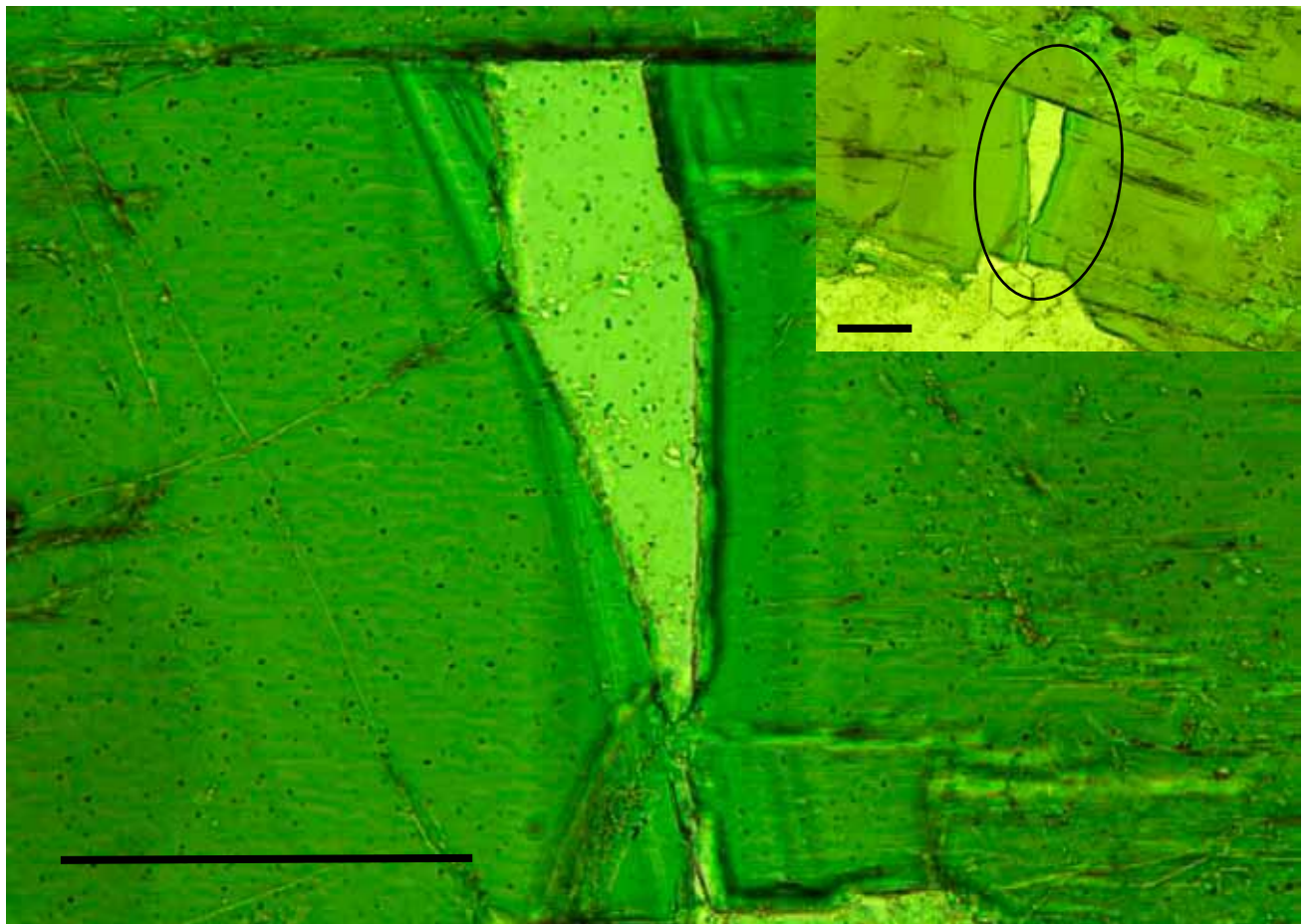
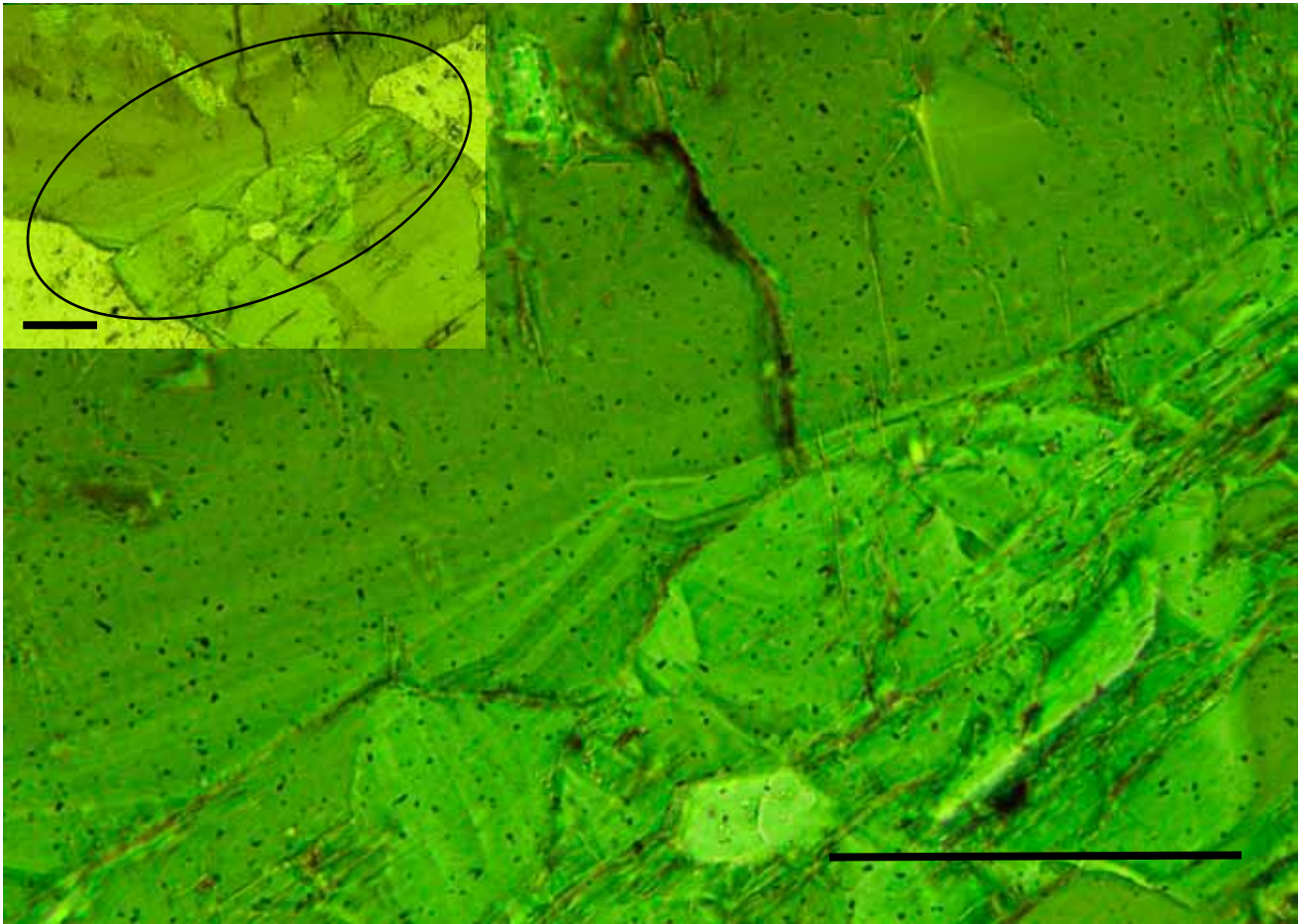
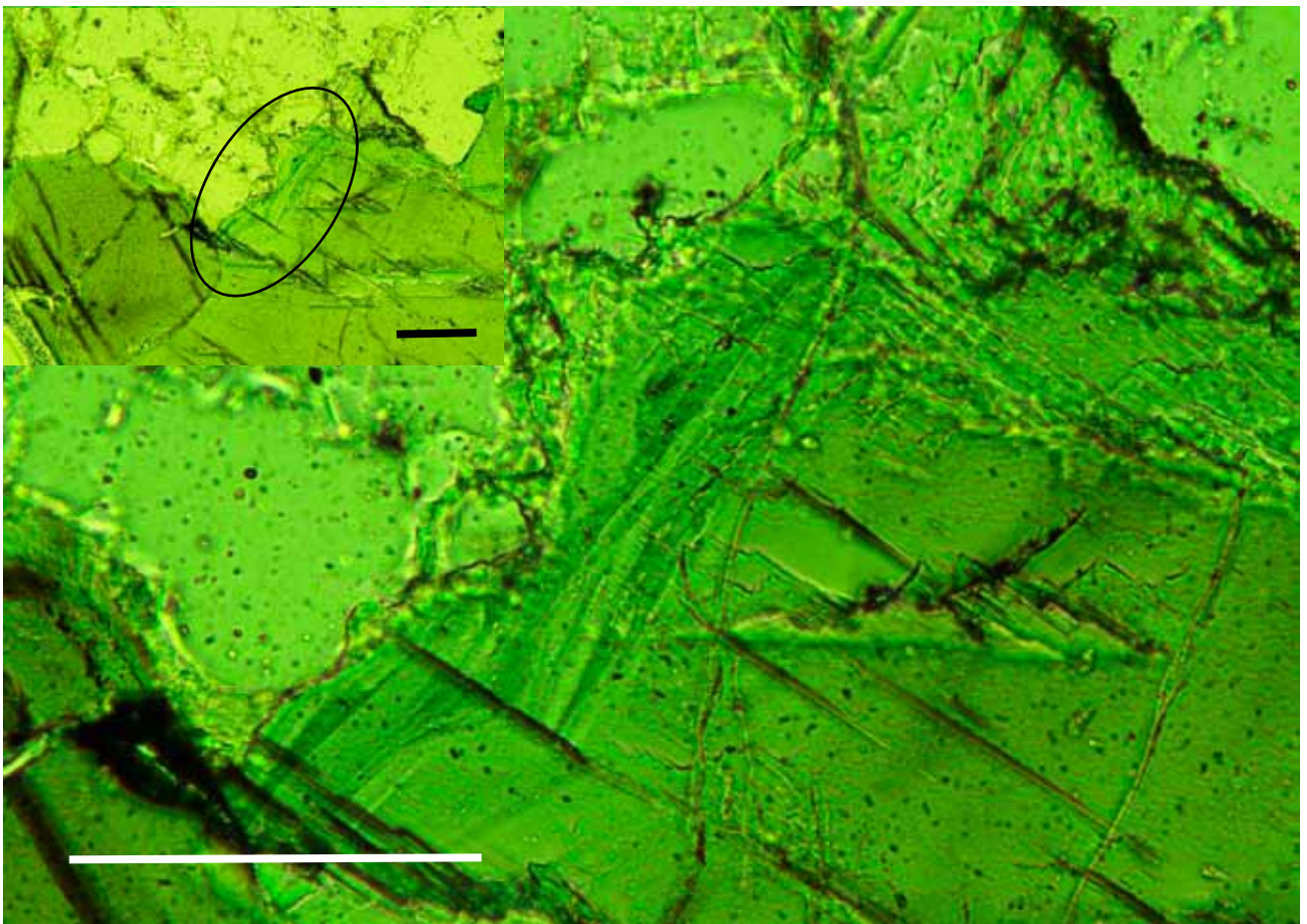
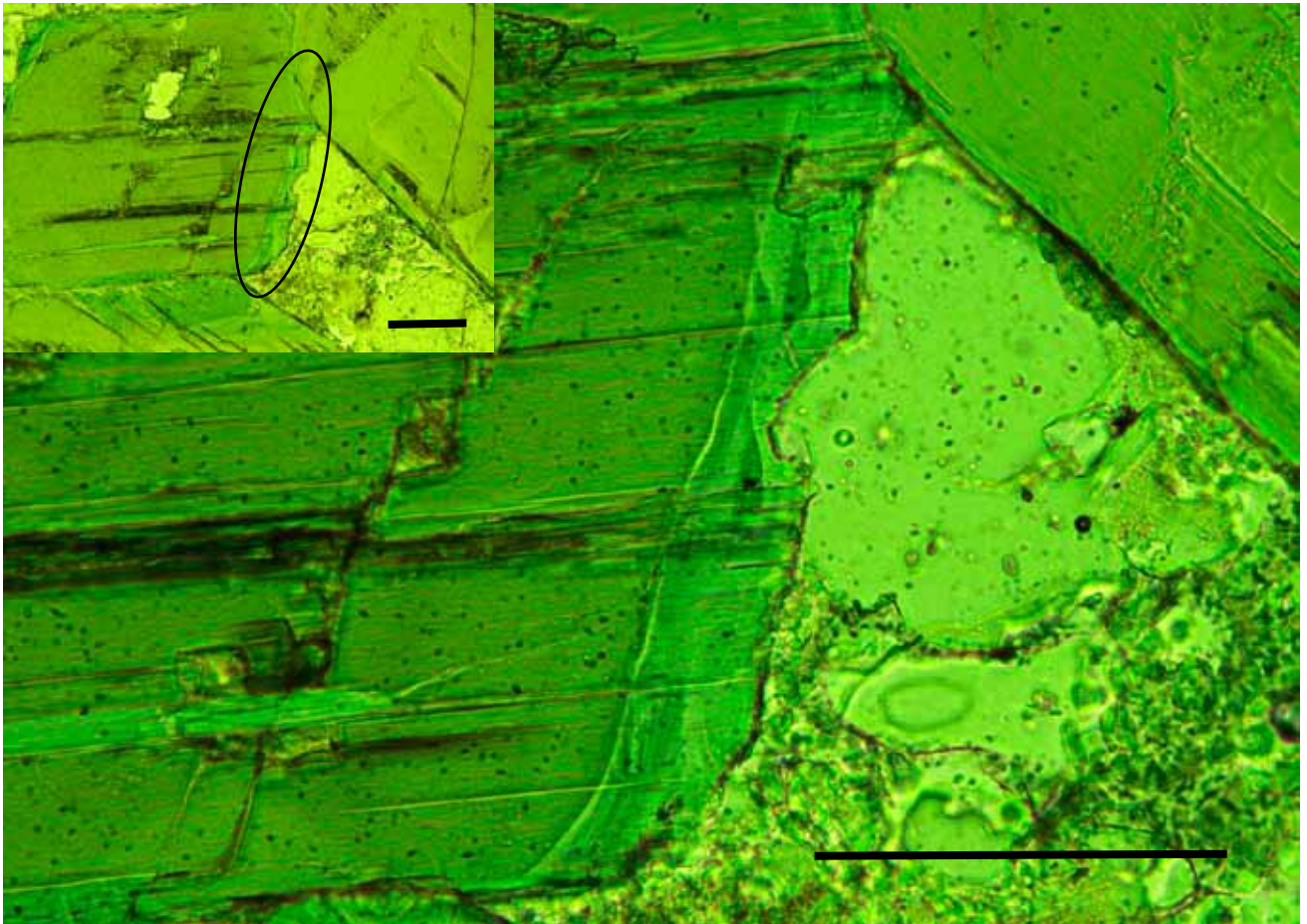


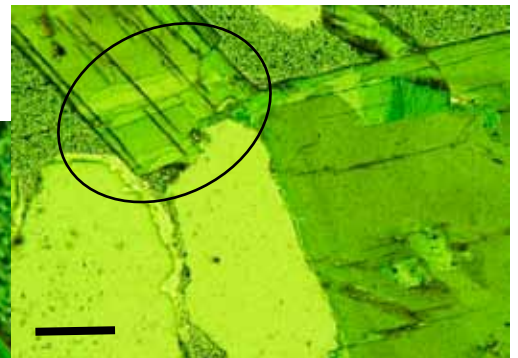
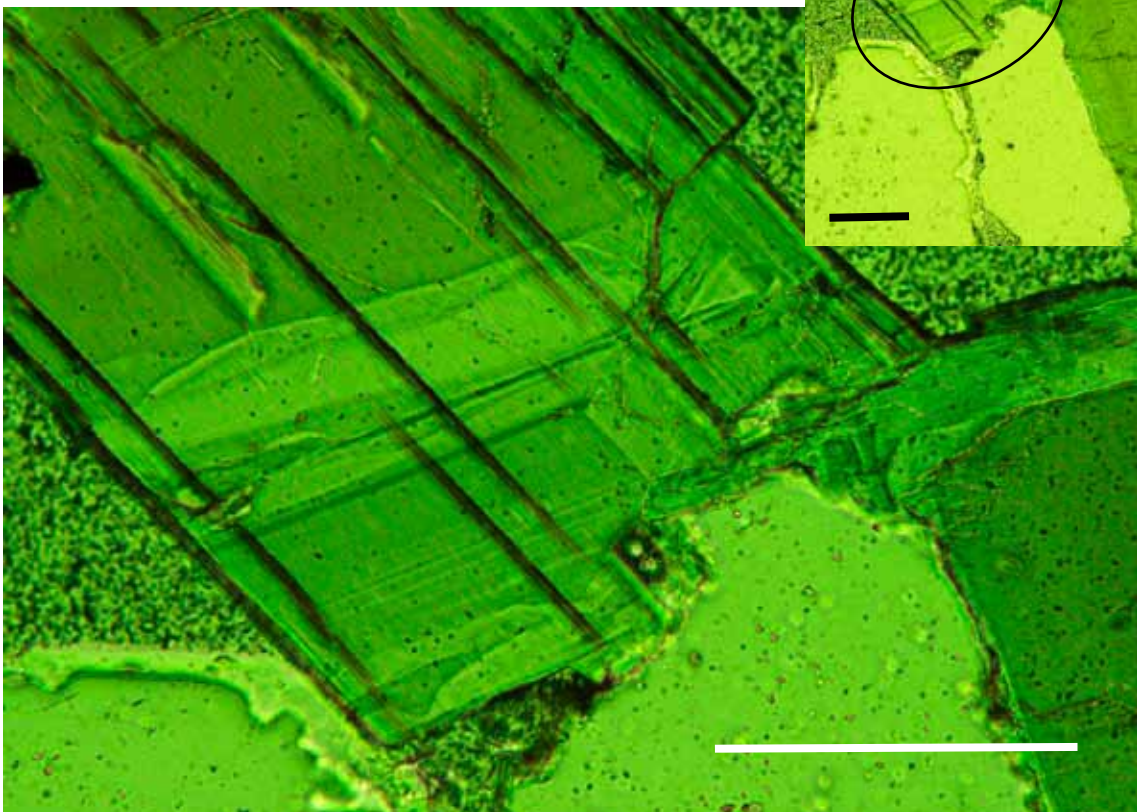
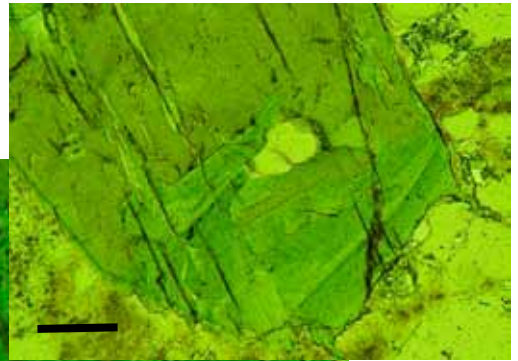
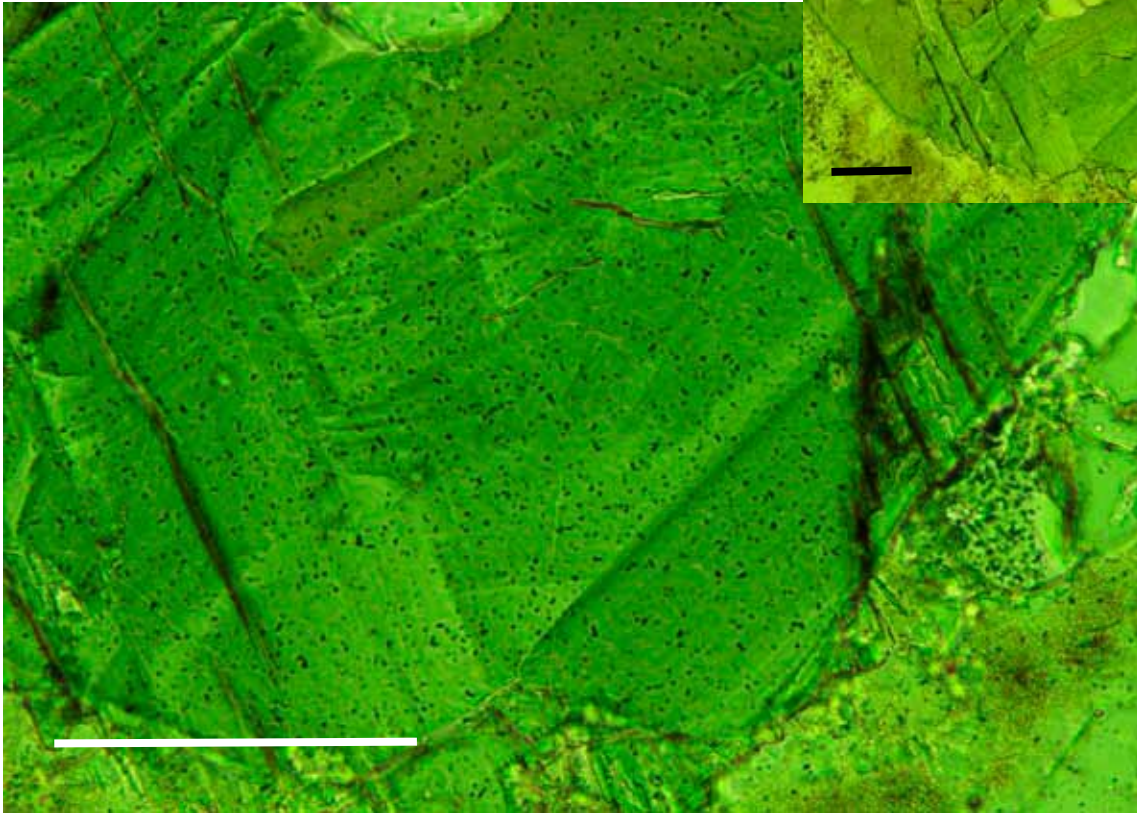
図 28 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造 (試料 240127-5/オープンニコル)
(左 200 倍、右 400 倍 : スケールバー 10 μ m)

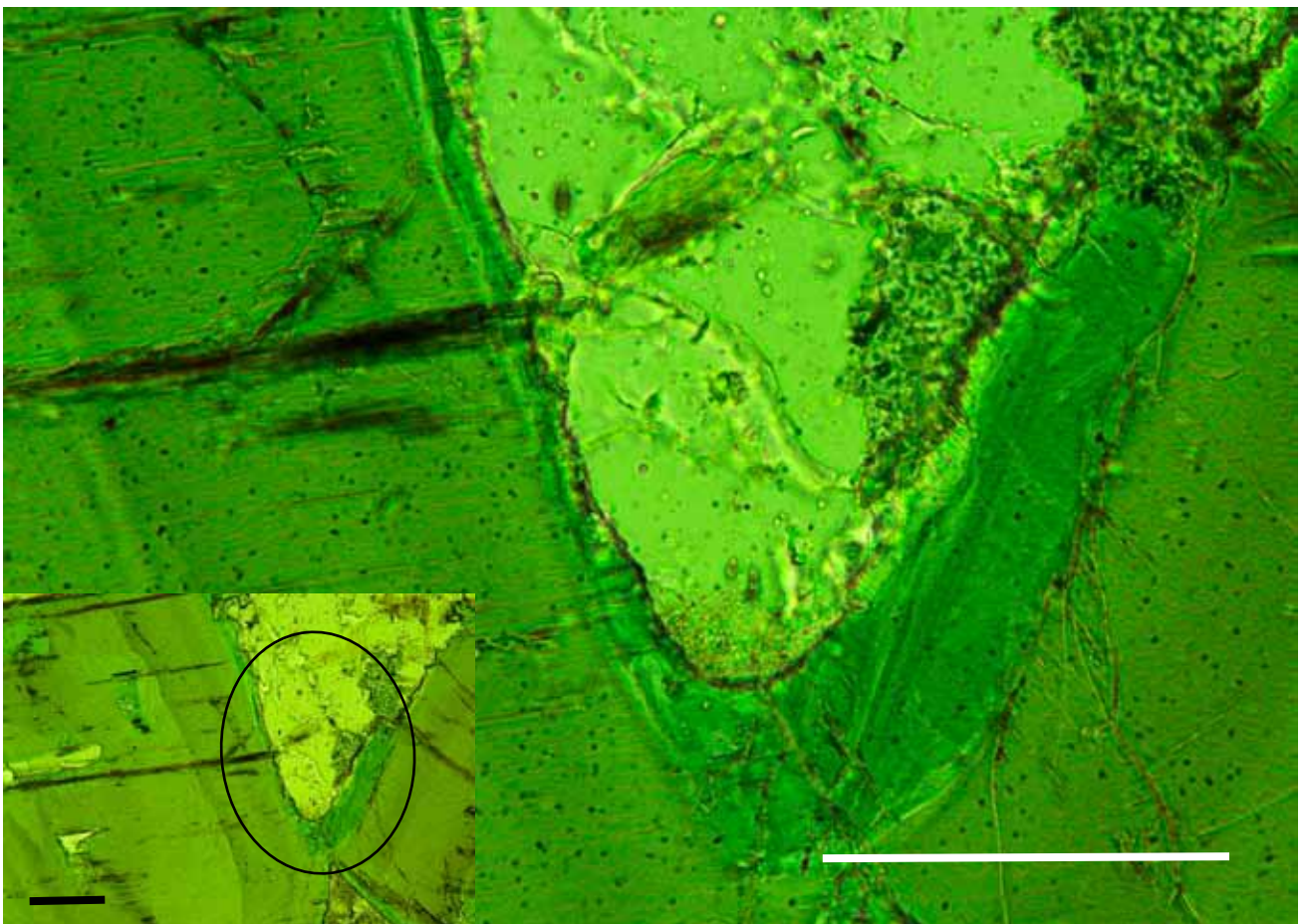
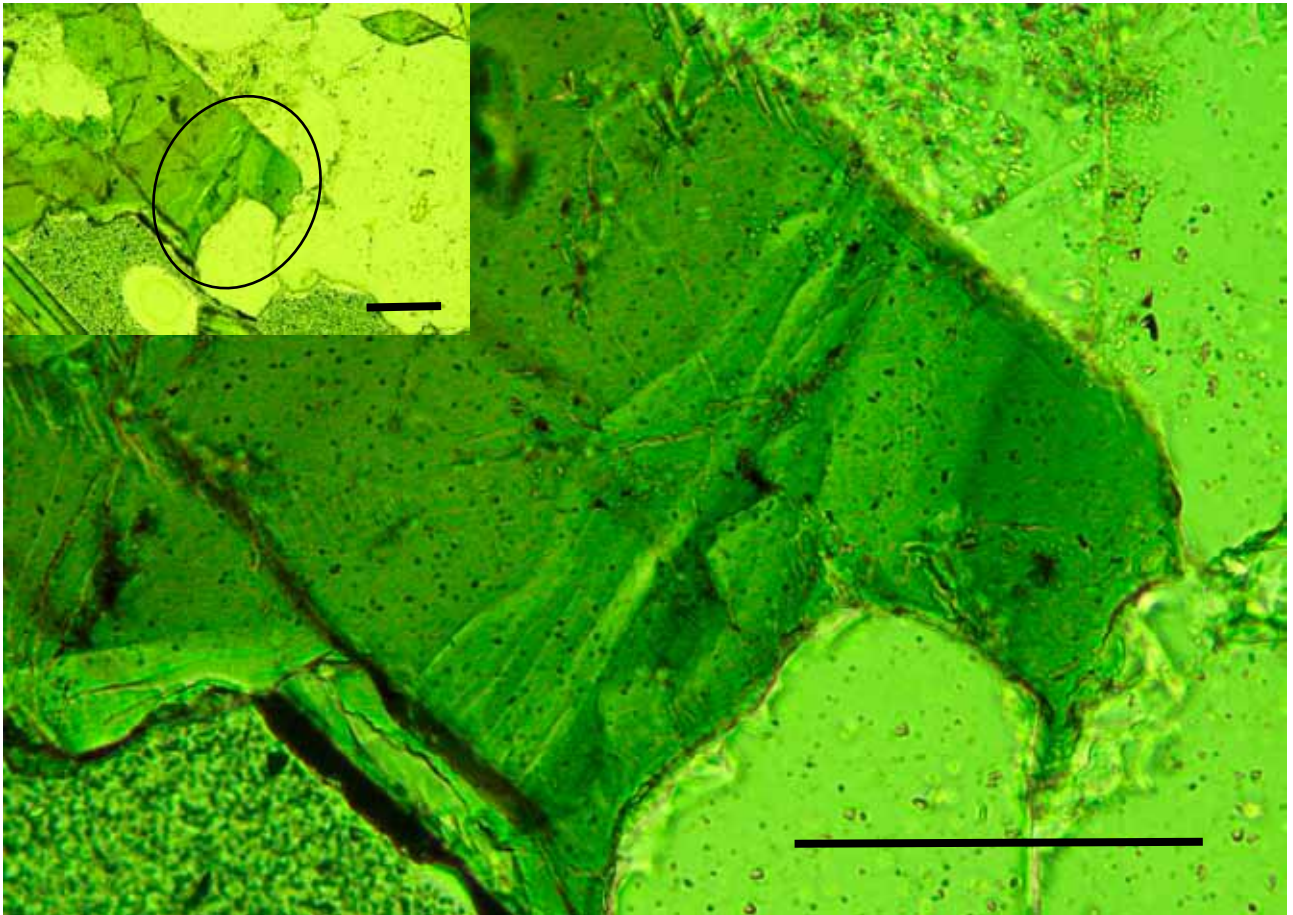


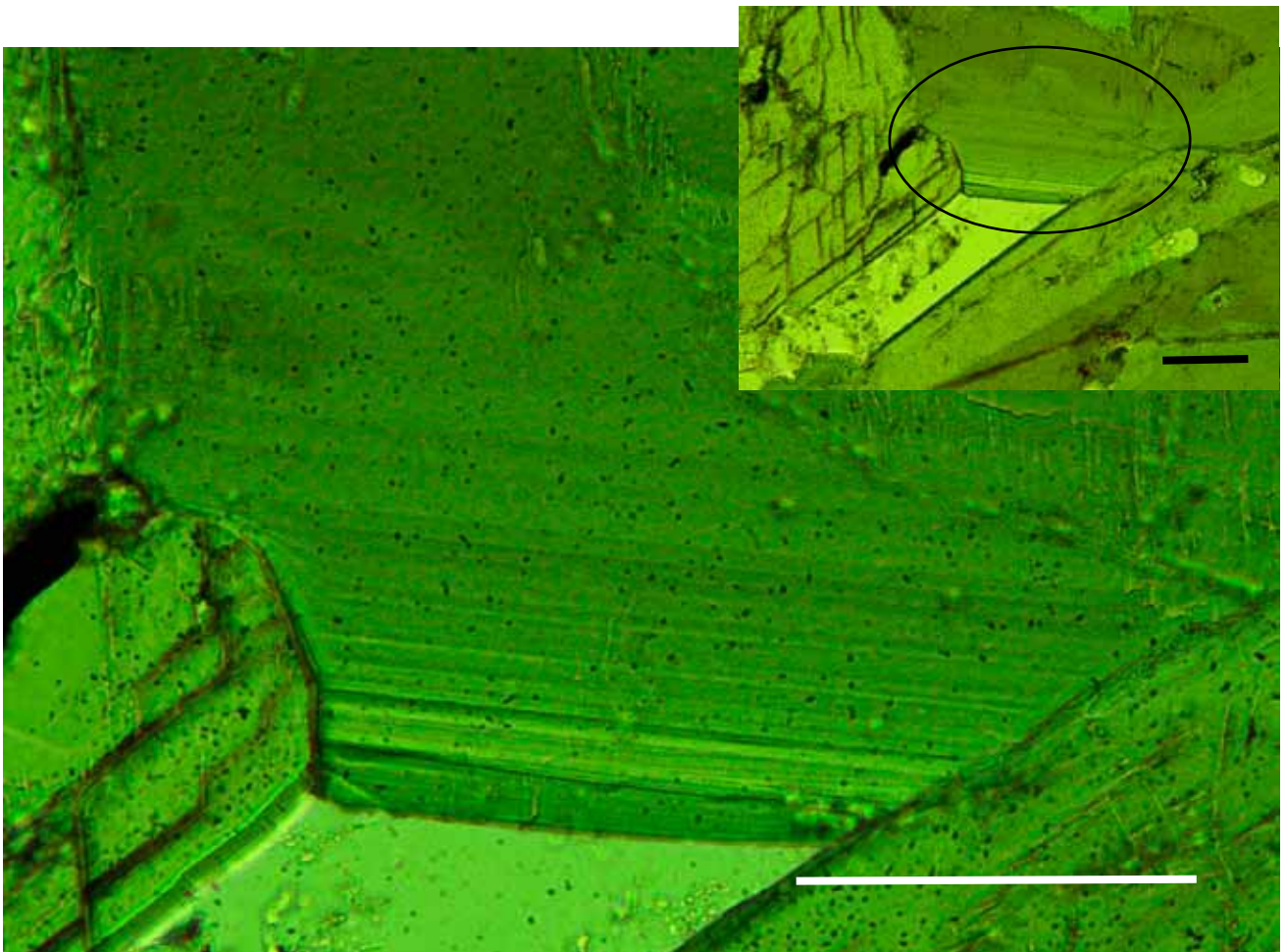
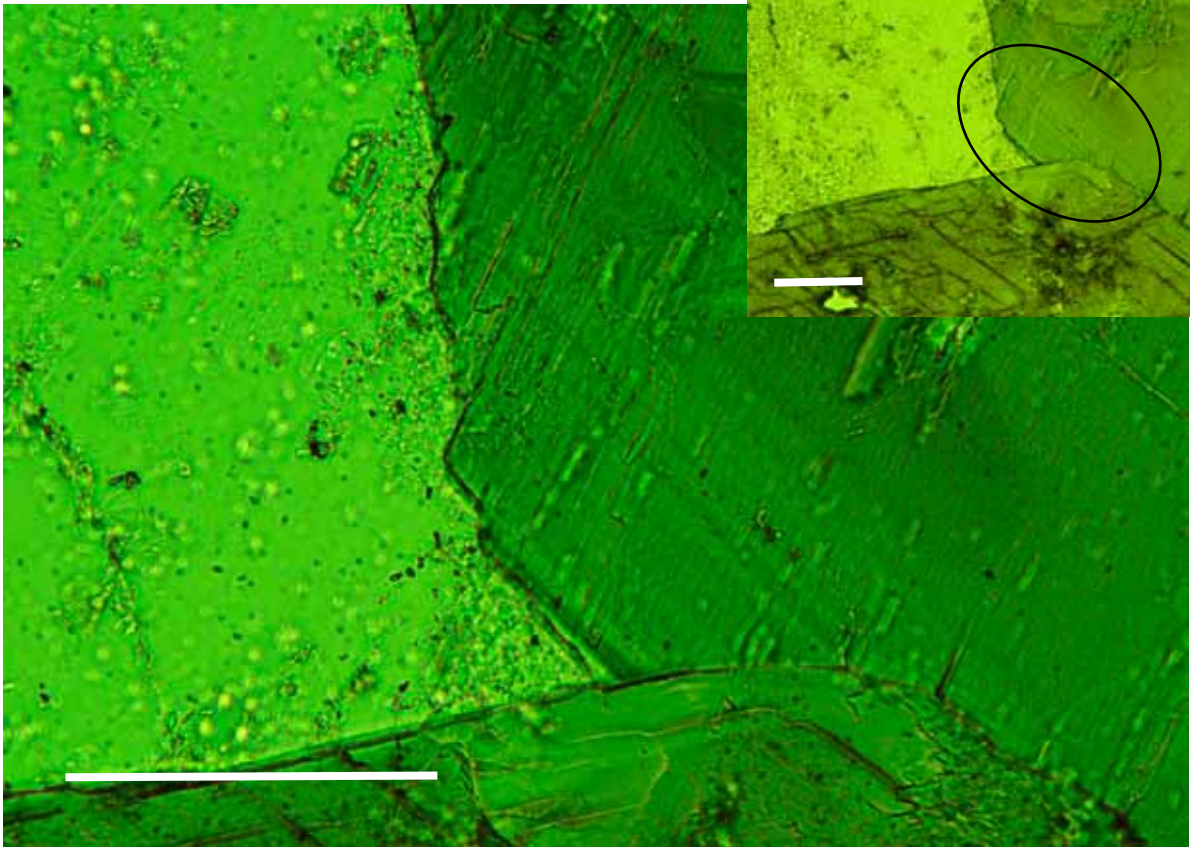


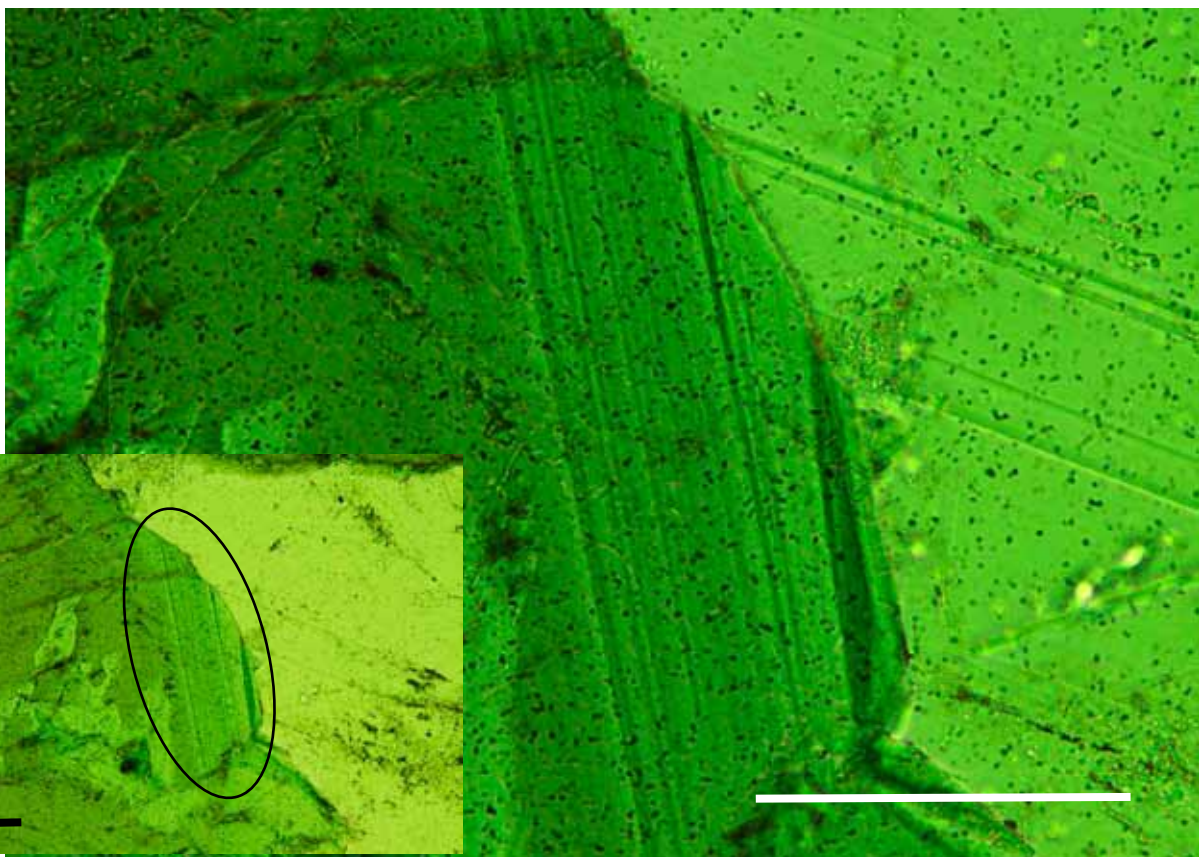
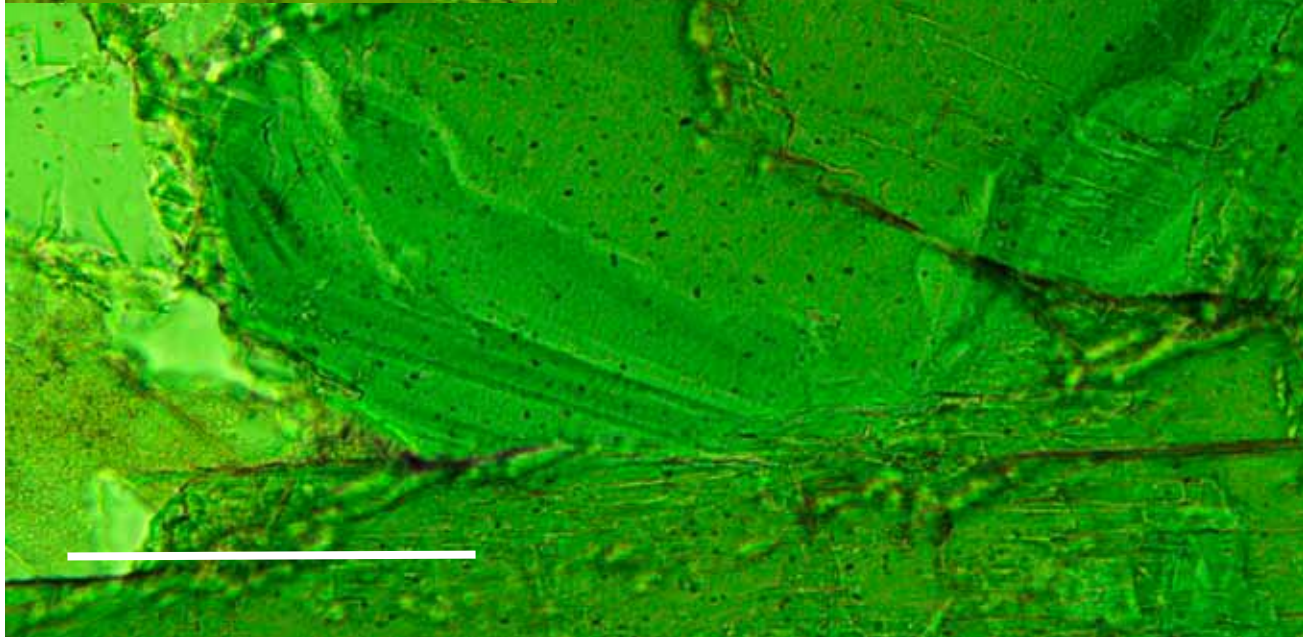












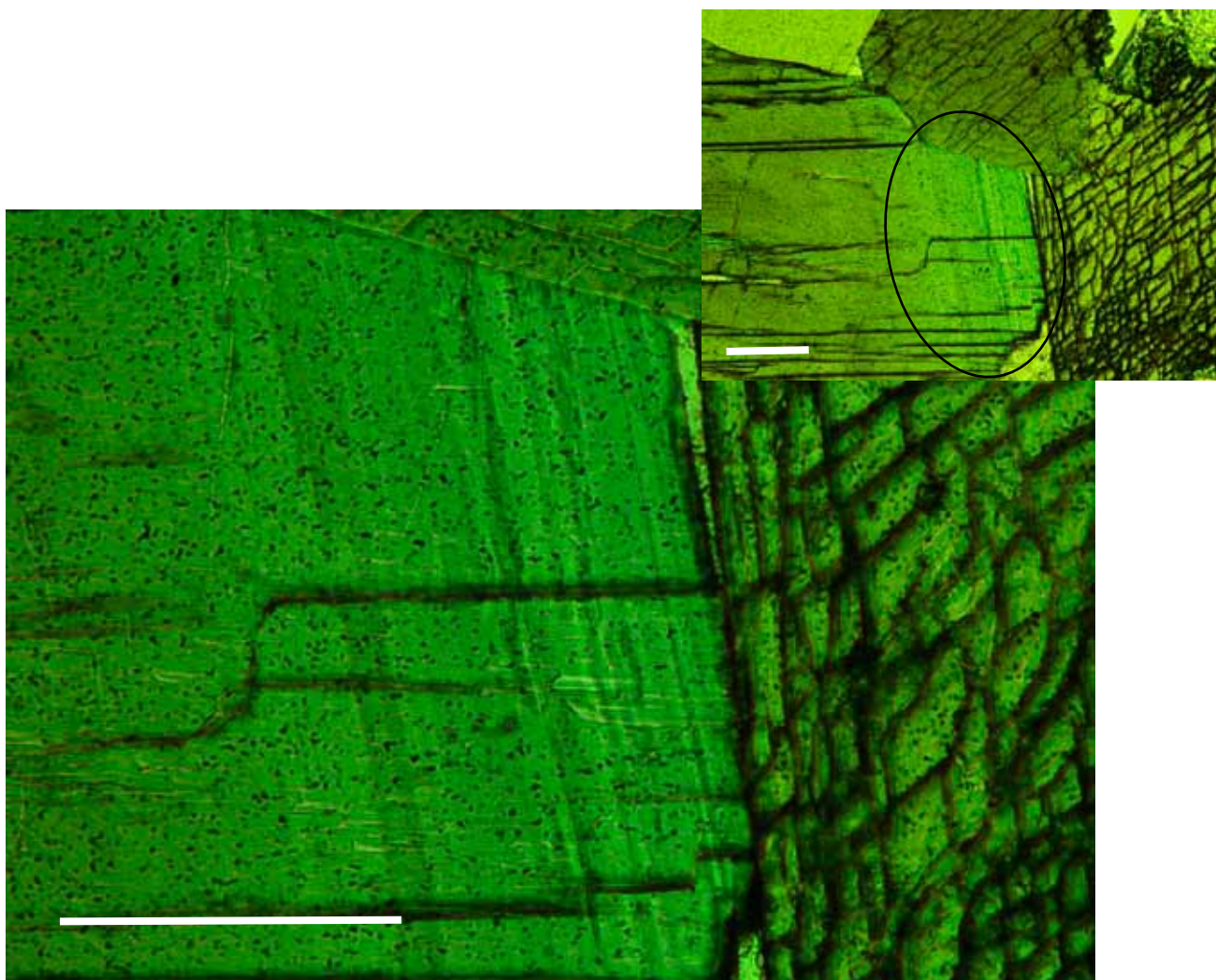
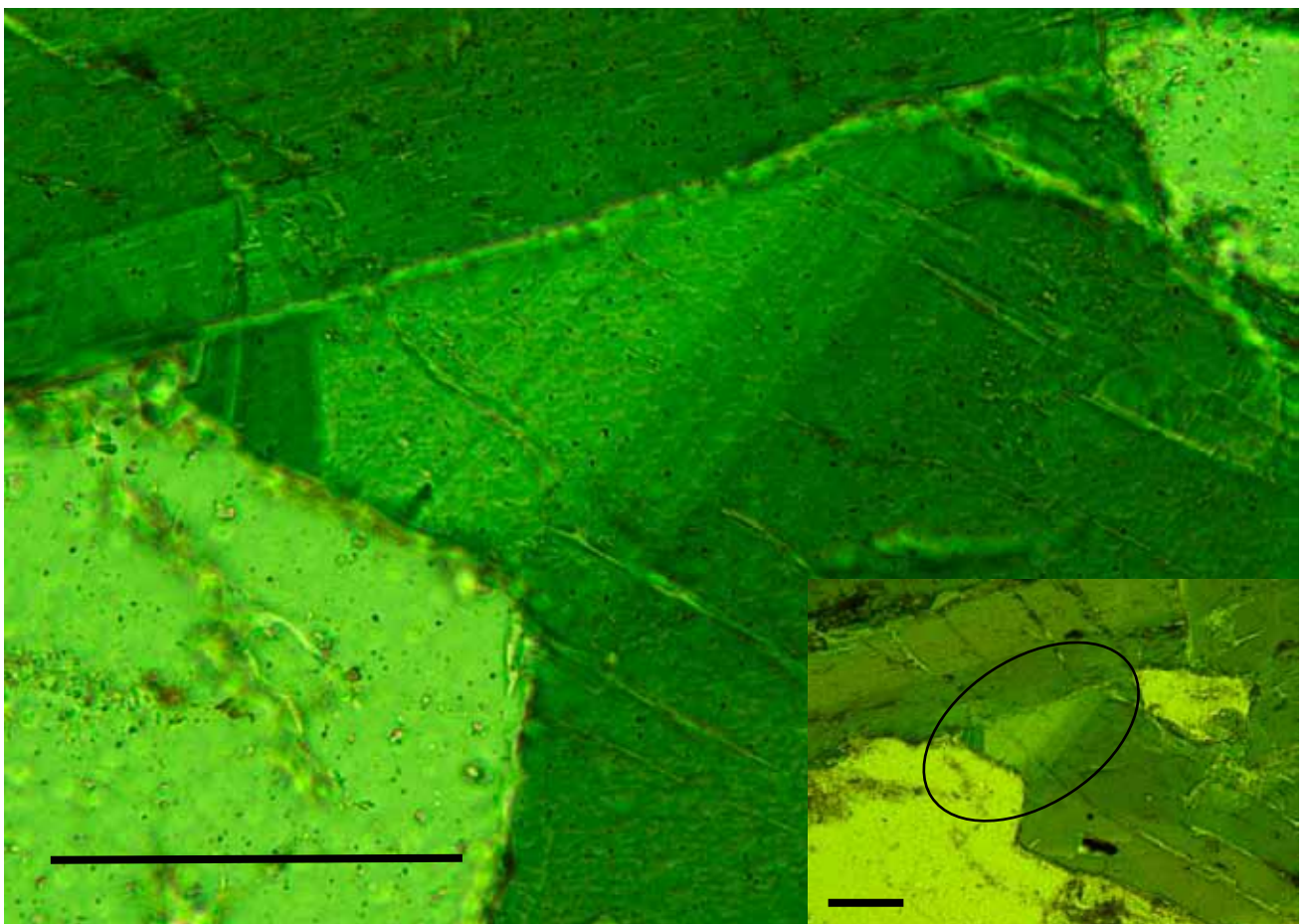
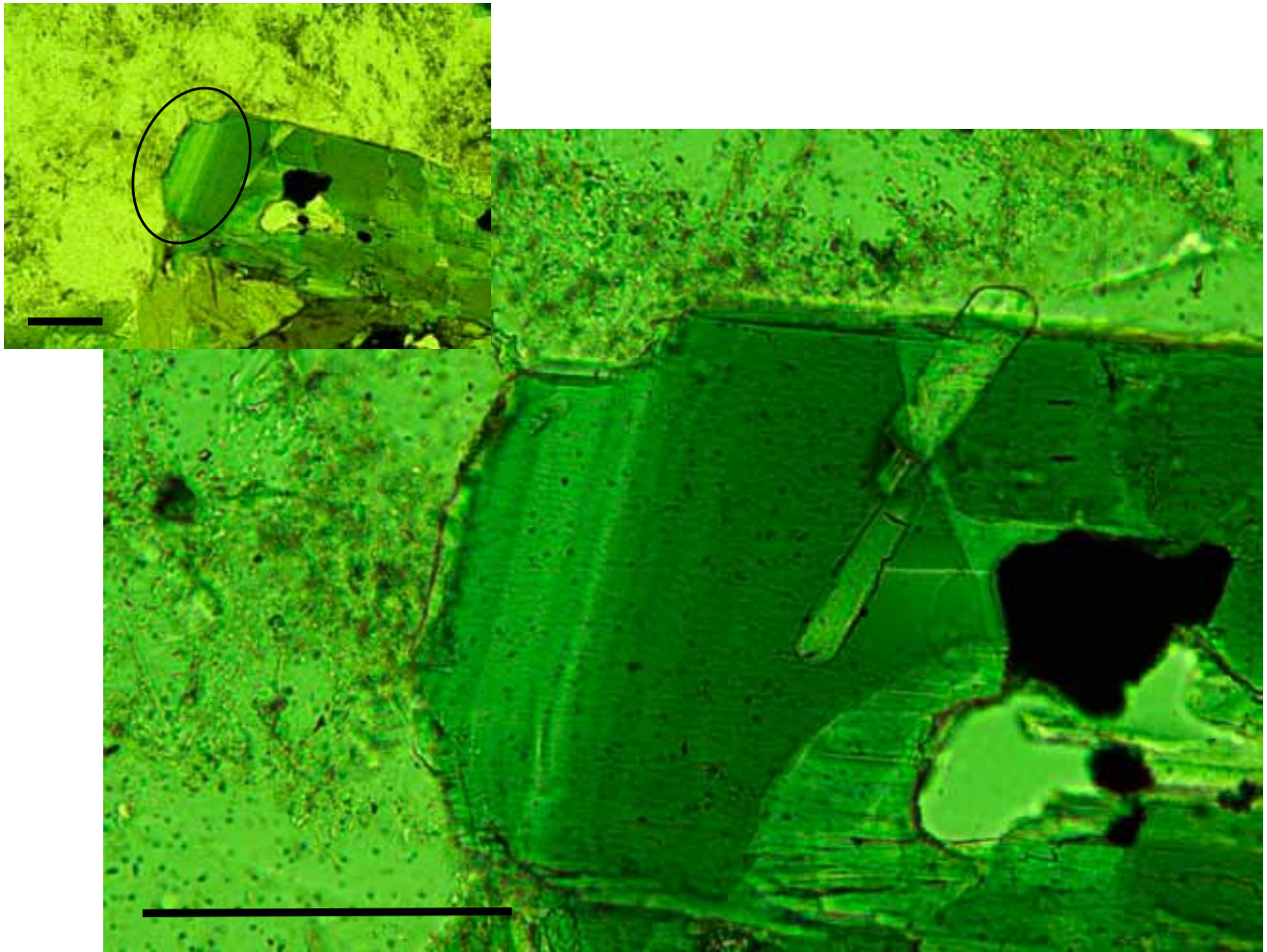
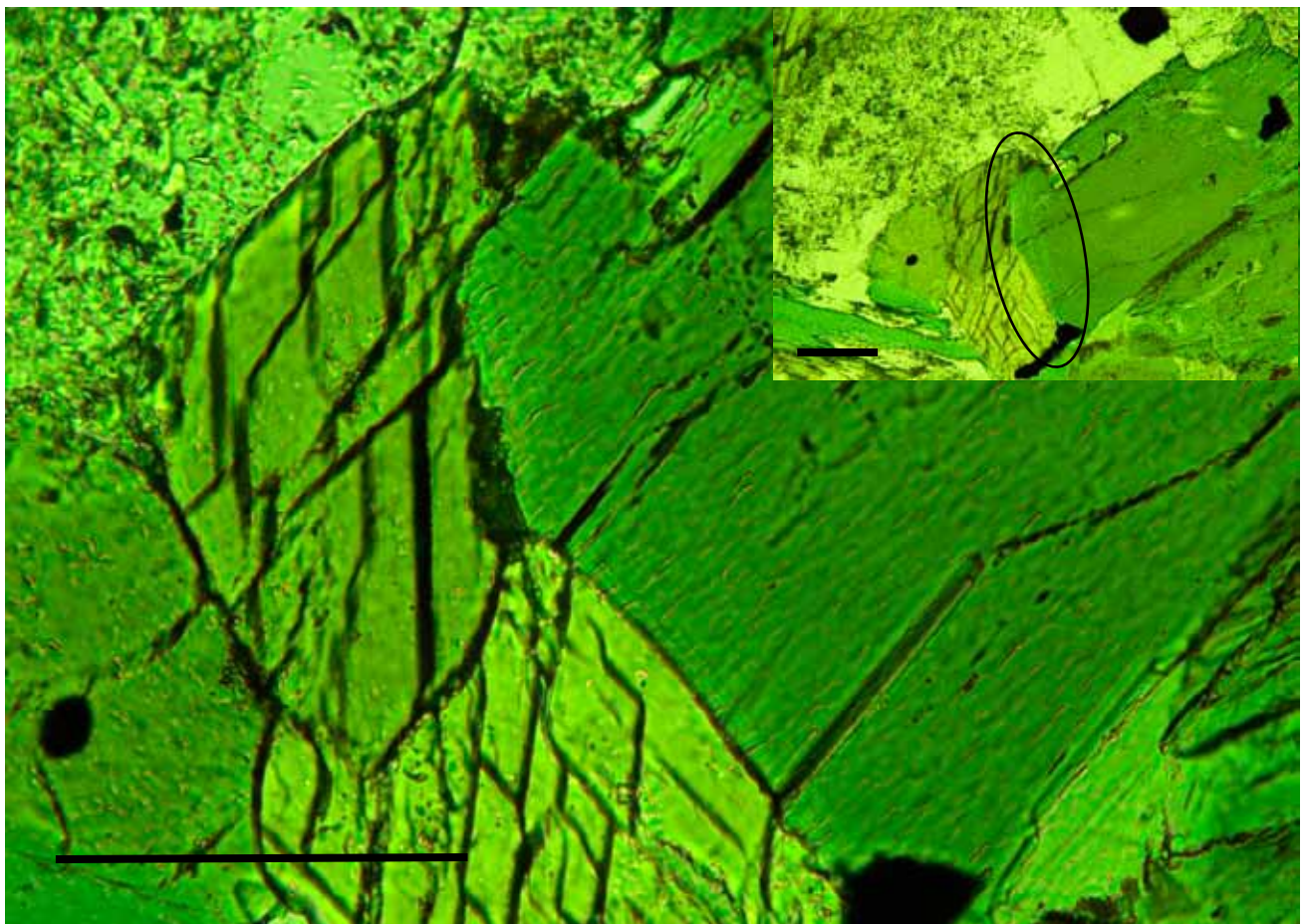
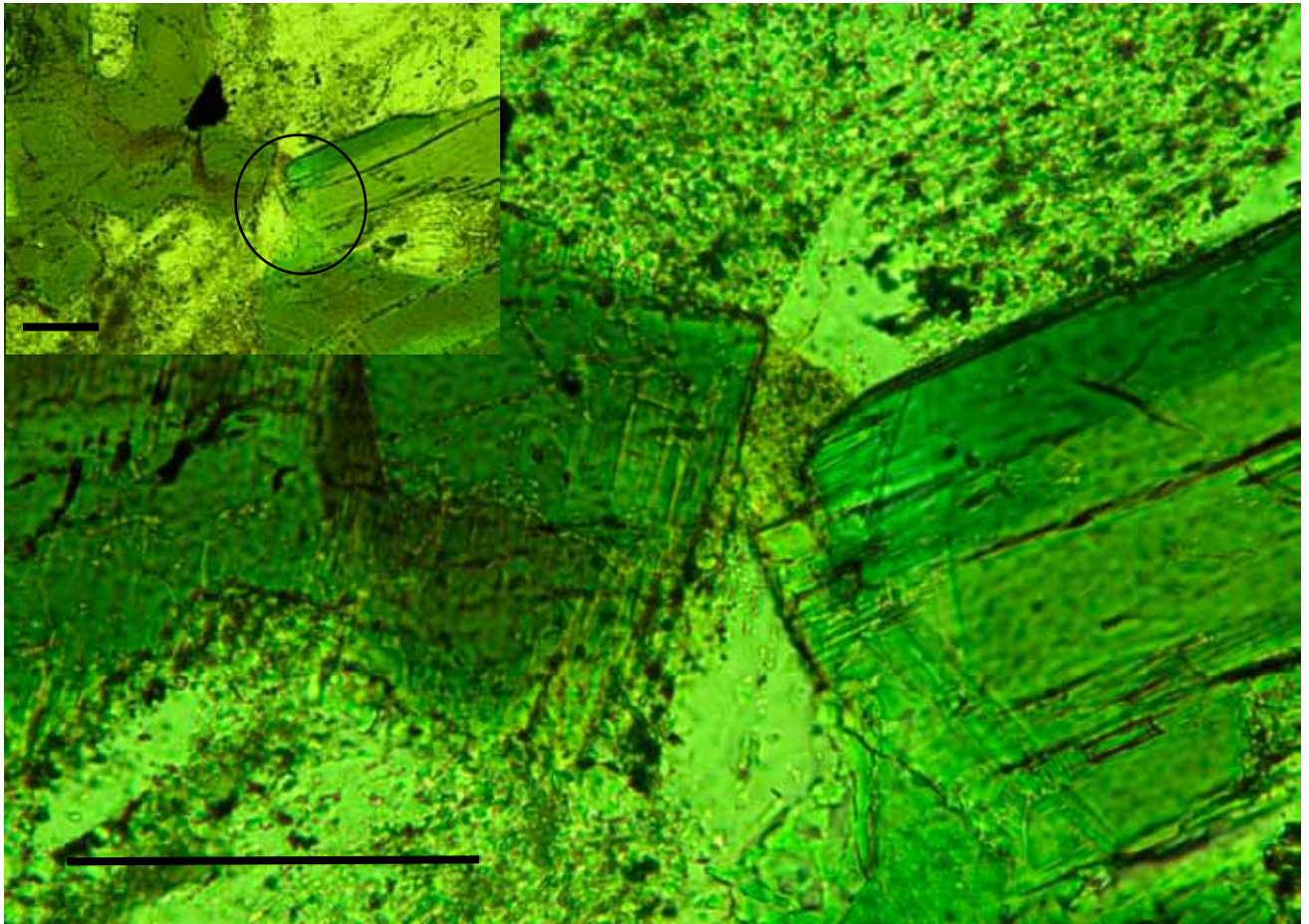


図 29 閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造 (試料 240128-2 / オープンニコル)
(小ウインドウ 200 倍、大ウインドウ 400 倍 : スケールバー $10\mu\text{m}$)





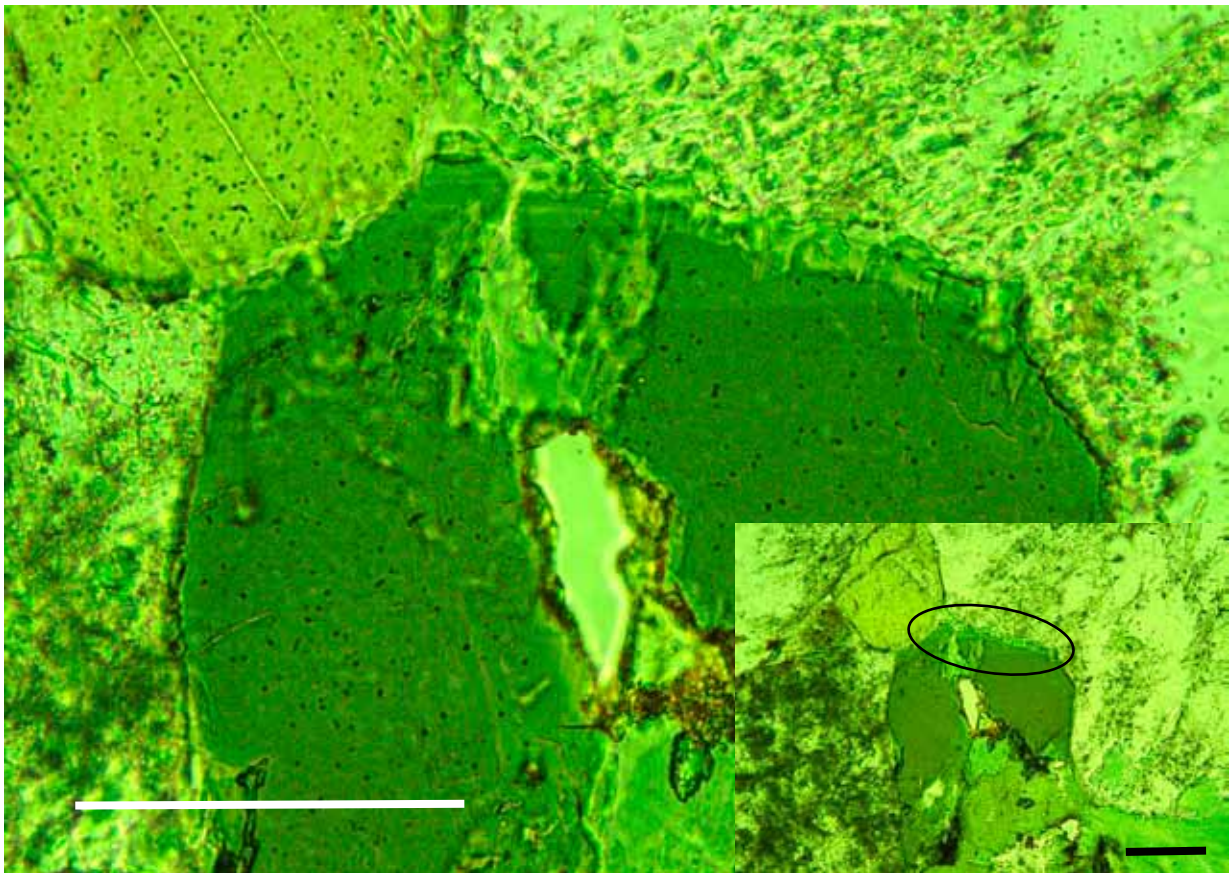
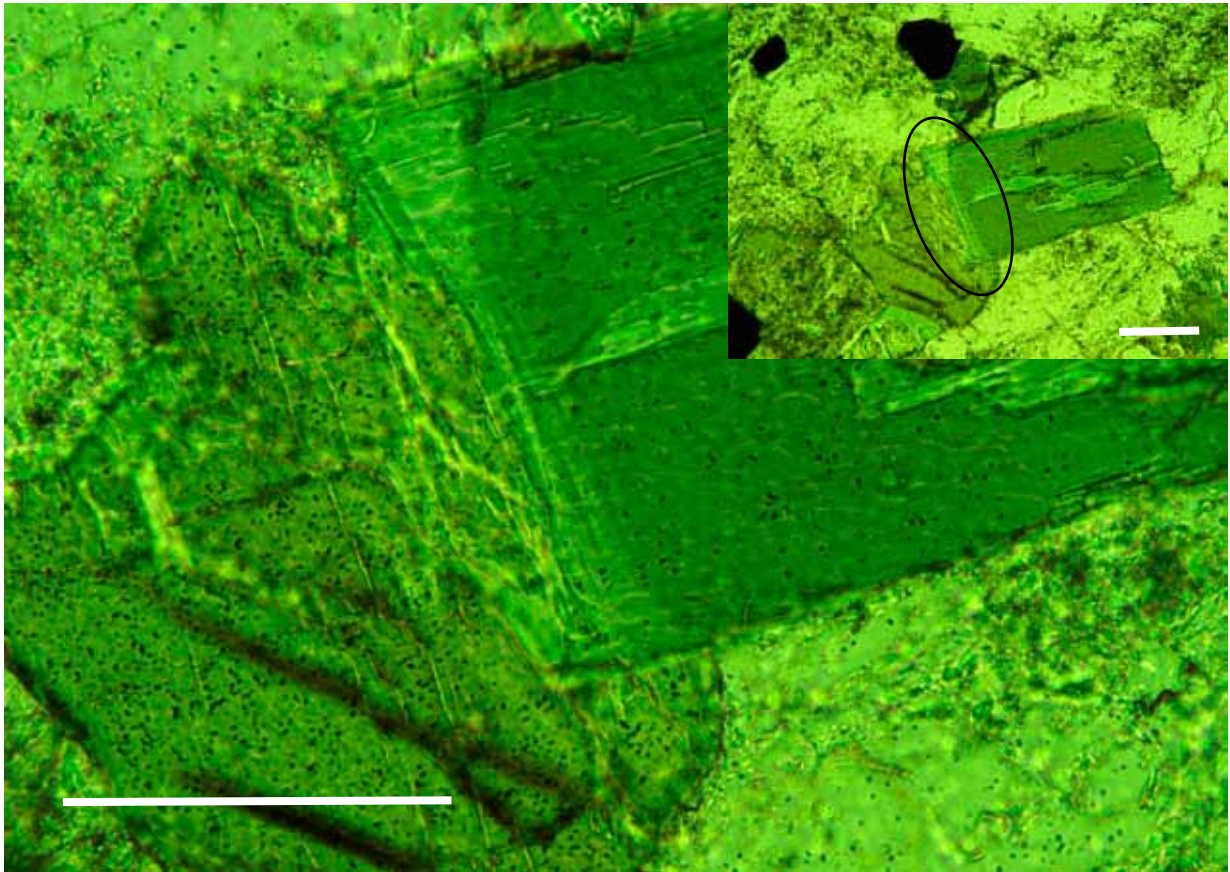


図 30 トーナル岩と接する閃緑岩の角閃石に見られる波状累帯構造 (試料 240128-4/オープンニコル)
(小ウインドウ 200 倍、大ウインドウ 400 倍 : スケールバー 10 μ m)

5. 角閃石の EPMA 分析結果

発見した角閃石の波状累帯構造を京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室の協力を得て、波長分散型電子線マイクロアナライザーEPMA (JEOL JXA-8105) で、鉱物の反射電子線像 (BSE 像) と二次電子線像 (SEM 像) の撮影と、鉱物の定量分析を行った。撮影した反射電子線像を図 31～図 41に示す。定量分析の条件は、ビーム径 $3\ \mu\text{m}$ 、加速電圧 15kV、電流 10nA であり、測定時間は、ピーク測定 10 秒、バックグラウンド測定 5 秒、F はピーク測定 60 秒、バックグラウンド 30 秒、Cl はピーク測定 30 秒、バックグラウンド 15 秒とした。また X 線元素マップは、加速電圧 15kV、電流 60nA、Dwell Time (画素滞在時間) 20 秒、ビーム径 $0.26\ \mu\text{m}$ とした。得られた分析結果は ZAF 補正を適用した。各サイトの陽子配置は Holland and Blundy (1994) に基づいて計算した。結果を表 3～表 8に示す。さらに、これに基づく陽イオン間の関係を図 42～図 51にグラフで示した。

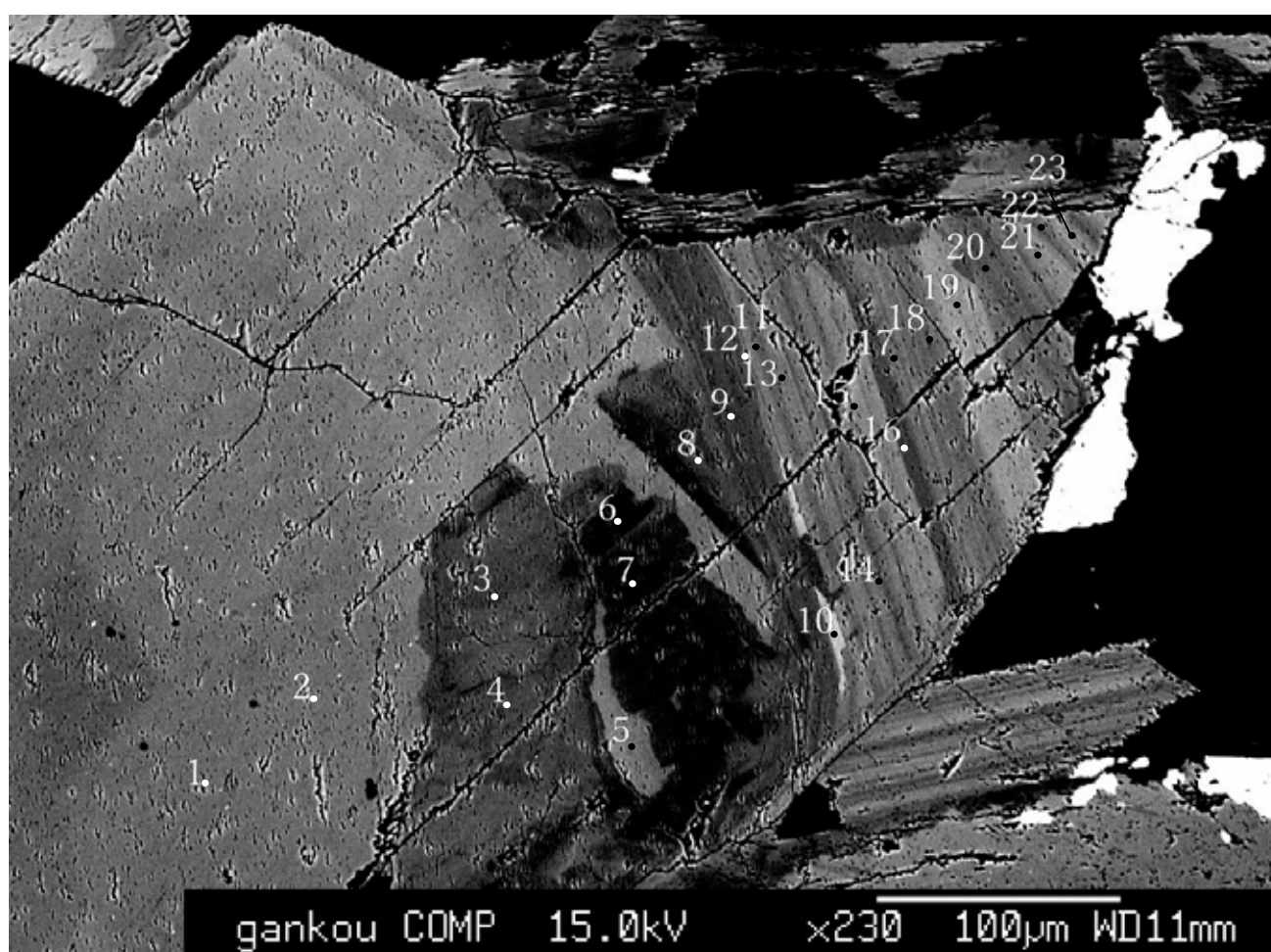


図 31 角閃石の反射電子線像 (試料 240125-6①/数字は EPMA 分析点を示す)

c 軸方向だけではなく、角閃石の結晶の横からも熱水が侵入した跡がみられるが、波状累帯構造は c 軸方向にのみ発達している。波状累帯構造は淡緑色リム部にのみ発達しており、淡褐色コア部にはみられない。

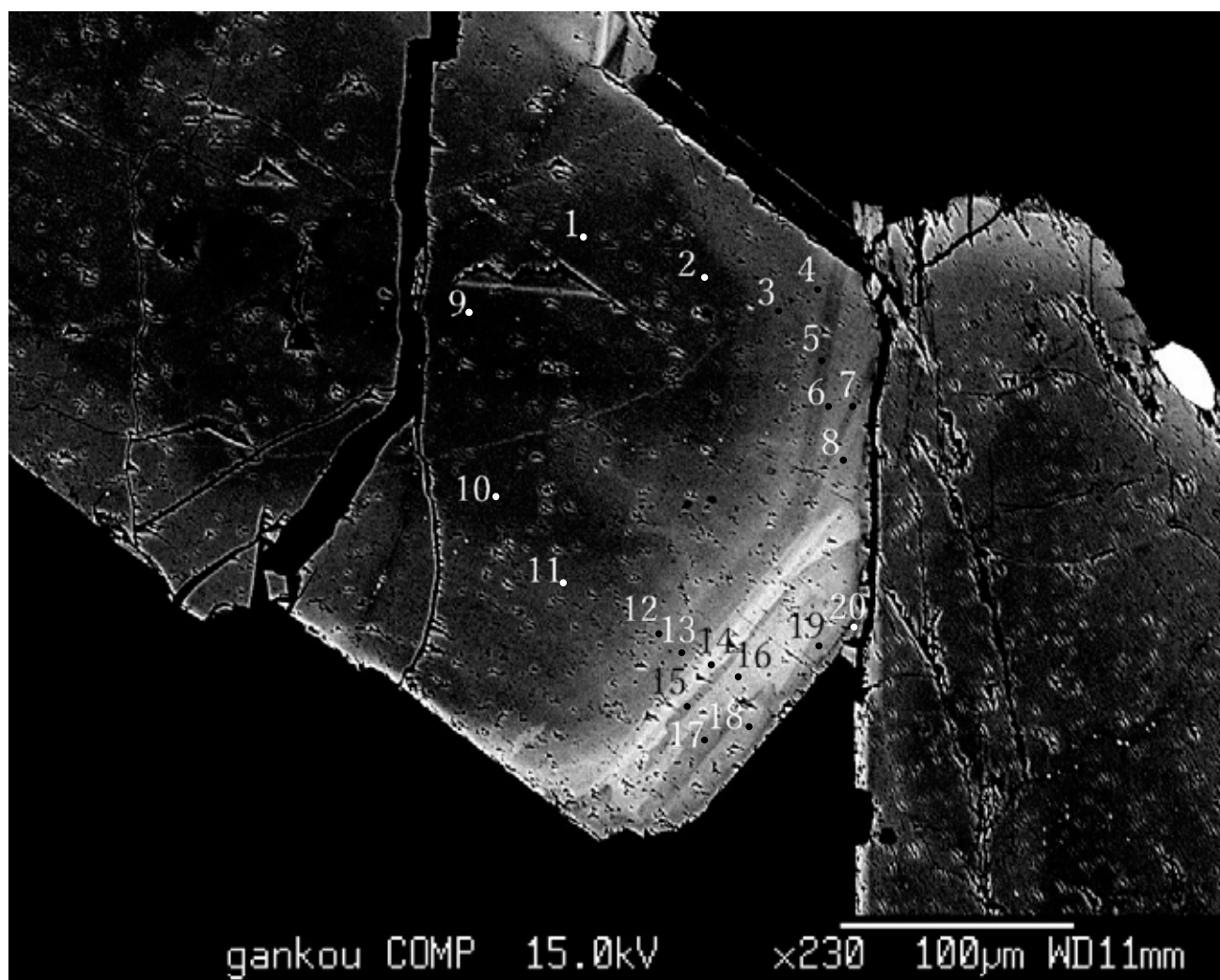


図 32 角閃石の反射電子線像（試料 240125-6②／数字は EPMA 分析点を示す）

波状累帯構造は淡緑色リム部にのみ発達しており、淡褐色コア部にはみられない。帯は途中で折れ曲がったり幅を変えたりしながら c 軸方向に発達している。

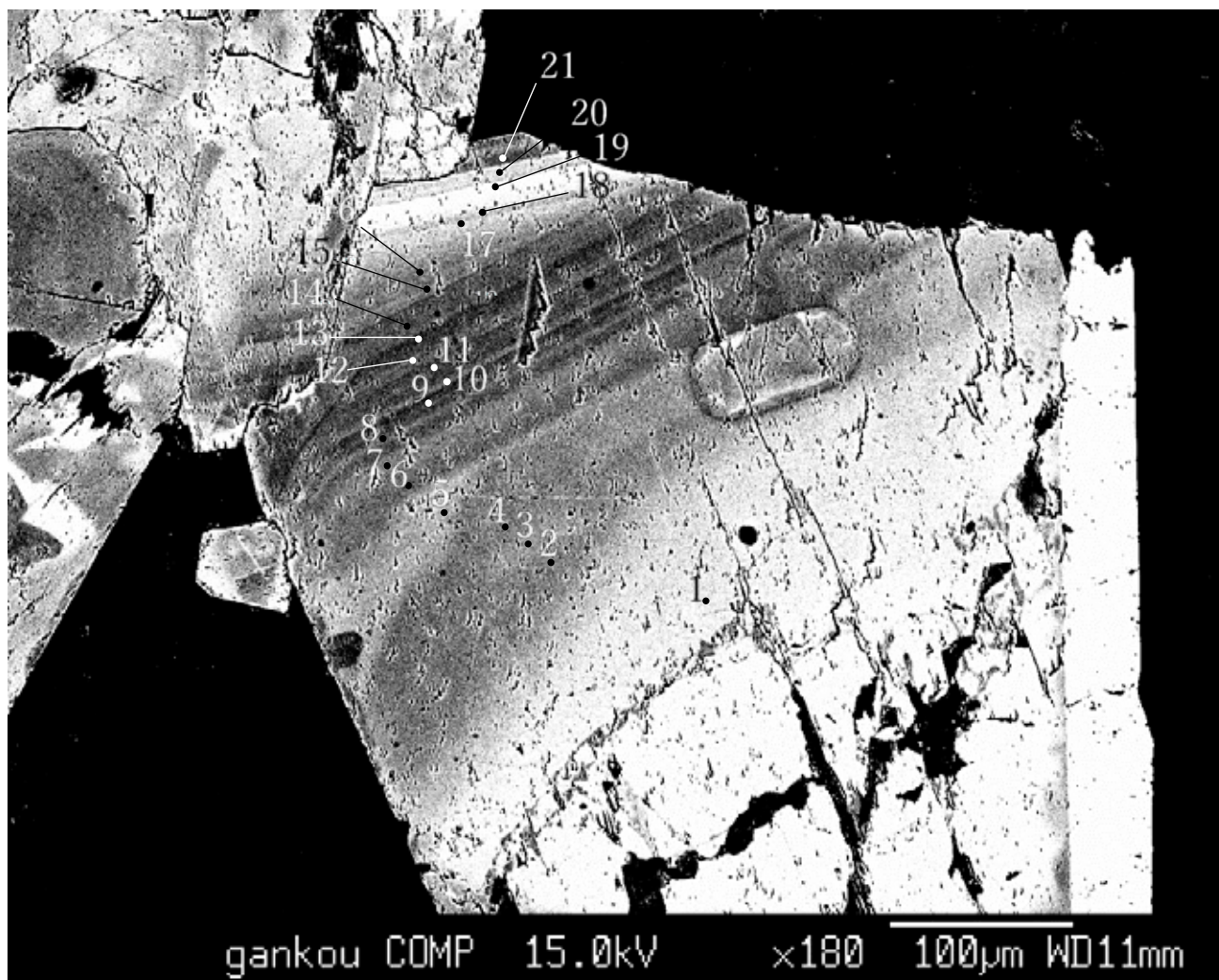
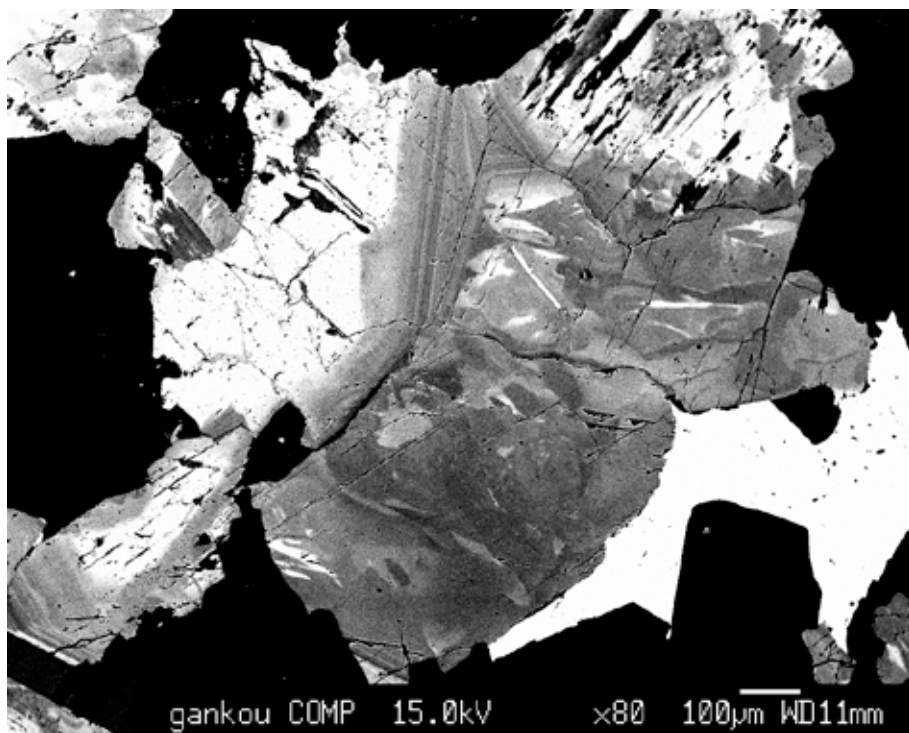


図 33 角閃石の反射電子線像（試料 240127-5／数字は EPMA 分析点を示す）

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。外側の累帯構造が内側の構造を何度も切るように発達しており、外側から数度の影響によって波状累帯構造が形成されたことを示している。



結晶のほとんどの領域が淡緑色ゾーンであり、不規則な形状でコア部が残存している。その間隙に波状累帯構造が発達している。異なる角閃石の結晶にもかかわらず、リム部を寄せ合っている結晶粒の外側から平行に波状累対構造の細い帯が連続するように形成されている。鉍物の内側から形成された場合にはこうはならない。波状累帯構造が結晶の外側からの影響によって形成されたことを示している。

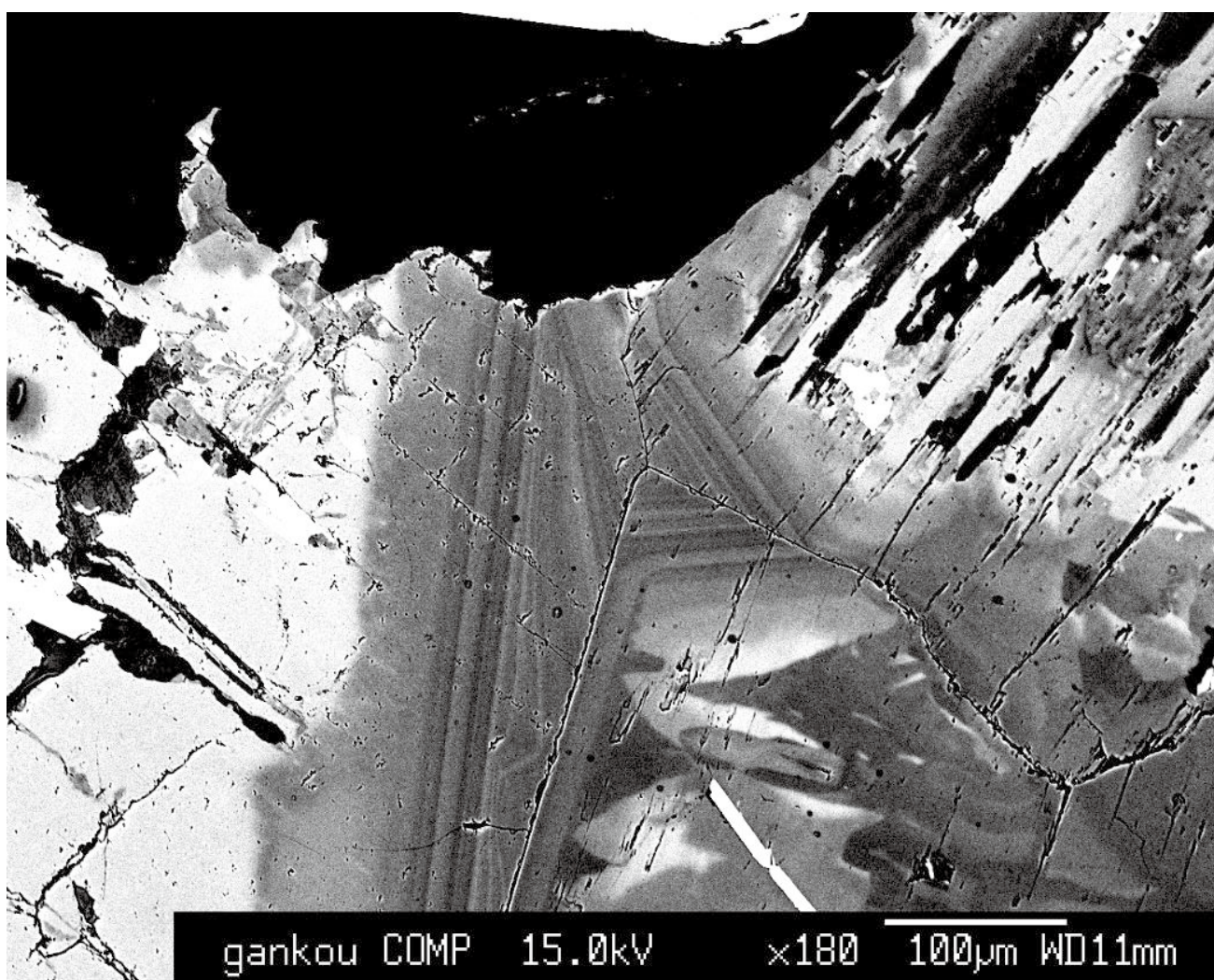
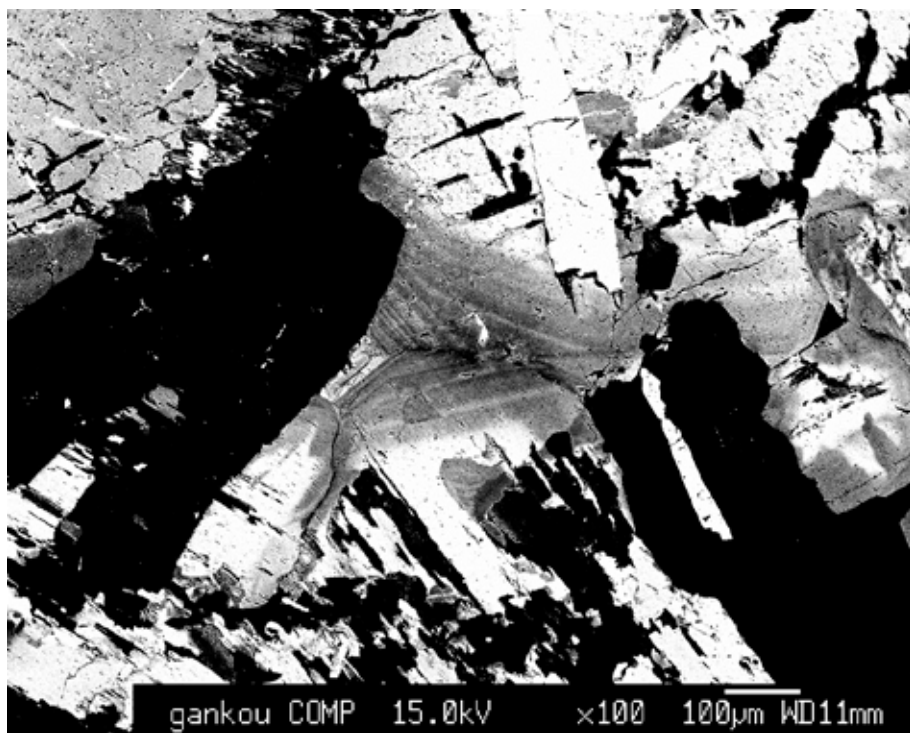


図 34 角閃石の反射電子線像 (試料 240127-5)



淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。異なる角閃石の結晶にもかかわらず、結晶粒の外側から平行に波状累帯構造の細い帯が対応して形成されている。波状累帯構造が結晶の外側からの影響によって形成されたことを示している。

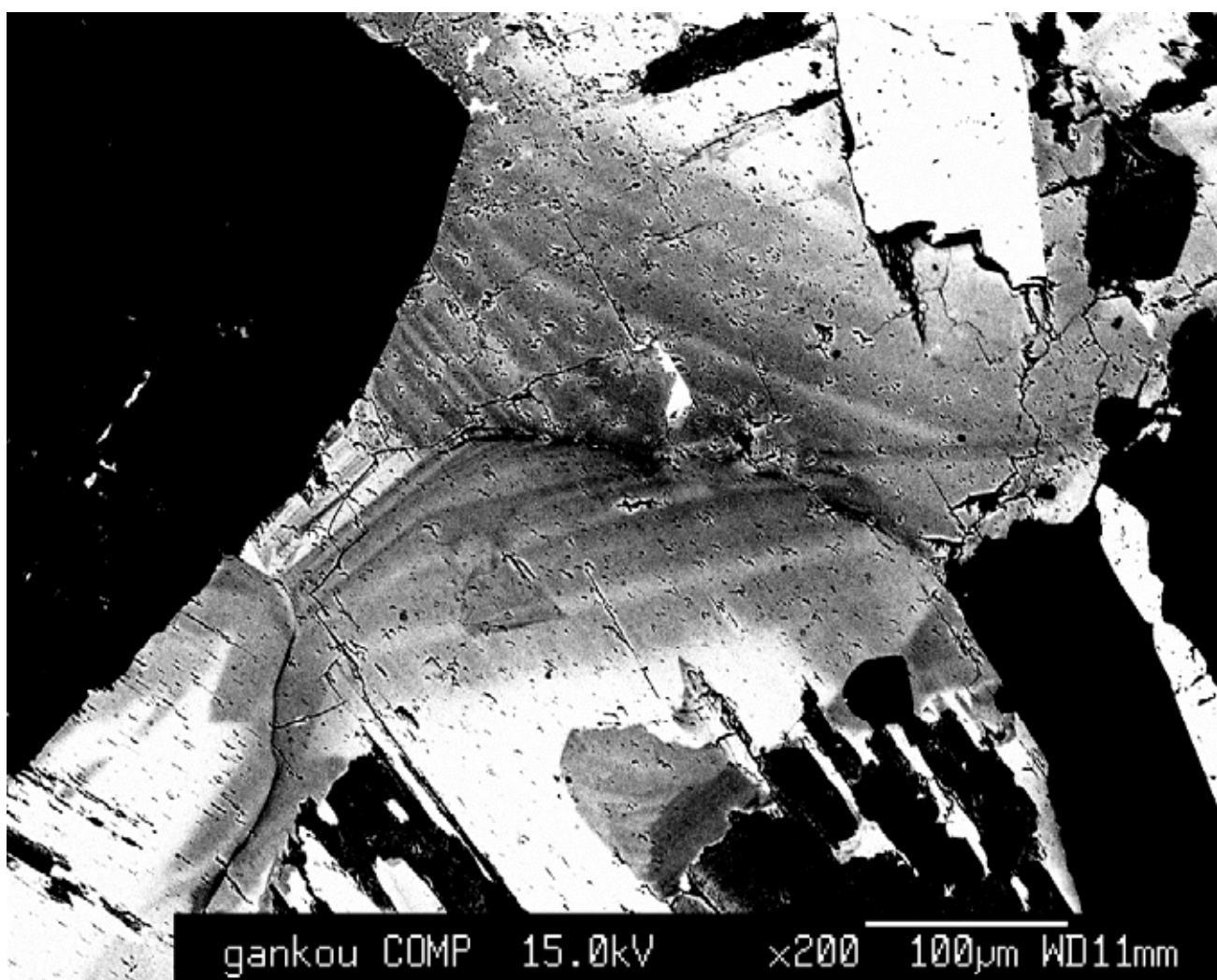


図 35 角閃石の反射電子線像（試料 240127-5）

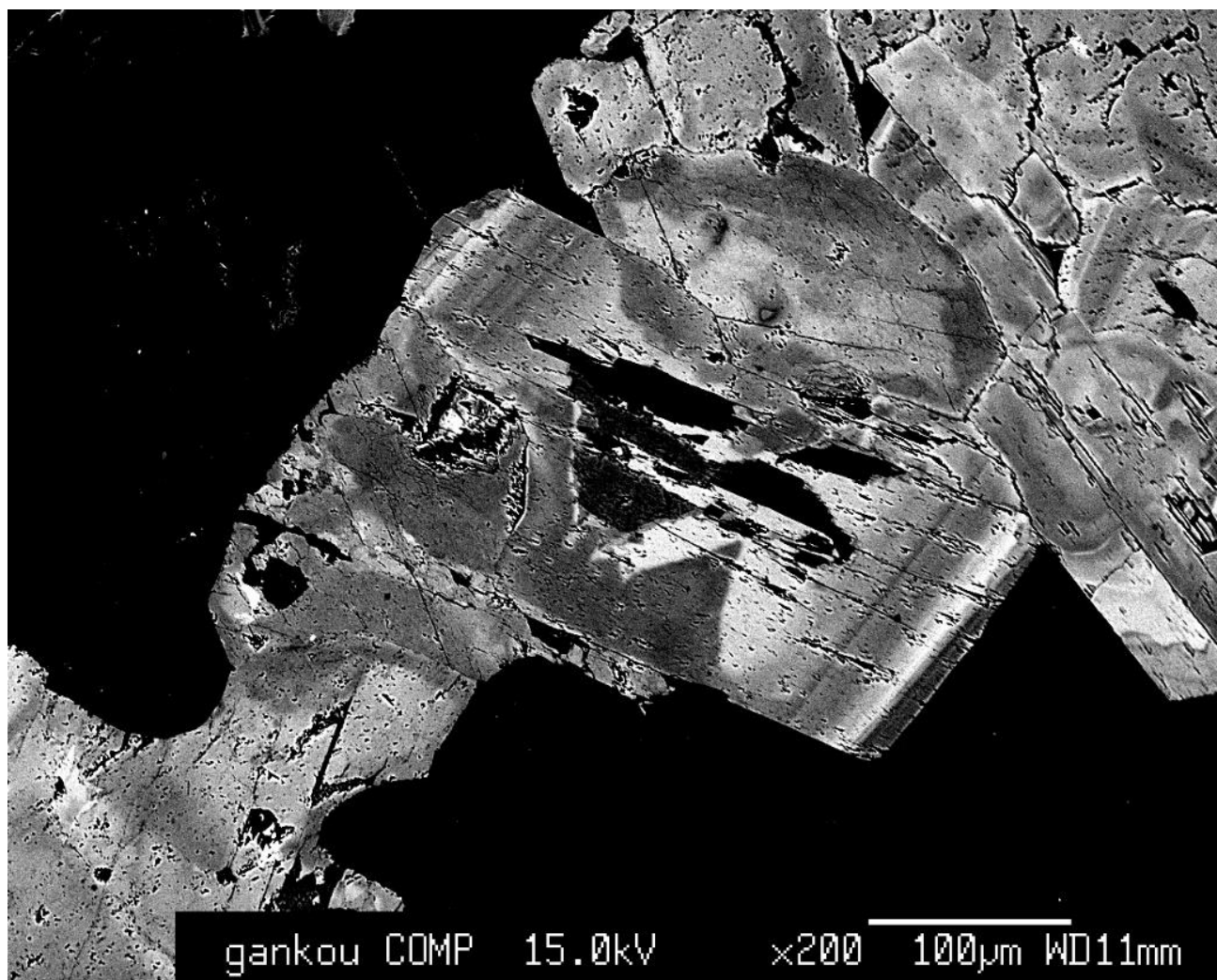


図 36 角閃石の反射電子線像（試料 240127-5）

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。結晶のほとんど全体が淡緑色ゾーンであり、不規則な形状のコア部が残存している。リム部にはさまざまな幅の波状累帯構造が発達している。急激で激しい外部からの熱水残液の影響を受けたことを物語っている。

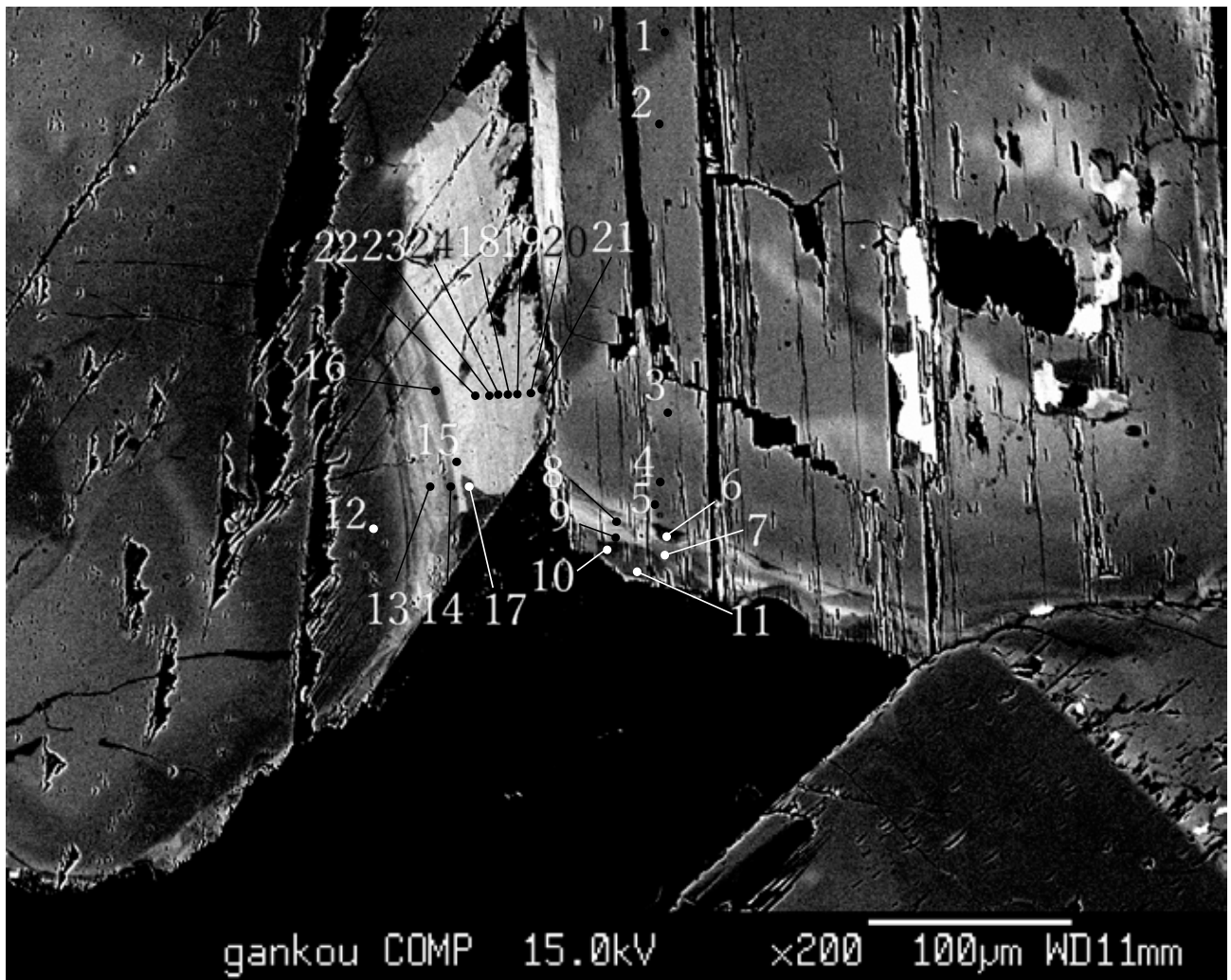
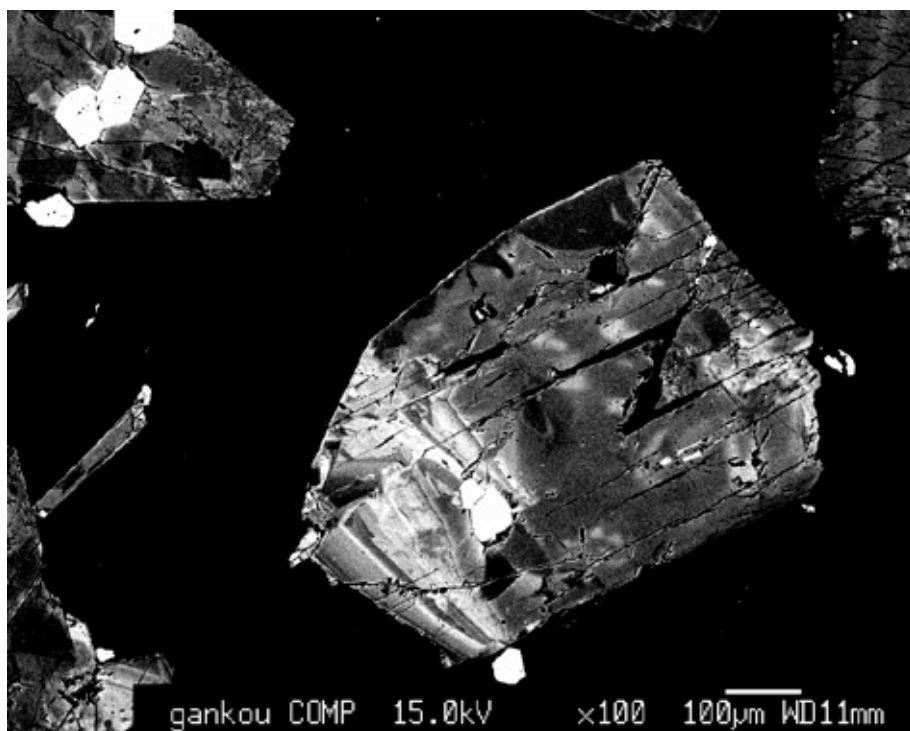


図 37 角閃石の反射電子線像（試料 240128-2①／数字は EPMA 分析点を示す）

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。整然とした形状ではなく、ゆがんで波打っており、幅も不規則である。激しい熱水残液の影響を受けたことを物語っている。



結晶全体が淡緑色ゾーンであり、不規則にパッチー累帯構造を形成している。結晶の周囲から熱水が影響した形跡があるが、波状累帯構造を形成しているのは c 軸方向のみである。リム部の波状累帯構造は非常に不規則で激しくうねっており、急激で激しい外部からの熱水残液の影響を受けたことを物語っている。

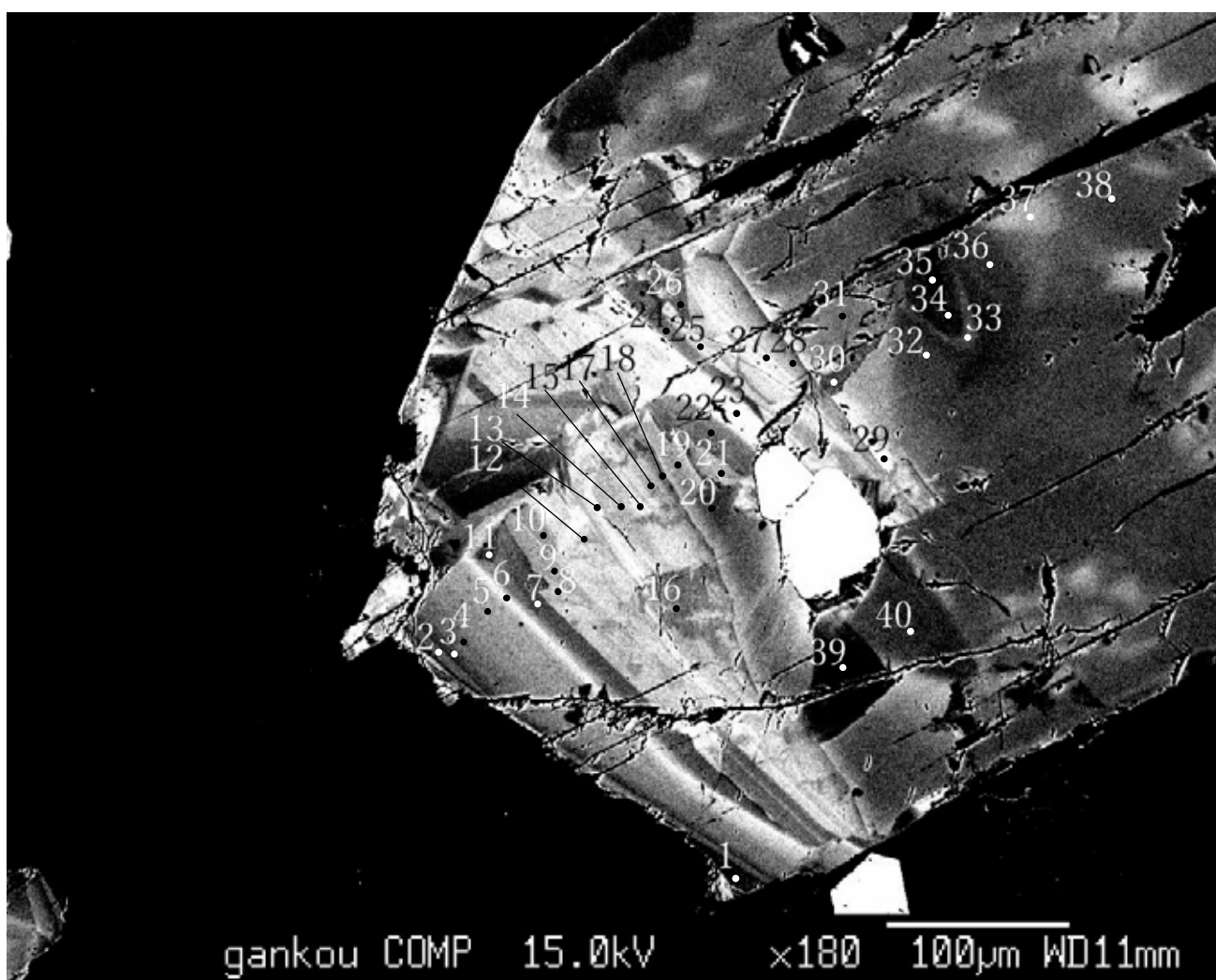


図 38 角閃石の反射電子線像 (試料 240128-2②) / 数字は EPMA 分析点を示す)

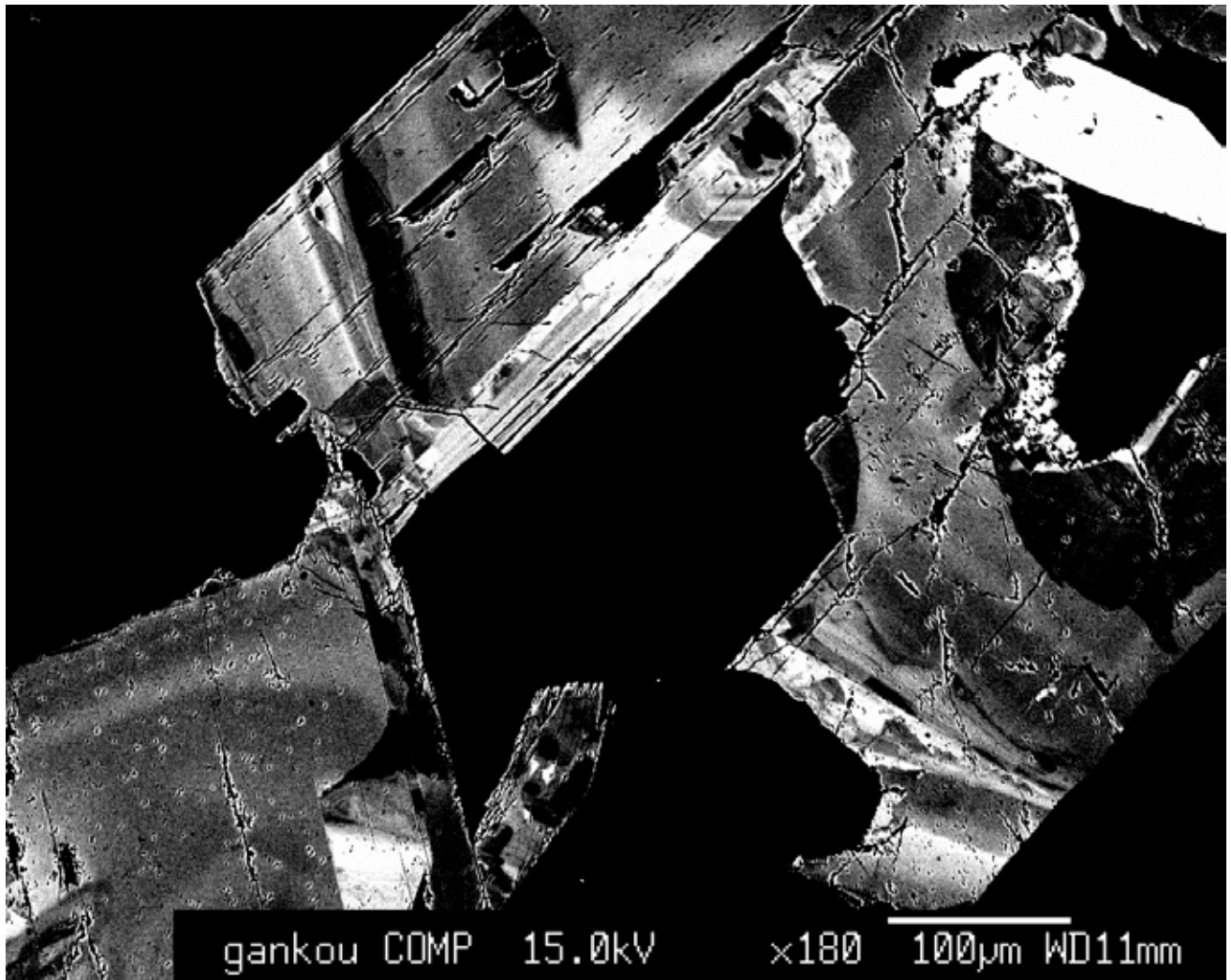


図 39 角閃石の反射電子線像（試料 240128-2）

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。結晶の周囲から熱水が影響した形跡があるが、波状累帯構造を形成しているのは c 軸方向のみである。

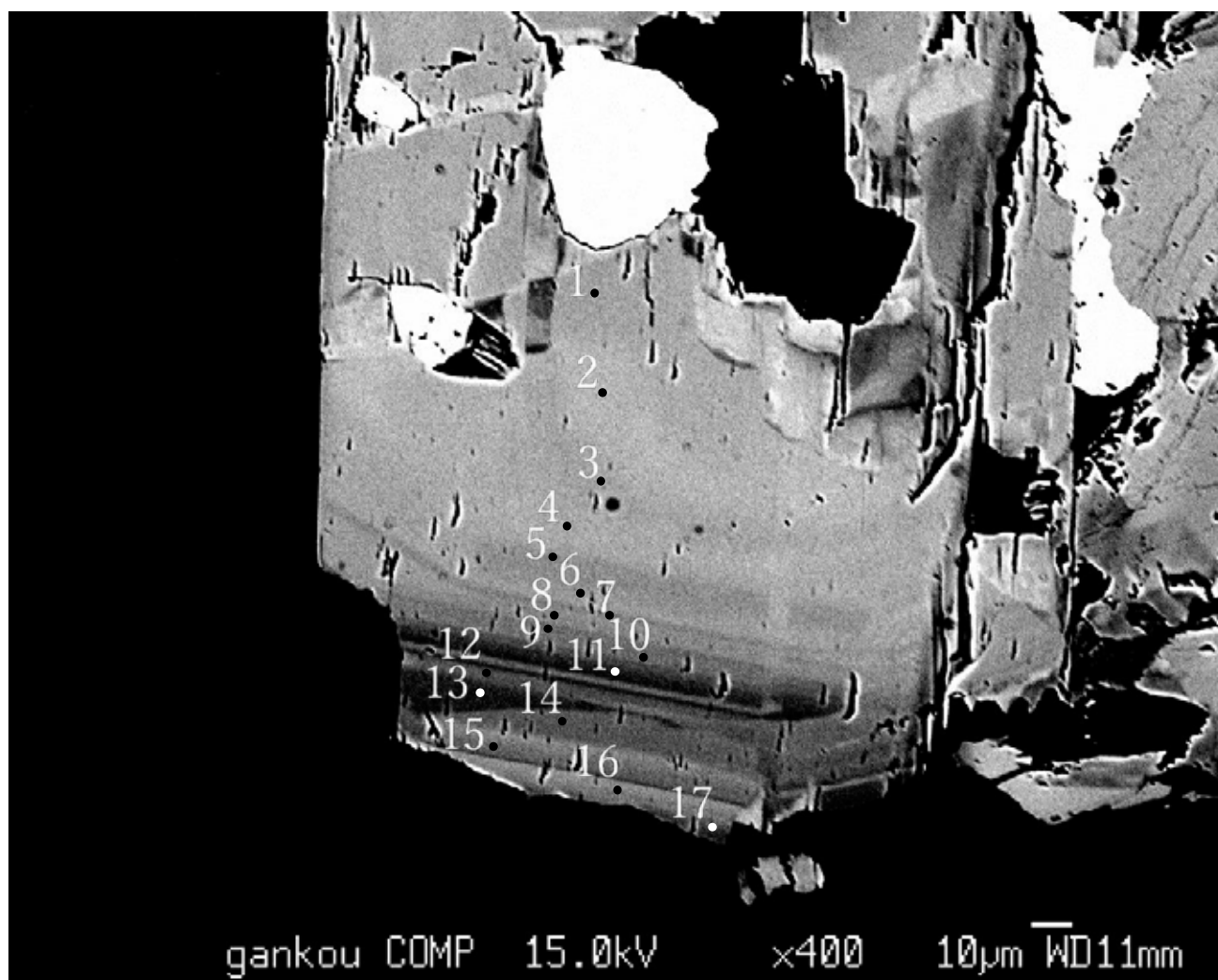


図 40 角閃石の反射電子線像（試料 240128-4／数字は EPMA 分析点を示す）

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。波状累帯構造の帯の形状は、外側からの熱水の影響によって形成されたことを示している。

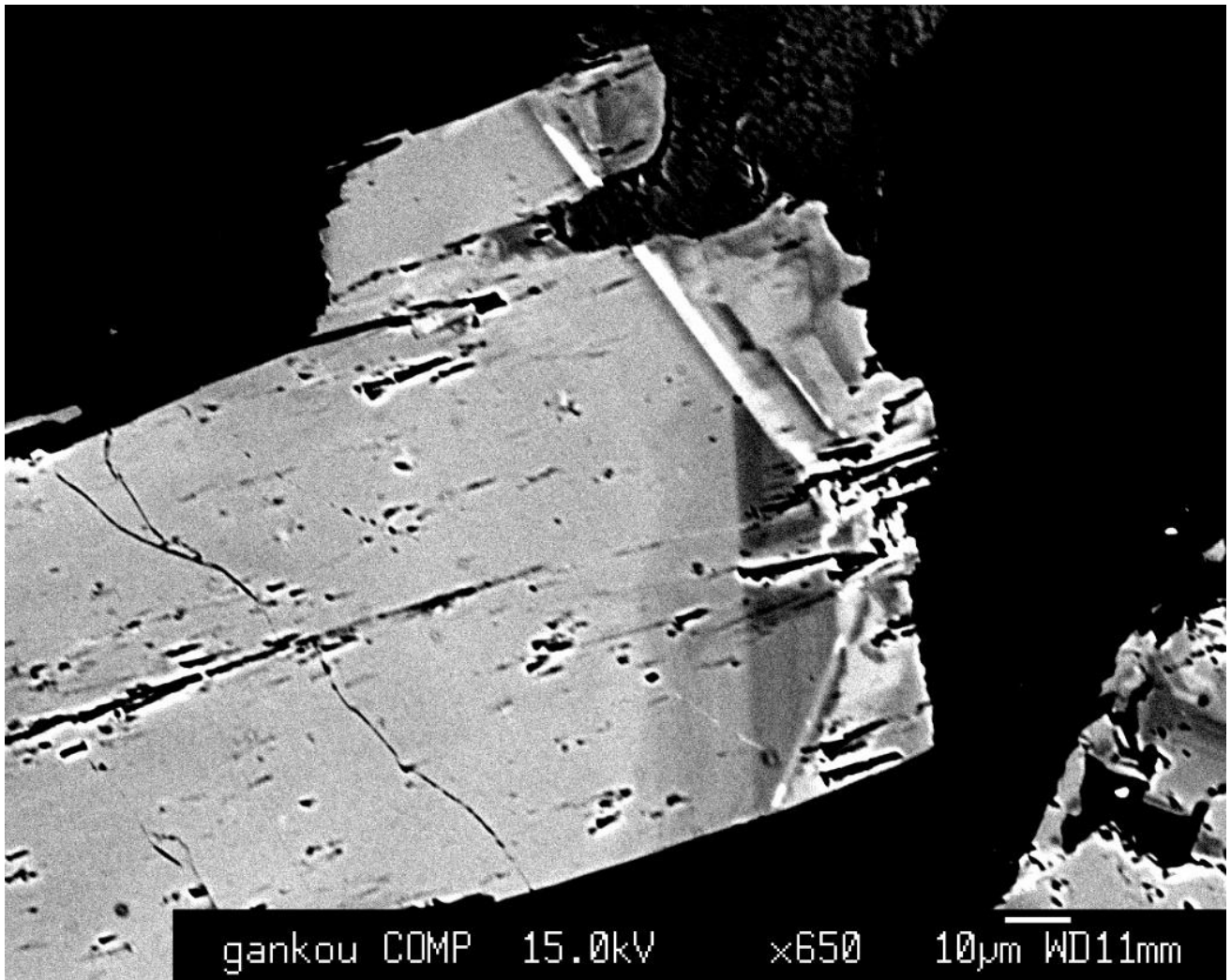


図 41 角閃石の反射電子線像 (試料 240128-4)

角閃石の淡緑色リム部に波状累帯構造が発達している。波状累帯構造は、外側の帯が内側の帯を何度も切るように形成されていることから、外側から数度の熱水の影響を受けて形成されたことがわかる。

表 3 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240125-6①)

sample	Aml-1	Aml-2	Aml-3	Aml-4	Aml-5	Aml-6	Aml-7	Aml-8	Aml-9	Aml-10	Aml-11	Aml-12	Aml-13	Aml-14	Aml-15	Aml-16	Aml-17	Aml-18	Aml-19	Aml-20	Aml-21	Aml-22	Aml-23
SiO ₂	49.453	48.166	51.001	51.941	48.032	54.163	52.96	51.625	53.258	46.55	52.007	50.371	50.373	51.727	50.441	53.551	51.282	51.655	49.946	52.691	50.758	52.24	49.703
TiO ₂	1.041	0.979	0.268	0.238	0.86	0.21	0	0.179	0.089	0.738	0.298	0.297	0.683	0.149	0	0.298	0.148	0.416	0.414	0.268	0.296	0.238	0.355
Al ₂ O ₃	5.656	6.489	4.328	4.1	6.695	2.902	3.874	4.31	3.024	7.816	4.022	5.439	5.087	3.812	5.011	2.771	4.765	4.115	5.504	3.704	4.998	3.759	5.693
Cr ₂ O ₃	0.038	0.002	0.033	0.007	0.071	0	0.005	0.022	0.041	0.04	0.103	0.031	0.043	0.05	0.066	0.086	0.095	0.05	0	0.069	0.005	0.026	0.024
FeO	12.51	13.372	12.55	12.678	14.037	9.308	10.741	12.477	13.117	16.828	12.986	13.853	14.154	13.937	14.784	12.436	13.869	13.458	15.813	12.868	14.909	13.384	14.492
MnO	0.166	0.32	0.321	0.311	0.454	0.135	0.311	0.29	0.331	0.298	0.207	0.496	0.362	0.331	0.32	0.352	0.475	0.207	0.155	0.3	0.279	0.227	0.268
MgO	14.547	14.583	15.737	14.964	14.054	17.937	16.995	15.956	15.609	11.979	14.25	13.831	13.802	14.96	13.912	15.499	14.212	14.434	13.49	15.321	13.86	14.672	13.105
CaO	11.536	11.462	12.045	12.363	12.022	12.985	12.688	12.677	12.71	12.404	12.2	12.375	12.381	12.425	12.236	12.616	12.307	12.612	12.235	12.73	12.188	12.124	12.44
BaO	0	0	0	0	0	0.063	0	0.135	0	0.097	0.135	0.045	0.075	0.03	0	0.03	0.015	0	0.03	0.06	0.007	0	0
Na ₂ O	1.184	1.156	0.638	0.539	1.083	0.357	0.575	0.656	0.423	1.016	0.436	0.689	0.709	0.402	0.612	0.341	0.542	0.419	0.659	0.405	0.493	0.344	0.584
K ₂ O	0.289	0.374	0.173	0.172	0.434	0.16	0.154	0.262	0.092	0.431	0.16	0.207	0.246	0.147	0.19	0.101	0.217	0.18	0.218	0.095	0.217	0.159	0.242
F	0	0	0	0	0	0.018	0.017	0.065	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0	0	0	0	0	0
Cl	0.046	0.047	0.024	0.009	0.039	0.012	0.021	0.019	0.017	0.115	0.017	0.043	0.038	0.026	0.034	0.01	0.032	0.018	0.03	0.017	0.039	0.021	0.049
Total	96.466	96.95	97.118	97.322	97.781	98.24	98.341	98.673	98.711	98.312	96.821	97.677	97.953	97.996	97.606	98.091	97.982	97.564	98.494	98.528	98.049	97.194	96.955
site calculation after Holland and Blundy, 1994																							
T-sites																							
Si	7.27	7.01	7.35	7.53	6.97	7.62	7.48	7.33	7.57	6.82	7.59	7.29	7.29	7.44	7.31	7.68	7.40	7.47	7.21	7.51	7.34	7.60	7.28
Aliv	0.73	0.99	0.65	0.47	1.03	0.38	0.52	0.67	0.43	1.18	0.41	0.71	0.71	0.56	0.69	0.32	0.60	0.53	0.79	0.49	0.66	0.40	0.72
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	0.98	1.11	0.74	0.70	1.14	0.48	0.64	0.72	0.51	1.35	0.69	0.93	0.87	0.65	0.86	0.47	0.81	0.70	0.94	0.62	0.85	0.64	0.98
M1,2,3 sites																							
Alvi	0.25	0.12	0.09	0.24	0.11	0.10	0.12	0.06	0.08	0.17	0.28	0.22	0.16	0.08	0.17	0.15	0.21	0.17	0.14	0.13	0.19	0.24	0.26
Ti	0.12	0.11	0.03	0.03	0.09	0.02	0.00	0.02	0.01	0.08	0.03	0.03	0.07	0.02	0.00	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
Fe3+	0.00	0.59	0.47	0.00	0.59	0.21	0.37	0.52	0.30	0.64	0.00	0.38	0.34	0.41	0.48	0.00	0.31	0.23	0.52	0.27	0.37	0.00	0.33
Mg	3.19	3.16	3.38	3.24	3.04	3.76	3.58	3.38	3.31	2.62	3.10	2.99	2.98	3.21	3.01	3.32	3.06	3.11	2.90	3.26	2.99	3.18	2.86
Mn	0.02	0.04	0.04	0.04	0.06	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
Fe2+	1.43	0.98	1.00	1.46	1.11	0.88	0.89	0.96	1.26	1.42	1.56	1.30	1.38	1.24	1.31	1.46	1.35	1.40	1.37	1.26	1.39	1.53	1.44
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																							
Fe	0.11	0.05	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	0.10	0.00
Ca	1.82	1.79	1.86	1.92	1.87	1.95	1.92	1.90	1.94	1.91	1.91	1.90	1.90	1.91	1.90	1.94	1.90	1.94	1.89	1.93	1.89	1.89	1.92
Na	0.08	0.16	0.09	0.00	0.13	0.05	0.08	0.10	0.06	0.09	0.07	0.10	0.10	0.06	0.09	0.02	0.09	0.06	0.09	0.07	0.07	0.01	0.08
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																							
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.26	0.16	0.09	0.15	0.17	0.05	0.08	0.08	0.05	0.20	0.05	0.09	0.09	0.05	0.08	0.07	0.06	0.05	0.09	0.05	0.07	0.09	0.08
K	0.05	0.07	0.03	0.03	0.08	0.03	0.03	0.05	0.02	0.08	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.05
Sum A	0.32	0.23	0.12	0.18	0.25	0.07	0.11	0.13	0.07	0.28	0.08	0.13	0.14	0.08	0.11	0.09	0.10	0.09	0.13	0.06	0.11	0.12	0.13
OH site																							
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	1.99	1.99	1.99	2.00	1.99	1.99	1.99	1.97	2.00	1.97	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	1.98	2.00	1.99	2.00	1.99	1.99	1.99
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 4 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240125-6②)

sample	Am2-1	Am2-2	Am2-3	Am2-4	Am2-5	Am2-6	Am2-7	Am2-8	Am2-9	Am2-10	Am2-11	Am2-12	Am2-13	Am2-14	Am2-15	Am2-16	Am2-17	Am2-18	Am2-19	Am2-20
SiO2	48.921	49.1	46.825	47.756	48.748	48.33	49.682	47.826	49.405	48.531	47.829	47.18	48.458	45.557	48.614	46.316	48.155	47.104	48.153	49.153
TiO2	1.6	0.77	1.064	0.473	0.561	0.502	0.532	0.382	1.275	1.274	1.095	0.737	0.354	0.263	0.294	0.469	0.206	0.5	0.323	0.5
Al2O3	6.177	5.848	6.719	6.342	5.72	6.071	5.336	6.805	6.103	6.053	6.565	6.676	5.643	8.823	6.143	7.972	6.388	7.695	6.707	5.965
Cr2O3	0.007	0.038	0.031	0.073	0.059	0.028	0.026	0.054	0	0	0	0.049	0.014	0.102	0.15	0.026	0.059	0.038	0.033	0.016
FeO	13.55	13.76	14.811	15.109	15.441	16.255	15.093	18.095	13.327	12.928	13.809	16.372	17.182	20.642	18.444	19.294	17.725	18.311	18.804	17.798
MnO	0.403	0.392	0.278	0.35	0.196	0.206	0.34	0.4	0.124	0.464	0.371	0.308	0.39	0.348	0.277	0.225	0.308	0.318	0.256	0.195
MgO	14.445	14.294	13.425	12.515	13.045	12.163	12.85	11.795	14.54	14.588	13.591	11.699	11.909	9.338	11.12	9.451	11.361	10.719	10.586	12.014
CaO	11.654	11.49	11.802	11.967	11.828	11.955	11.749	11.722	11.768	11.734	11.828	11.656	12.154	11.273	11.789	11.549	11.713	11.878	11.738	11.426
BaO	0.03	0	0	0.045	0.007	0.275	0.06	0	0	0.06	0.015	0.156	0	0.052	0.059	0	0.015	0.155	0	0.007
Na2O	1.058	1.084	1.081	0.876	0.837	0.854	0.625	0.942	0.959	1.146	1.085	0.963	0.693	1.155	0.765	1.055	0.694	0.854	0.959	0.54
K2O	0.298	0.292	0.373	0.422	0.344	0.365	0.289	0.296	0.331	0.346	0.352	0.478	0.317	0.491	0.287	0.339	0.293	0.396	0.257	0.259
F	0	0.022	0	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.059	0.048	0.051	0.056	0.04	0.026	0.024	0.077	0.029	0.046	0.044	0.032	0.036	0.12	0.04	0.082	0.049	0.08	0.055	0.045
Total	98.202	97.138	96.46	95.984	96.826	97.02	96.606	98.394	97.865	97.17	96.584	96.306	97.15	98.164	97.982	96.778	96.966	98.048	97.871	97.918
site calculation after Holland and Blundy, 1994																				
T-sites																				
Si	7.05	7.14	6.91	7.11	7.17	7.15	7.37	6.99	7.18	7.06	7.03	7.05	7.16	6.77	7.16	6.97	7.14	6.94	7.12	7.21
Aliv	0.95	0.86	1.09	0.89	0.83	0.85	0.63	1.01	0.82	0.94	0.97	0.95	0.84	1.23	0.84	1.03	0.86	1.06	0.88	0.79
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	1.05	1.00	1.17	1.11	0.99	1.06	0.93	1.17	1.05	1.04	1.14	1.18	0.98	1.55	1.07	1.41	1.12	1.34	1.17	1.03
M1,2,3 sites																				
Alvi	0.10	0.15	0.07	0.22	0.16	0.21	0.30	0.16	0.23	0.09	0.17	0.22	0.14	0.32	0.23	0.38	0.26	0.28	0.28	0.24
Ti	0.17	0.08	0.12	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.14	0.14	0.12	0.08	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02	0.06	0.04	0.06
Fe3+	0.45	0.48	0.65	0.43	0.47	0.44	0.00	0.71	0.00	0.47	0.44	0.44	0.54	0.74	0.47	0.49	0.49	0.58	0.46	0.39
Mg	3.10	3.10	2.95	2.78	2.86	2.68	2.84	2.57	3.15	3.16	2.98	2.61	2.62	2.07	2.44	2.12	2.51	2.36	2.33	2.63
Mn	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02	0.06	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02
Fe2+	1.13	1.14	1.17	1.46	1.42	1.57	1.76	1.47	1.46	1.07	1.25	1.61	1.58	1.80	1.79	1.99	1.68	1.68	1.86	1.66
Ca	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																				
Fe	0.05	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.11	0.03	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.13
Ca	1.80	1.79	1.87	1.89	1.86	1.87	1.87	1.83	1.83	1.83	1.86	1.86	1.90	1.80	1.86	1.86	1.86	1.87	1.86	1.80
Na	0.15	0.16	0.13	0.11	0.13	0.13	0.02	0.14	0.01	0.15	0.13	0.14	0.10	0.18	0.13	0.13	0.11	0.13	0.13	0.08
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																				
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.15	0.15	0.18	0.14	0.11	0.12	0.16	0.13	0.26	0.17	0.18	0.14	0.10	0.16	0.09	0.18	0.09	0.11	0.14	0.07
K	0.05	0.05	0.07	0.08	0.06	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	0.06	0.09	0.05	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05
Sum A	0.20	0.20	0.25	0.22	0.18	0.18	0.22	0.18	0.32	0.24	0.25	0.23	0.16	0.25	0.14	0.24	0.15	0.19	0.19	0.12
OH site																				
OH site																				
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	1.99	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.97	1.99	1.98	1.99	1.98	1.99	1.99
F	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 5 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240127-5)

sample	Am5-1	Am5-2	Am5-3	Am5-4	Am5-5	Am5-6	Am5-7	Am5-8	Am5-9	Am5-10	Am5-11	Am5-12	Am5-13	Am5-14	Am5-15	Am5-16	Am5-17	Am5-18	Am5-19	Am5-20	Am5-21
SiO2	43.832	47.8	46.573	48.412	47.062	49.234	48.657	49.592	49.37	50.534	50.015	50.741	50.253	50.801	50.394	50.133	51.045	50.688	51.906	52.065	52.607
TiO2	1.592	1.005	1.598	1.214	1.45	1.333	0.77	0.652	0.592	0.356	0.741	0.356	0.622	0.059	0.178	0.03	0.059	0.207	0	0	0.03
Al2O3	9.078	7.365	7.441	6.672	7.464	5.982	5.899	5.301	5.628	4.842	5.015	4.803	4.482	4.61	5.049	5.012	4.13	4.364	4.562	3.441	3.538
Cr2O3	0.028	0.026	0.036	0.052	0.04	0.05	0.036	0.038	0.047	0.071	0.055	0.062	0.045	0.04	0	0.057	0.047	0	0.066	0.152	0.093
FeO	14.023	13.26	12.643	12.573	12.334	13.028	13.519	13.372	13.276	12.95	12.699	12.84	12.848	12.934	13.387	13.72	14.943	15.611	15.002	12.668	14.037
MnO	0.288	0.226	0.361	0.299	0.34	0.289	0.288	0.381	0.144	0.175	0.113	0.309	0.216	0.196	0.33	0.319	0.247	0.236	0.267	0.268	0.175
MgO	12.809	14.427	13.875	14.417	13.632	14.664	14.709	14.866	14.287	15.03	14.942	14.763	15.46	14.719	14.279	14.339	14.108	13.436	13.329	15.168	14.479
CaO	11.864	11.896	11.596	11.956	11.627	11.881	11.975	11.987	11.839	12.12	12.11	12.325	12.243	12.357	12.064	12.492	12.675	12.295	12.387	12.772	12.63
BaO	0.163	0.134	0.052	0	0	0.052	0.03	0	0.089	0	0	0	0.06	0.067	0	0.007	0.022	0.015	0.052	0.015	0
Na2O	1.547	1.308	1.353	1.188	1.193	1.069	0.949	0.855	0.904	0.824	0.8	0.757	0.799	0.637	0.848	0.737	0.603	0.528	0.343	0.274	0.337
K2O	0.448	0.402	0.452	0.422	0.432	0.328	0.327	0.268	0.322	0.271	0.297	0.199	0.234	0.203	0.255	0.247	0.16	0.208	0.1	0.048	0.11
F	0	0.029	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.038	0.041	0.042	0.032	0.032	0.027	0.031	0.021	0.021	0.023	0.034	0.024	0.018	0.012	0.02	0.028	0.016	0.015	0.033	0.002	0
Total	95.71	97.919	96.022	97.237	95.606	97.937	97.19	97.333	96.519	97.196	96.821	97.179	97.28	96.635	96.804	97.121	98.055	97.603	98.047	96.873	98.036
site calculation after Holland and Blundy, 1994																					
T-sites																					
Si	6.55	6.91	6.94	7.09	7.01	7.16	7.06	7.17	7.22	7.31	7.27	7.34	7.27	7.39	7.34	7.29	7.37	7.38	7.52	7.54	7.57
Aliv	1.45	1.09	1.06	0.91	0.99	0.84	0.94	0.83	0.78	0.69	0.73	0.66	0.73	0.61	0.66	0.71	0.63	0.62	0.48	0.46	0.43
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	1.60	1.25	1.31	1.15	1.31	1.03	1.01	0.90	0.97	0.83	0.86	0.82	0.76	0.79	0.87	0.86	0.70	0.75	0.78	0.59	0.60
M1,2,3 sites																					
Alvi	0.15	0.16	0.25	0.24	0.32	0.19	0.07	0.08	0.19	0.13	0.12	0.16	0.04	0.18	0.21	0.15	0.08	0.13	0.29	0.12	0.17
Ti	0.18	0.11	0.18	0.13	0.16	0.15	0.08	0.07	0.07	0.04	0.08	0.04	0.07	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
Fe3+	0.61	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.55	0.40	0.42	0.39	0.36	0.42	0.37	0.36	0.46	0.48	0.40	0.16	0.31	0.22
Mg	2.86	3.11	3.08	3.15	3.03	3.18	3.18	3.21	3.11	3.24	3.24	3.19	3.34	3.19	3.10	3.11	3.04	2.92	2.88	3.27	3.11
Mn	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Fe2+	1.15	1.05	1.45	1.44	1.44	1.45	1.01	1.05	1.22	1.14	1.16	1.20	1.11	1.20	1.27	1.20	1.33	1.50	1.63	1.22	1.47
Ca	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.04	0.01
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																					
Fe	0.00	0.01	0.13	0.10	0.09	0.13	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
Ca	1.88	1.84	1.85	1.88	1.86	1.85	1.86	1.86	1.85	1.88	1.88	1.89	1.90	1.90	1.88	1.91	1.92	1.92	1.92	1.94	1.94
Na	0.12	0.15	0.02	0.02	0.05	0.01	0.13	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.08	0.10	0.12	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																					
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.33	0.22	0.37	0.32	0.29	0.29	0.14	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.15	0.08	0.12	0.12	0.09	0.07	0.04	0.02	0.04
K	0.09	0.07	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02	0.01	0.02
Sum A	0.41	0.29	0.46	0.40	0.38	0.35	0.20	0.17	0.18	0.16	0.16	0.14	0.19	0.12	0.17	0.16	0.12	0.11	0.06	0.03	0.06
OH site																					
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	1.99	1.98	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00	1.99	2.00	2.00
F	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 6 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240128-2①)

sample	Am4-1	Am4-2	Am4-3	Am4-4	Am4-5	Am4-6	Am4-7	Am4-8	Am4-9	Am4-10	Am4-11	Am4-12	Am4-13	Am4-14	Am4-15	Am4-16	Am4-17	Am4-18	Am4-19	Am4-20	Am4-21	Am4-22	Am4-23	Am4-24
SiO2	48.194	47.214	47.028	48.166	49.006	52.862	51.752	50.559	50.62	53.197	52.95	49.983	49.193	51.647	47.541	51.424	52.225	48.363	48.294	49.004	51.809	48.084	48.05	48.952
TiO2	1.04	1.599	1.572	1.69	0.623	0.179	0.237	0.03	0.089	0.089	0.089	0.129	0	0.089	0.177	0	0.119	0.177	0.118	0.118	0	0.029	0	0.088
Al2O3	6.258	7.362	7.528	6.926	6.164	2.82	3.488	4.799	4.534	2.484	3.114	5.704	5.558	3.621	6.562	3.765	3.243	6.108	6.291	5.892	3.472	6.143	6.386	5.905
Cr2O3	0.108	0.093	0.048	0.057	0.05	0	0.097	0.14	0.019	0.041	0.017	0.005	0.083	0.017	0	0.019	0.064	0.019	0	0.031	0.012	0.054	0.026	0
FeO	11.129	13.108	12.191	12.009	12.68	11.36	13.823	14.58	15.145	11.979	12.287	11.811	15.56	13.488	17.297	13.612	13.174	16.527	16.853	16.584	14.374	16.638	16.697	17.04
MnO	0.176	0.134	0.165	0.279	0.299	0.372	0.268	0.299	0.237	0.269	0.3	0.083	0.35	0.258	0.411	0.175	0.32	0.257	0.421	0.421	0.216	0.349	0.318	0.298
MgO	14.921	14.254	13.884	14.296	14.608	16.309	14.75	13.67	13.37	15.206	15.645	14.979	12.47	14.588	12.083	14.012	14.699	12.528	12.326	12.662	14.989	11.905	12.24	12.155
CaO	12.02	12.36	12.233	12.16	12.405	12.666	12.553	12.374	12.298	12.679	12.63	12.373	12.257	12.176	12.699	12.439	12.659	12.409	12.206	12.316	12.871	12.421	12.168	12.405
BaO	0	0.015	0.045	0	0.052	0	0	0.082	0.045	0.037	0.015	0.007	0.015	0.082	0	0.194	0.045	0	0.007	0	0	0.022	0	0
Na2O	0.983	1.215	1.212	1.149	0.954	0.347	0.388	0.671	0.445	0.192	0.246	0.921	0.608	0.317	0.712	0.43	0.293	0.693	0.734	0.756	0.361	0.643	0.642	0.65
K2O	0.349	0.387	0.433	0.329	0.366	0.116	0.128	0.185	0.154	0.039	0.114	0.263	0.226	0.102	0.238	0.18	0.118	0.279	0.256	0.257	0.153	0.249	0.253	0.201
F	0	0	0.009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.044	0.034	0.034	0.033	0.034	0.009	0.032	0.016	0.014	0.013	0.015	0.038	0.013	0.044	0.024	0.048	0.042	0.011	0.019	0.008	0.001	0.003	0.027	0.02
Total	95.222	97.775	96.382	97.094	97.241	97.04	97.516	97.405	96.97	96.225	97.363	97.296	96.333	96.429	97.744	96.298	97.001	97.371	97.525	98.049	98.258	96.54	96.807	97.714
site calculation after Holland and Blundy, 1994																								
T-sites																								
Si	7.16	6.85	6.96	7.05	7.11	7.60	7.48	7.36	7.41	7.76	7.62	7.26	7.28	7.55	6.97	7.55	7.59	7.09	7.08	7.14	7.43	7.13	7.08	7.17
Aliv	0.84	1.15	1.04	0.95	0.89	0.40	0.52	0.64	0.59	0.24	0.38	0.74	0.72	0.45	1.03	0.45	0.41	0.91	0.92	0.86	0.57	0.87	0.92	0.83
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	1.10	1.26	1.31	1.19	1.05	0.48	0.59	0.82	0.78	0.43	0.53	0.98	0.97	0.62	1.13	0.65	0.56	1.06	1.09	1.01	0.59	1.07	1.11	1.02
M1,2,3 sites																								
M4 site	0.25	0.11	0.27	0.25	0.17	0.08	0.08	0.18	0.19	0.19	0.14	0.24	0.24	0.17	0.10	0.21	0.14	0.15	0.16	0.15	0.02	0.21	0.19	0.19
Ti	0.12	0.17	0.18	0.19	0.07	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.12	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Fe3+	0.00	0.46	0.00	0.00	0.43	0.27	0.35	0.40	0.35	0.00	0.21	0.00	0.42	0.24	0.78	0.20	0.22	0.63	0.68	0.62	0.49	0.55	0.67	0.57
Mg	3.30	3.08	3.06	3.12	3.16	3.49	3.18	2.97	2.92	3.31	3.35	3.24	2.75	3.18	2.64	3.07	3.18	2.74	2.69	2.75	3.21	2.63	2.69	2.65
Mn	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04
Fe2+	1.31	1.13	1.47	1.41	1.11	1.10	1.32	1.37	1.50	1.46	1.25	1.39	1.50	1.37	1.34	1.47	1.39	1.40	1.39	1.40	1.23	1.51	1.39	1.52
Ca	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																								
Fe	0.07	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.91	1.89	1.94	1.91	1.90	1.95	1.93	1.89	1.93	1.98	1.95	1.93	1.91	1.91	1.93	1.93	1.95	1.92	1.90	1.90	1.96	1.93	1.91	1.92
Na	0.01	0.11	0.02	0.04	0.10	0.05	0.07	0.11	0.07	0.02	0.04	0.03	0.09	0.05	0.07	0.07	0.05	0.08	0.10	0.10	0.04	0.07	0.09	0.08
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																								
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.27	0.23	0.33	0.29	0.17	0.05	0.04	0.08	0.06	0.03	0.03	0.23	0.08	0.04	0.13	0.05	0.03	0.11	0.11	0.11	0.06	0.11	0.09	0.10
K	0.07	0.07	0.08	0.06	0.07	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.05	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04
Sum A	0.34	0.31	0.41	0.35	0.24	0.07	0.07	0.11	0.09	0.04	0.05	0.28	0.12	0.06	0.18	0.08	0.05	0.17	0.16	0.16	0.09	0.16	0.14	0.14
OH site																								
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	1.99
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 7 - 1 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240128-2②)

sample	Am6-1	Am6-2	Am6-3	Am6-4	Am6-5	Am6-6	Am6-7	Am6-8	Am6-9	Am6-10	Am6-11	Am6-12	Am6-13	Am6-14	Am6-15	Am6-16	Am6-17	Am6-18	Am6-19	Am6-20
SiO2	53.176	53.596	50.915	50.63	48.47	51.778	52.619	50.145	50.203	51.109	51.416	49.678	49.772	50.686	50.378	52.727	50.262	50.599	48.106	48.498
TiO2	0	0	0.03	0	0.03	0.177	0	0.089	0	0	0.148	0.147	0	0	0.266	0.03	0	0.414	1.414	1.096
Al2O3	3.212	2.833	5.048	5.278	5.773	4.358	3.115	5.115	4.583	4.262	3.444	5.267	4.668	3.89	4.474	2.655	4.752	4.793	6.346	6.49
Cr2O3	0.072	0	0	0.038	0	0.057	0.078	0.066	0	0.043	0	0.04	0.042	0.083	0.075	0.064	0.068	0.074	0.085	0.105
FeO	11.375	13.736	12.588	14.507	15.01	15.083	12.654	15.312	15.418	14.553	14.663	16.57	16.457	15.418	15.874	14.371	15.008	14.131	14.58	11.849
MnO	0.289	0.279	0.288	0.494	0.308	0.35	0.165	0.175	0.391	0.411	0.339	0.318	0.359	0.411	0.267	0.267	0.205	0.093	0.359	0.144
MgO	15.84	15.238	14.371	13.593	14.171	13.593	15.117	12.947	13.77	14.033	13.98	12.731	13.005	13.375	13.339	14.926	13.388	14.52	13.656	15.219
CaO	12.877	12.502	12.347	12.558	12.53	12.652	12.43	12.576	12.451	12.866	12.482	12.409	12.35	12.343	12.45	12.451	12.586	12.447	11.931	12.107
BaO	0.075	0.037	0	0.045	0	0.074	0.022	0	0.022	0.089	0.007	0.148	0	0.126	0.015	0.037	0	0	0.03	0.06
Na2O	0.266	0.248	0.563	0.649	0.627	0.463	0.274	0.514	0.519	0.395	0.357	0.613	0.582	0.535	0.605	0.334	0.683	0.73	1.056	1.071
K2O	0.051	0.093	0.255	0.176	0.241	0.164	0.085	0.199	0.158	0.118	0.116	0.231	0.194	0.201	0.221	0.079	0.206	0.21	0.337	0.304
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.005	0.017	0.021	0.017	0.022	0.045	0.029	0.009	0.005	0.005	0.012	0.014	0.018	0.005	0.014	0.007	0.018	0.015	0.028	0.035
Total	97.238	98.579	96.426	98.563	96.604	99.137	96.588	97.147	97.52	97.884	96.964	98.166	97.447	97.073	97.978	97.948	97.176	98.026	97.928	96.978
site calculation after Holland and Blundy, 1994																				
T-sites																				
Si	7.63	7.65	7.46	7.26	7.11	7.41	7.65	7.34	7.30	7.39	7.51	7.23	7.28	7.43	7.32	7.60	7.35	7.29	6.99	7.02
Aliv	0.37	0.35	0.54	0.74	0.89	0.59	0.35	0.66	0.70	0.61	0.49	0.77	0.72	0.57	0.68	0.40	0.65	0.71	1.01	0.98
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	0.54	0.48	0.87	0.89	1.00	0.74	0.53	0.88	0.79	0.73	0.59	0.90	0.80	0.67	0.77	0.45	0.82	0.81	1.09	1.11
M1,2,3 sites																				
Alvi	0.18	0.13	0.33	0.15	0.11	0.15	0.18	0.22	0.08	0.11	0.10	0.13	0.08	0.10	0.09	0.05	0.17	0.10	0.07	0.13
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.15	0.12
Fe3+	0.17	0.20	0.00	0.56	0.70	0.37	0.15	0.37	0.59	0.48	0.33	0.56	0.59	0.42	0.48	0.33	0.37	0.46	0.52	0.48
Mg	3.39	3.24	3.14	3.03	2.97	2.97	3.28	2.82	2.98	3.02	3.04	2.76	2.84	2.92	2.89	3.21	2.92	3.12	2.96	3.29
Mn	0.04	0.03	0.04	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02
Fe2+	1.20	1.39	1.49	1.18	1.15	1.44	1.38	1.51	1.28	1.28	1.46	1.46	1.42	1.47	1.45	1.38	1.46	1.24	1.25	0.96
Ca	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.00	0.05	0.01	0.06	0.00	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.05	0.02	0.00	0.01
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																				
Fe	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.95	1.91	1.94	1.90	1.93	1.93	1.94	1.92	1.93	1.93	1.95	1.90	1.91	1.91	1.91	1.92	1.92	1.90	1.86	1.87
Na	0.05	0.04	0.01	0.10	0.07	0.07	0.05	0.08	0.07	0.07	0.05	0.10	0.09	0.09	0.09	0.06	0.08	0.10	0.14	0.13
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																				
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.02	0.03	0.15	0.08	0.11	0.05	0.03	0.07	0.07	0.05	0.05	0.07	0.08	0.06	0.08	0.04	0.12	0.10	0.16	0.17
K	0.01	0.02	0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	0.04	0.04	0.06	0.06
Sum A	0.03	0.05	0.20	0.12	0.15	0.08	0.04	0.11	0.10	0.07	0.07	0.12	0.11	0.10	0.12	0.05	0.16	0.14	0.22	0.22
OH site																				
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	2.00	2.00	1.99	2.00	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	1.99
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 7－2 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240128-2②)

sample	Am6-21	Am6-22	Am6-23	Am6-24	Am6-25	Am6-26	Am6-27	Am6-28	Am6-29	Am6-30	Am6-31	Am6-32	Am6-33	Am6-34	Am6-35	Am6-36	Am6-37	Am6-38	Am6-39	Am6-40
SiO2	50.296	51.21	48.101	51.175	50.55	52.423	49.535	50.803	45.718	51.211	46.788	48.866	48.274	50.469	51.712	48.864	45.339	48.243	52.627	49.509
TiO2	0	0.207	0.029	0.148	0.059	0.118	0.324	0.03	1.678	0.118	1.832	1.453	1.154	0.802	0.535	1.124	1.592	1.036	0.446	1.155
Al2O3	4.693	3.966	6.262	4.09	4.411	2.57	4.634	4.674	8.309	3.592	7.77	6.599	6.904	5.036	4.213	6.381	8.74	6.85	3.597	6.035
Cr2O3	0.113	0.017	0.049	0.052	0.059	0.036	0.047	0.043	0.04	0.12	0.04	0.05	0.05	0	0	0.012	0.059	0.09	0.055	0.086
FeO	15.213	13.838	17.258	15.291	16.024	12.845	16.151	13.111	14.3	16.606	12.236	11.518	12.536	10.479	10.718	12.126	14.026	12.304	10.653	12.093
MnO	0.257	0.422	0.297	0.257	0.267	0.422	0.297	0.268	0.277	0.543	0.216	0.268	0.216	0.258	0.134	0.329	0.154	0.268	0.268	0.185
MgO	13.701	13.776	12.106	13.668	13.43	15.076	13.077	13.985	12.098	13.083	14.189	14.959	14.547	15.582	16.446	14.945	12.994	14.837	16.848	15.272
CaO	12.21	12.125	12.382	12.388	12.223	12.516	12.342	12.486	12.103	12.353	12.091	12.077	12.025	12.309	12.029	12.069	11.783	12.226	12.221	12.337
BaO	0.104	0.037	0	0	0	0.007	0.015	0.037	0	0.037	0.067	0	0.03	0.037	0.015	0.06	0.015	0.052	0.015	0
Na2O	0.483	0.458	0.57	0.446	0.57	0.247	0.698	0.561	1.243	0.661	1.437	1.088	1.249	0.865	0.76	1.165	1.424	1.222	0.642	1.015
K2O	0.161	0.149	0.296	0.159	0.174	0.052	0.188	0.224	0.502	0.121	0.404	0.328	0.346	0.254	0.242	0.324	0.483	0.371	0.176	0.316
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.049	0	0	0.016
Cl	0.006	0.049	0.055	0.04	0.021	0.019	0.014	0.016	0.033	0.041	0.033	0.028	0.039	0.026	0.017	0.033	0.045	0.04	0.008	0.02
Total	97.237	96.254	97.405	97.714	97.788	96.331	97.322	96.238	96.301	98.486	97.103	97.23	97.37	96.117	96.821	97.432	96.703	97.539	97.556	98.039
site calculation after Holland and Blundy, 1994																				
T-sites																				
Si	7.33	7.56	7.07	7.44	7.35	7.65	7.26	7.45	6.85	7.43	6.88	7.11	7.00	7.37	7.48	7.07	6.69	6.98	7.54	7.10
Aliv	0.67	0.44	0.93	0.56	0.65	0.35	0.74	0.55	1.15	0.57	1.12	0.89	1.00	0.63	0.52	0.93	1.31	1.02	0.46	0.90
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	0.81	0.69	1.08	0.70	0.76	0.44	0.80	0.81	1.47	0.61	1.35	1.13	1.18	0.87	0.72	1.09	1.52	1.17	0.61	1.02
M1,2,3 sites																				
Alvi	0.14	0.25	0.15	0.14	0.11	0.09	0.06	0.26	0.32	0.05	0.23	0.25	0.18	0.24	0.20	0.15	0.21	0.15	0.15	0.12
Ti	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00	0.19	0.01	0.20	0.16	0.13	0.09	0.06	0.12	0.18	0.11	0.05	0.12
Fe3+	0.48	0.00	0.71	0.36	0.49	0.22	0.54	0.23	0.00	0.45	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.40	0.48	0.00	0.00	0.40
Mg	2.98	3.03	2.85	2.96	2.91	3.28	2.86	3.06	2.70	2.83	3.11	3.25	3.15	3.39	3.55	3.22	2.86	3.20	3.60	3.27
Mn	0.03	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02
Fe2+	1.37	1.64	1.41	1.50	1.45	1.34	1.44	1.38	1.75	1.57	1.43	1.32	1.13	1.25	1.18	1.07	1.25	1.04	1.17	1.06
Ca	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																				
Fe	0.01	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08	0.09	0.00	0.03	0.11	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
Ca	1.91	1.92	1.91	1.93	1.90	1.96	1.91	1.92	1.94	1.90	1.91	1.88	1.87	1.93	1.86	1.87	1.86	1.88	1.88	1.88
Na	0.09	0.01	0.09	0.07	0.09	0.04	0.09	0.08	0.01	0.10	0.01	0.03	0.13	0.04	0.02	0.13	0.13	0.12	0.01	0.12
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																				
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.05	0.12	0.08	0.06	0.07	0.03	0.11	0.08	0.35	0.08	0.40	0.28	0.22	0.20	0.19	0.20	0.27	0.22	0.17	0.16
K	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.01	0.04	0.04	0.10	0.02	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04	0.06	0.09	0.07	0.03	0.06
Sum A	0.08	0.15	0.13	0.09	0.11	0.04	0.14	0.12	0.44	0.10	0.47	0.34	0.28	0.25	0.23	0.26	0.36	0.29	0.20	0.22
OH site																				
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	1.99	1.97	1.99	2.00	1.99
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Cl	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表 8 角閃石の EPMA 分析値と陽イオンの配置 (試料 240128-4)

sample	Am3-1	Am3-2	Am3-3	Am3-4	Am3-5	Am3-6	Am3-7	Am3-8	Am3-9	Am3-10	Am3-11	Am3-12	Am3-13	Am3-14	Am3-15	Am3-16	Am3-17
SiO2	48.21	47.775	47.949	47.858	48.989	48.617	48.914	49.176	49.841	50.342	52.71	52.915	53.41	51.206	50.684	49.832	51.153
TiO2	0.414	1.004	0.532	0.767	0.887	1.005	0.859	0.712	0.769	0.474	0.089	0.119	0.03	0.238	0.355	0.03	0.178
Al2O3	6.288	6.778	6.414	6.357	5.932	5.901	5.68	5.354	5.037	4.809	3.724	3.025	2.359	4.229	4.827	5.606	4.954
Cr2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.028	0.01	0	0	0.002	0	0	0
FeO	14.765	14.498	14.527	15.508	14.576	14.823	13.931	14.375	14.047	14.152	12.988	12.557	11.527	12.58	14.023	14.17	13.515
MnO	0.443	0.638	0.628	0.442	0.464	0.422	0.629	0.372	0.577	0.392	0.403	0.506	0.444	0.33	0.433	0.278	0.423
MgO	13.366	13.064	13.288	13.174	13.904	13.837	14.116	13.686	14.535	14.604	15.677	15.684	16.312	15.156	14.529	13.477	14.291
CaO	11.789	11.537	11.657	11.665	11.741	11.654	12.038	12.048	11.666	11.923	12.263	12.34	12.458	12.457	12.157	12.398	12.716
BaO	0.022	0.216	0.037	0	0.007	0.097	0.052	0	0.037	0	0	0.112	0.015	0.06	0.03	0	0.052
Na2O	0.949	1.155	1.177	1.064	0.832	0.867	0.867	0.777	0.566	0.71	0.503	0.366	0.267	0.489	0.524	0.509	0.419
K2O	0.299	0.278	0.324	0.312	0.274	0.357	0.34	0.275	0.276	0.296	0.143	0.071	0.037	0.161	0.132	0.144	0.152
F	0.002	0	0	0	0	0.023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl	0.054	0.052	0.05	0.042	0.022	0.019	0.03	0.015	0.017	0.02	0.021	0.011	0.042	0.053	0.061	0.046	0.025
Total	96.601	96.995	96.583	97.189	97.628	97.622	97.456	96.79	97.368	97.75	98.531	97.706	96.901	96.961	97.755	96.49	97.878
site calculation after Holland and Blundy, 1994																	
T-sites																	
Si	7.08	7.02	7.06	7.01	7.11	7.08	7.11	7.20	7.24	7.28	7.50	7.60	7.69	7.41	7.31	7.30	7.37
Aliv	0.92	0.98	0.94	0.99	0.89	0.92	0.89	0.80	0.76	0.72	0.50	0.40	0.31	0.59	0.69	0.70	0.63
total	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al (total)	1.09	1.17	1.11	1.10	1.01	1.01	0.97	0.92	0.86	0.82	0.62	0.51	0.40	0.72	0.82	0.97	0.84
M1,2,3 sites																	
Alvi	0.17	0.19	0.18	0.11	0.13	0.09	0.08	0.13	0.10	0.10	0.13	0.11	0.09	0.14	0.14	0.27	0.21
Ti	0.05	0.11	0.06	0.08	0.10	0.11	0.09	0.08	0.08	0.05	0.01	0.01	0.00	0.03	0.04	0.00	0.02
Fe3+	0.59	0.49	0.53	0.64	0.52	0.55	0.56	0.46	0.45	0.47	0.32	0.26	0.20	0.37	0.45	0.40	0.36
Mg	2.93	2.86	2.92	2.88	3.01	3.00	3.06	2.99	3.15	3.15	3.33	3.36	3.50	3.27	3.13	2.94	3.07
Mn	0.06	0.08	0.08	0.05	0.06	0.05	0.08	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	0.05
Fe2+	1.21	1.27	1.24	1.24	1.19	1.20	1.13	1.30	1.16	1.19	1.17	1.20	1.15	1.15	1.20	1.33	1.27
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
M4 site																	
Fe	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.06	0.00	0.00	0.10	0.05	0.06	0.05	0.04	0.00	0.05	0.00	0.00
Ca	1.86	1.82	1.84	1.83	1.83	1.82	1.87	1.89	1.81	1.85	1.87	1.90	1.92	1.93	1.88	1.93	1.94
Na	0.13	0.16	0.14	0.14	0.12	0.13	0.12	0.11	0.08	0.10	0.07	0.06	0.04	0.07	0.07	0.07	0.06
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
A site																	
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.14	0.16	0.20	0.16	0.12	0.12	0.12	0.11	0.08	0.10	0.07	0.04	0.04	0.07	0.07	0.07	0.06
K	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.03	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03
Sum A	0.19	0.22	0.26	0.22	0.17	0.18	0.18	0.16	0.13	0.15	0.09	0.06	0.04	0.10	0.10	0.10	0.08
OH site																	
O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OH	1.99	1.99	1.99	1.99	1.99	1.98	1.99	2.00	2.00	2.00	1.99	2.00	1.99	1.99	1.98	1.99	1.99
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
total	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

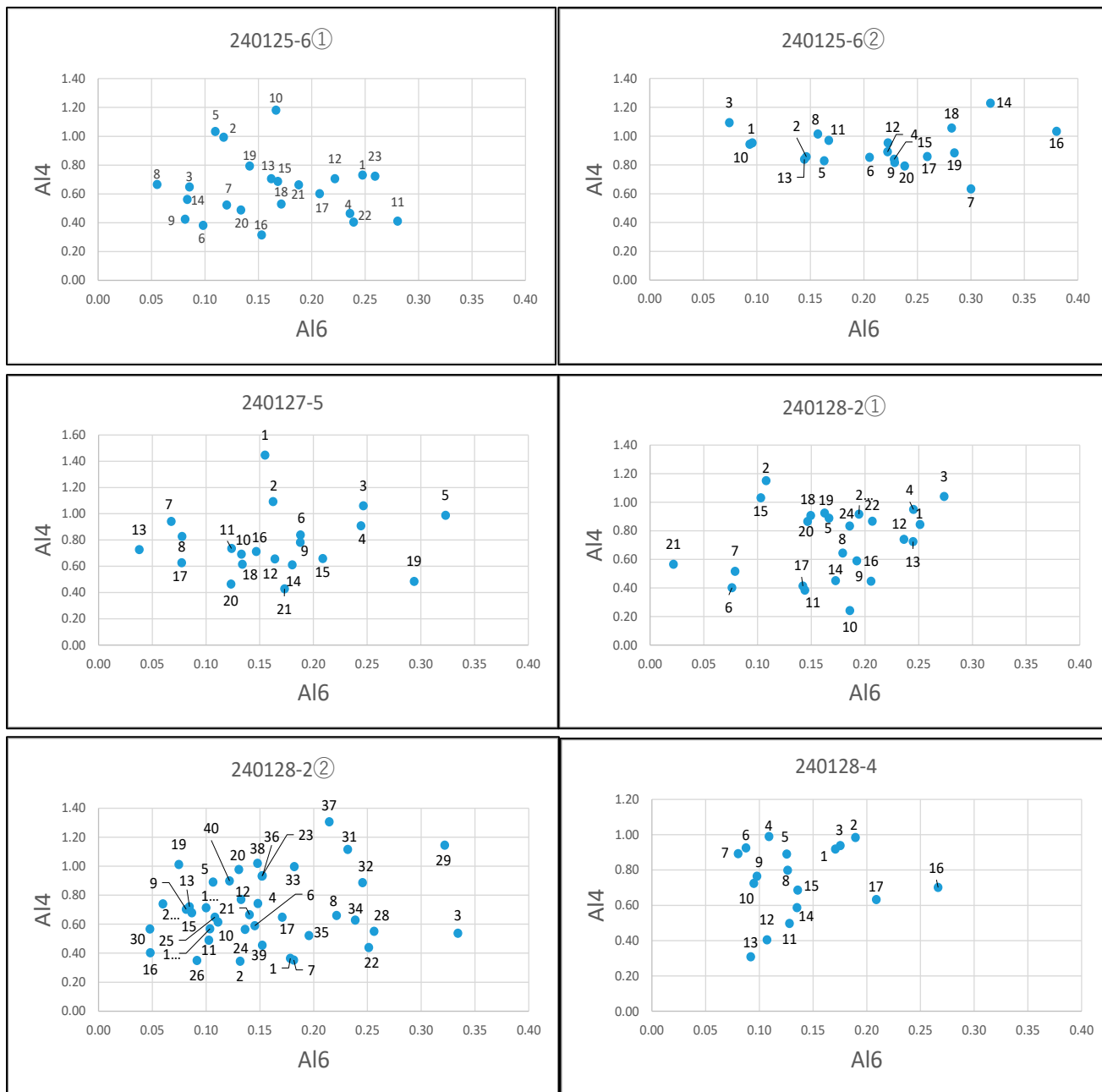
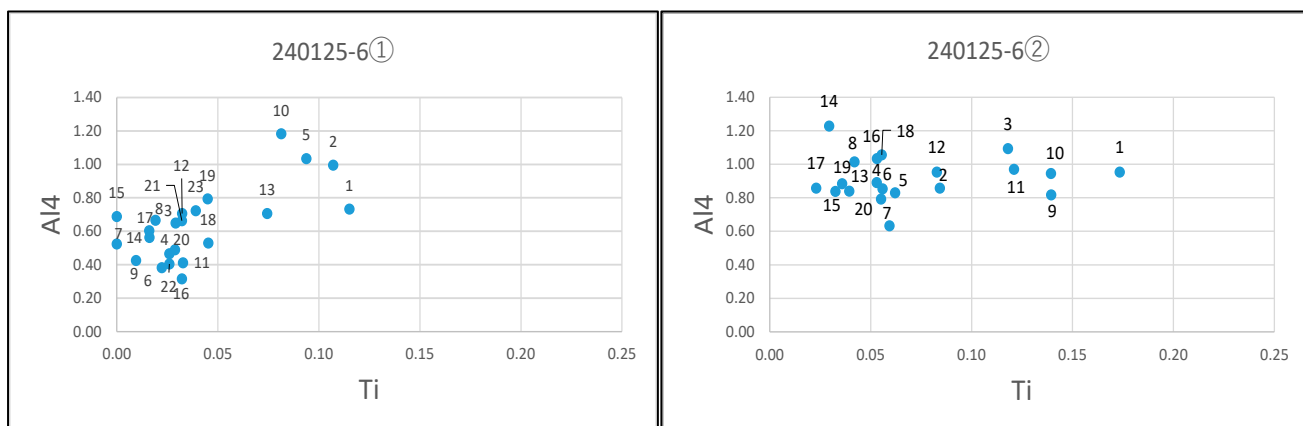


図 42 $Al^{VI}-Al^{IV}$ の関係図



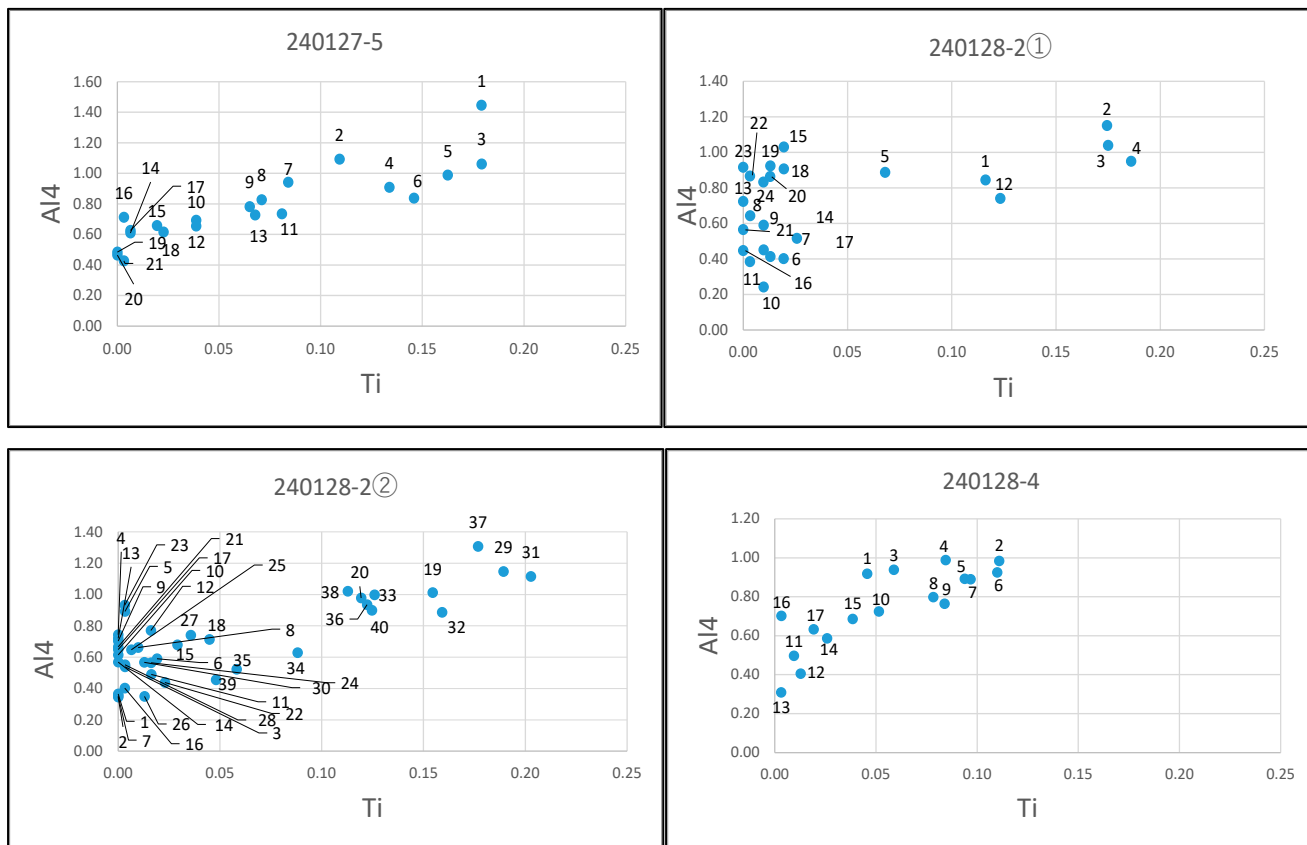
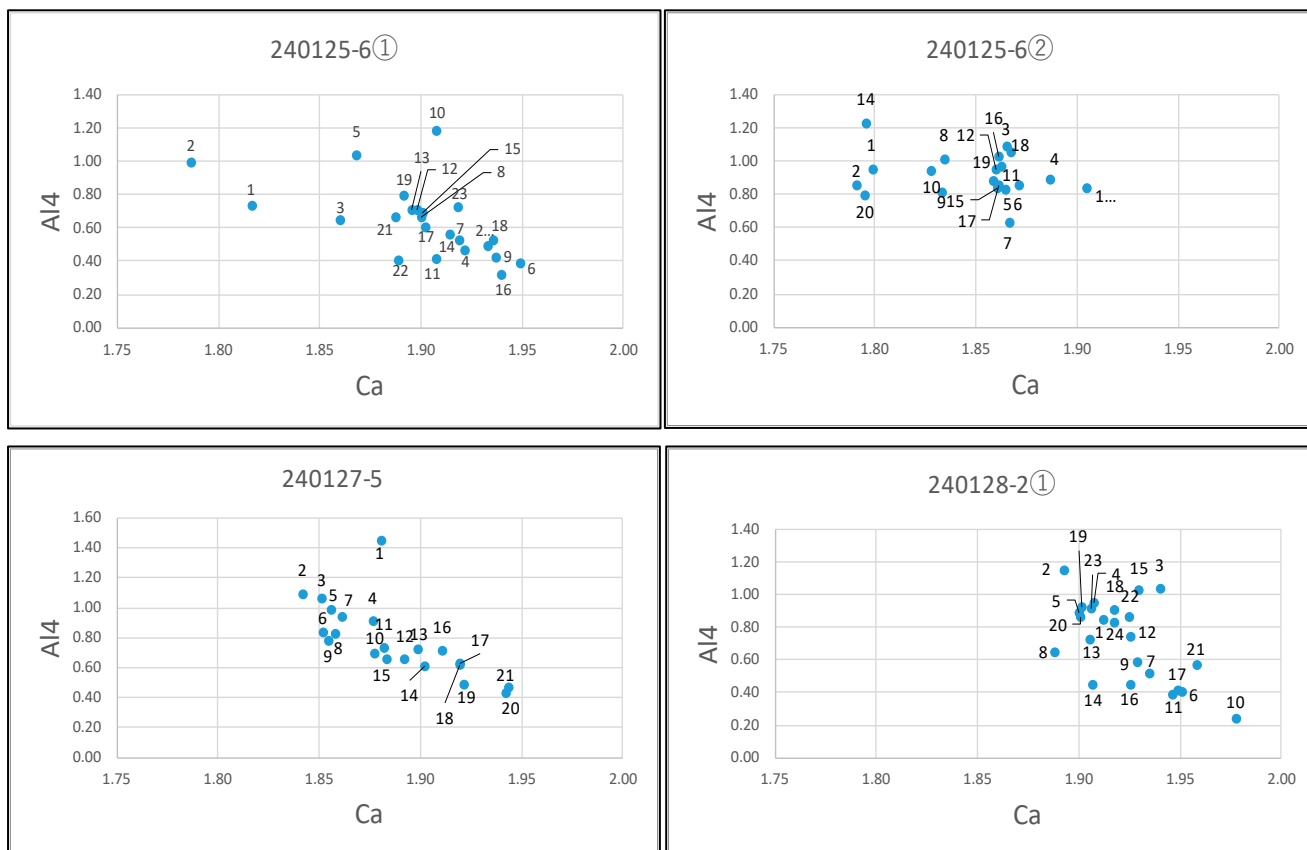


図 43 Ti-Al^{IV} の関係図



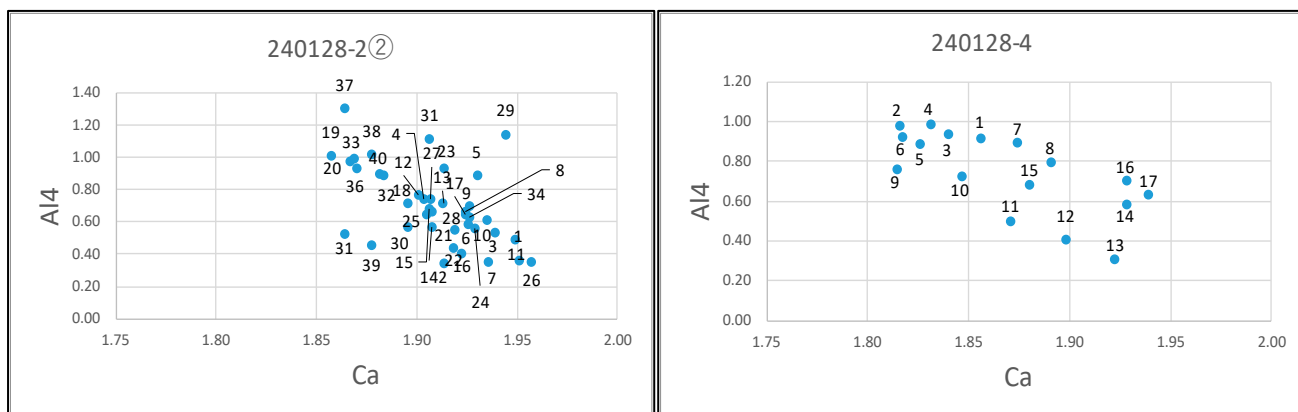


図 44 Ca-Al^{IV} の関係図

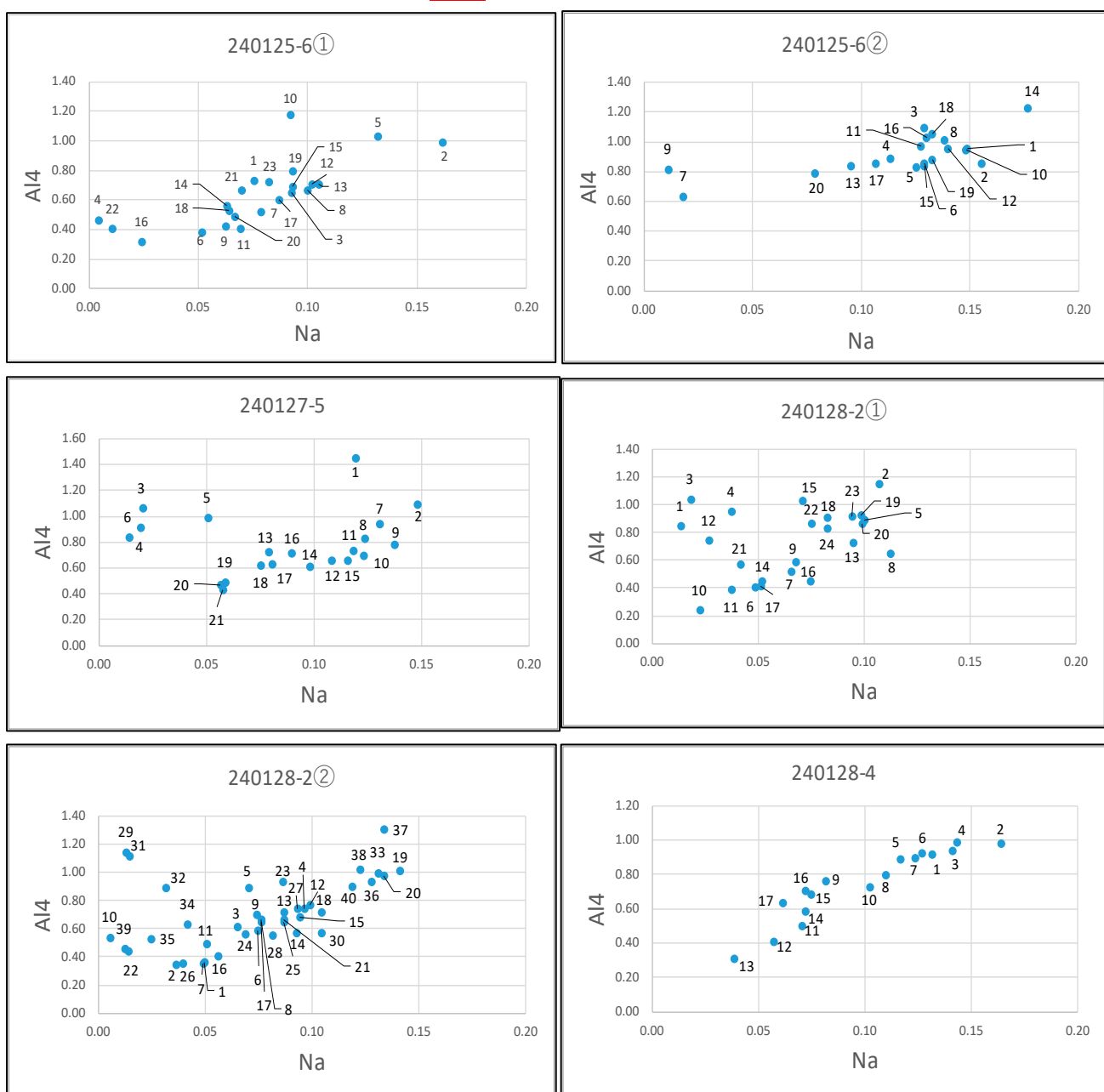


図 45 Na-Al^{IV} の関係図

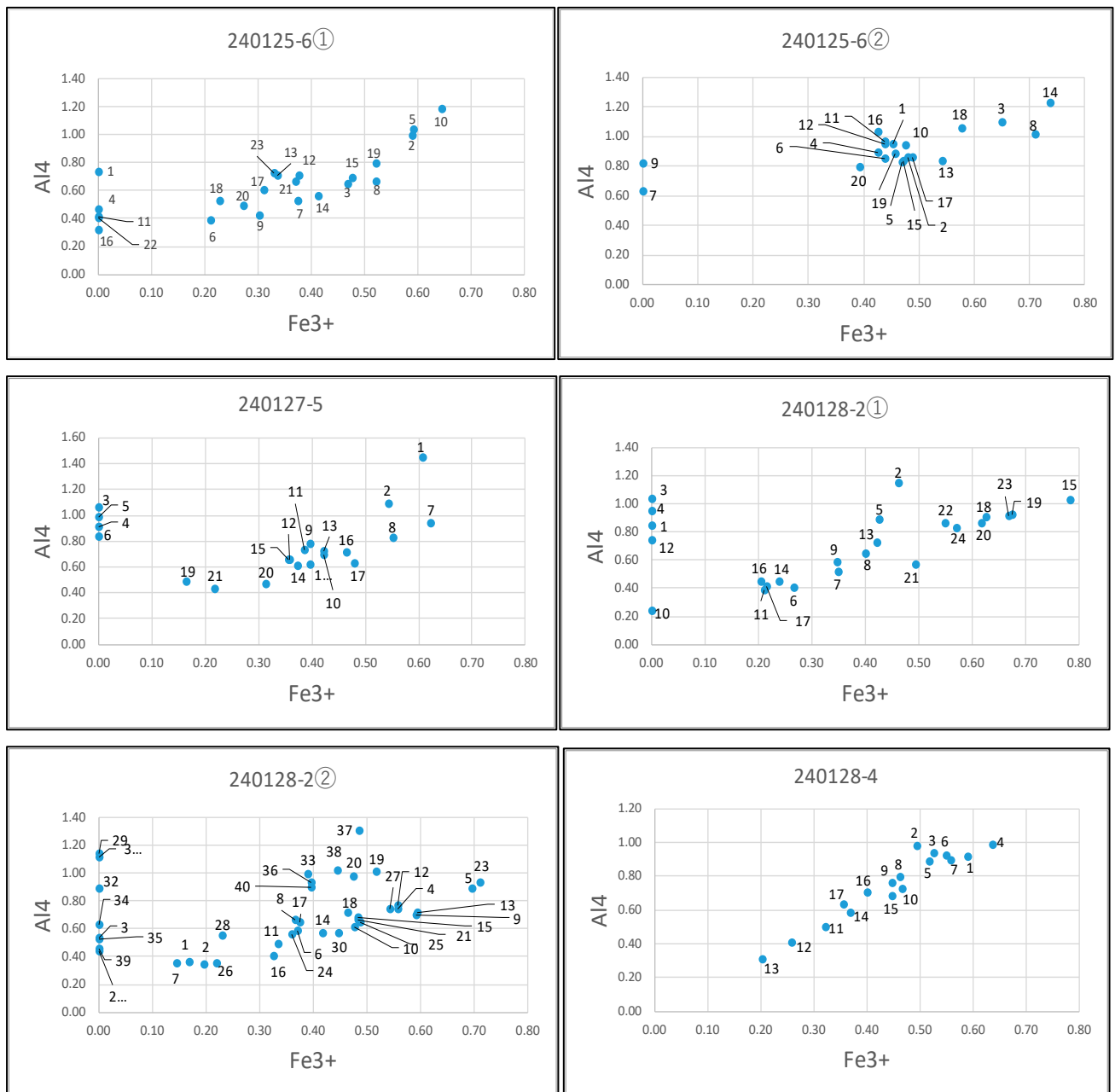
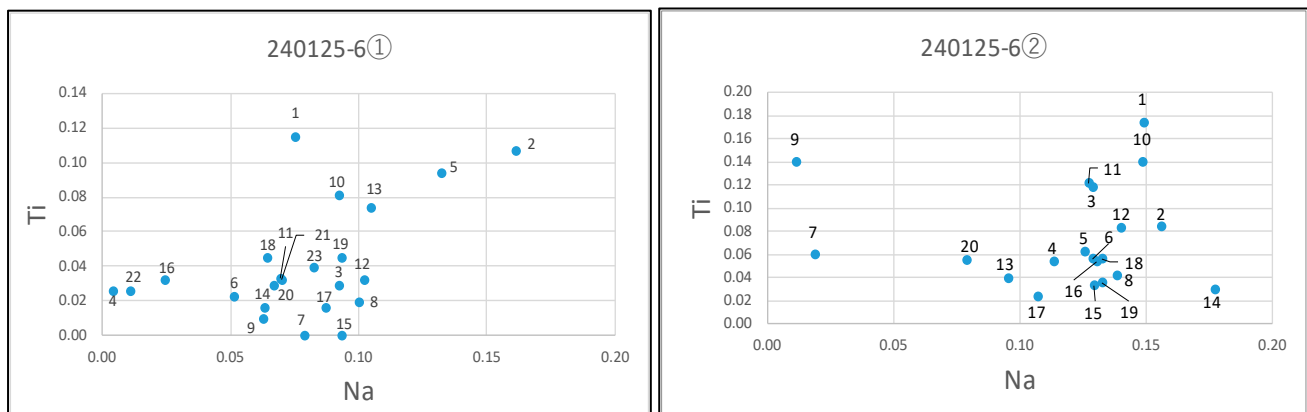


図 46 Fe^{3+} - Al^{IV} の関係図



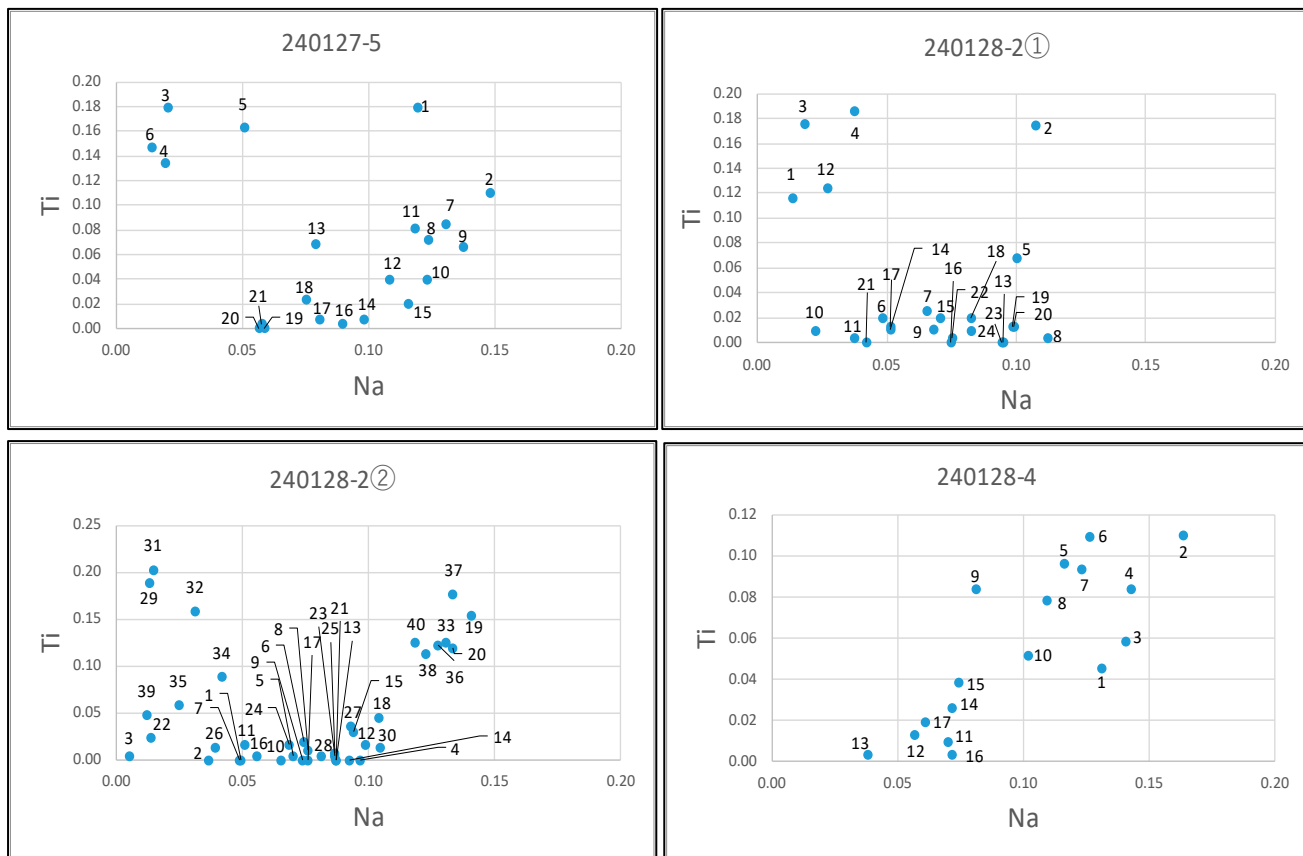
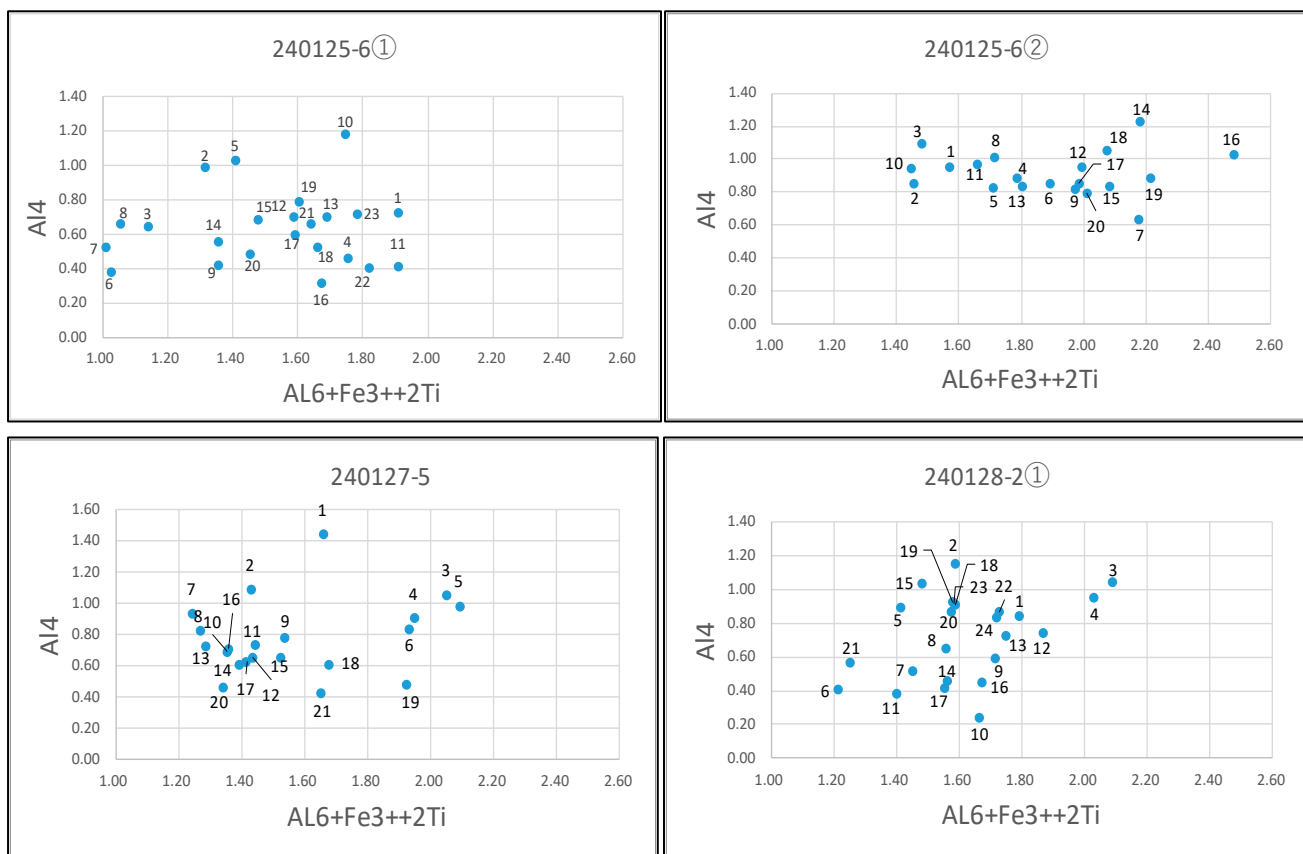


図 47 Na-Ti の関係図



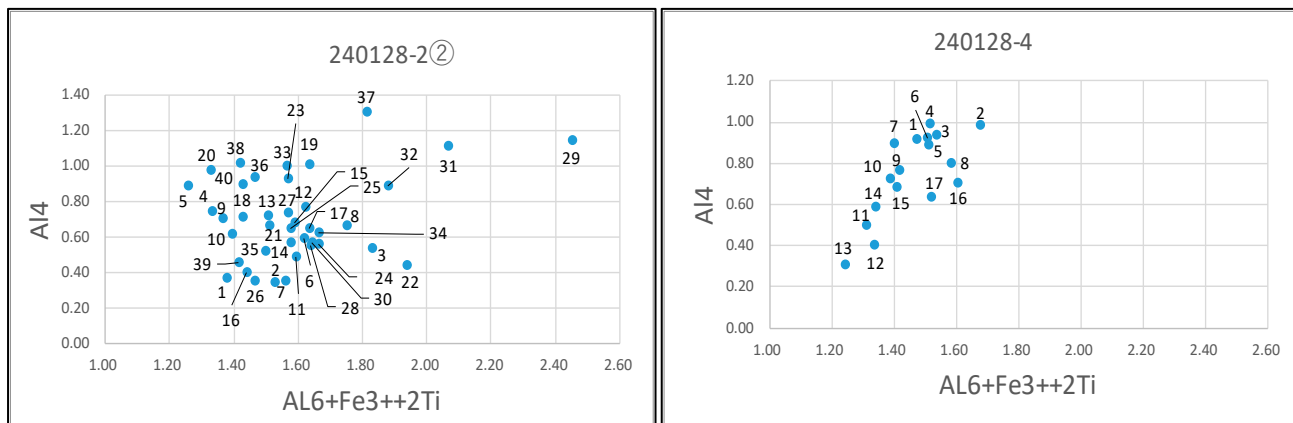


図 48 $Al^{VI} + Fe^{3+} + 2 Ti - Al^{IV}$ の関係図

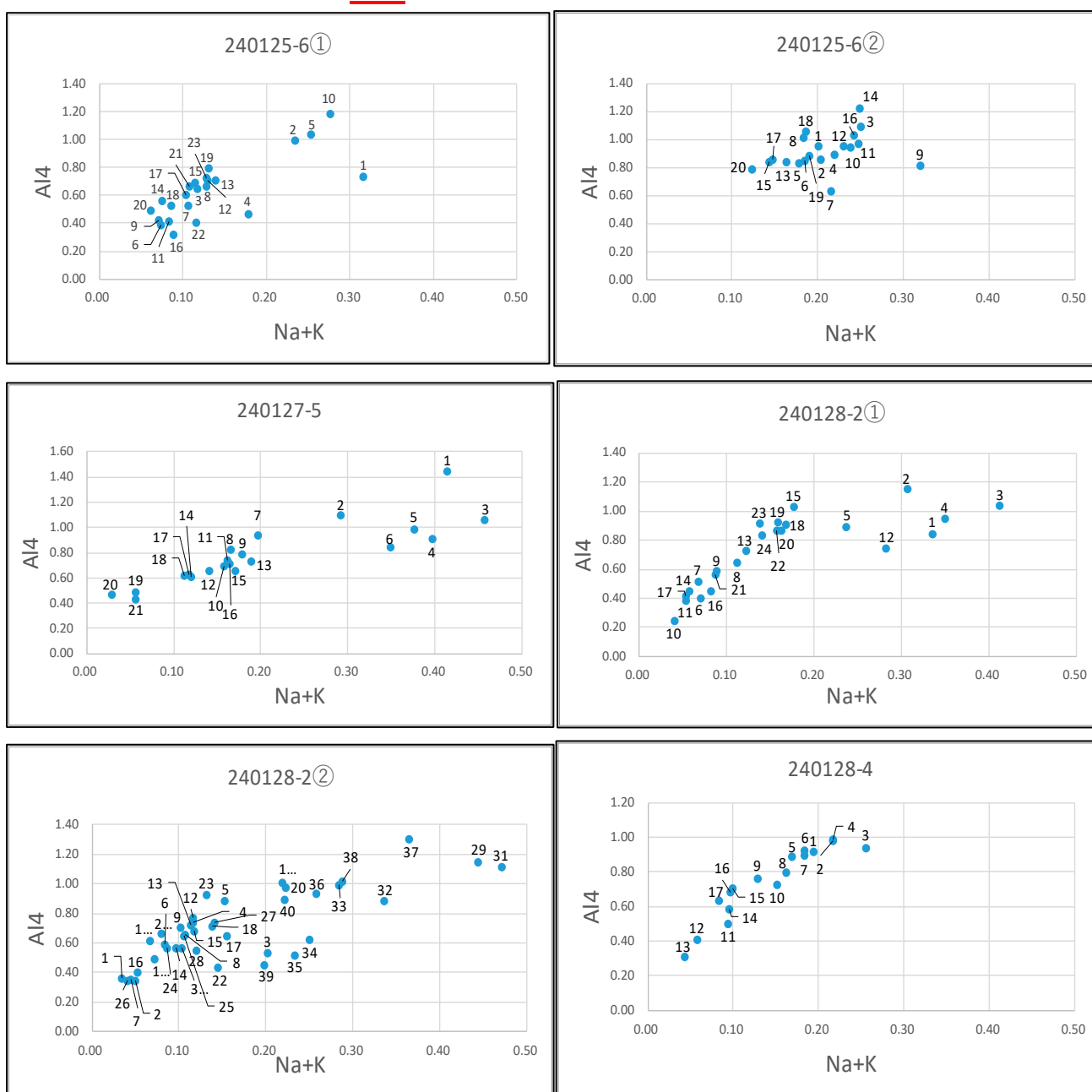


図 49 $Na + K - Al^{IV}$ の関係図

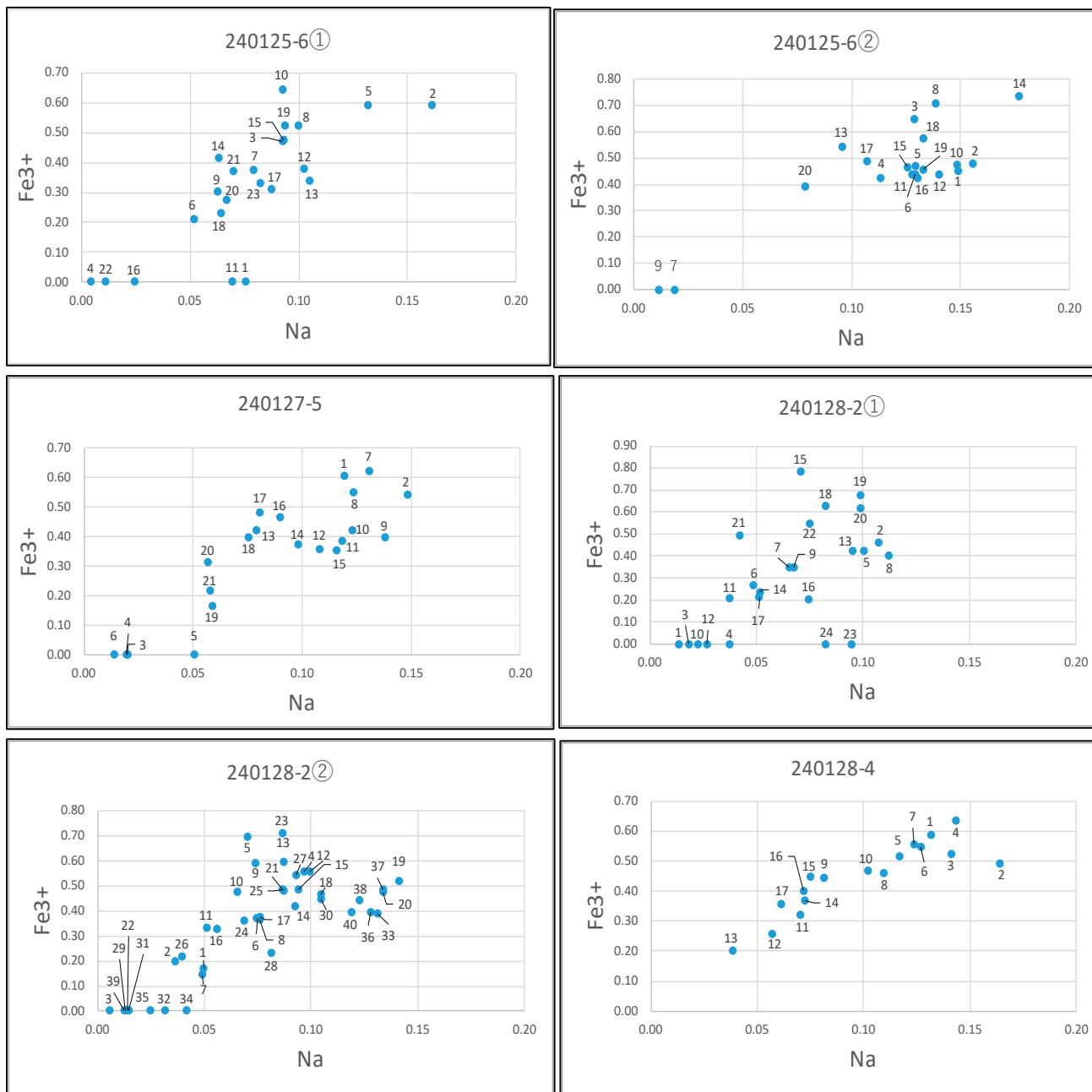
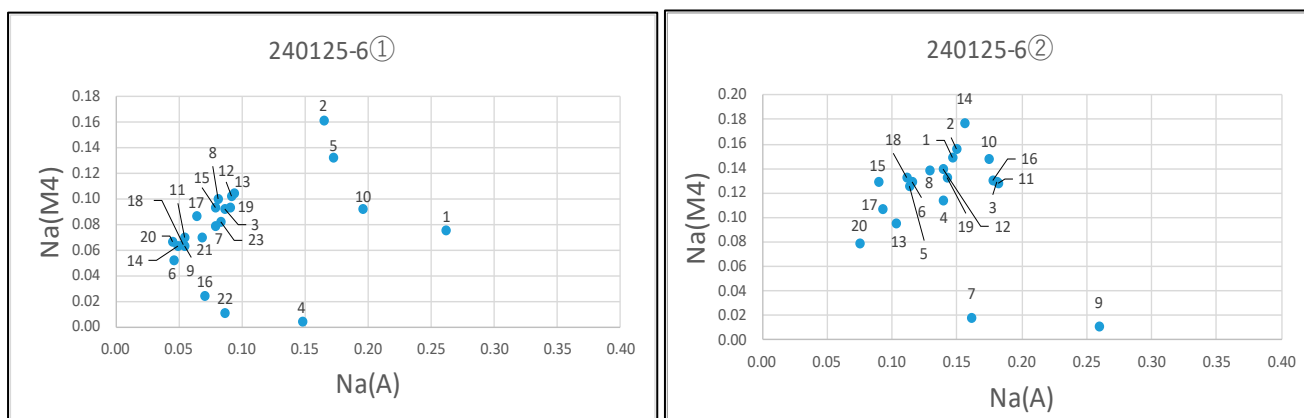


図 50 Na- Fe^{3+} の関係図



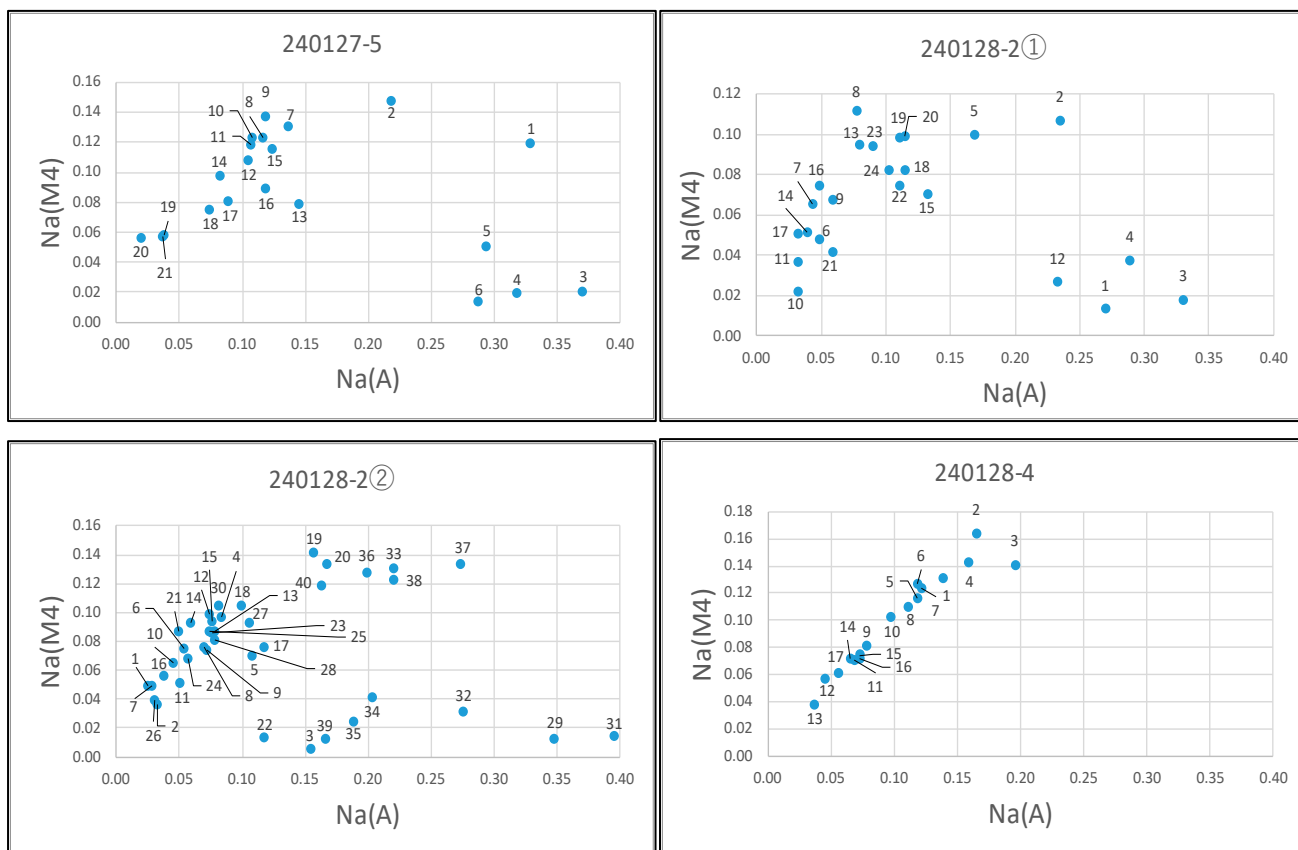


図 51 Na(A)-Na(M4)の関係図

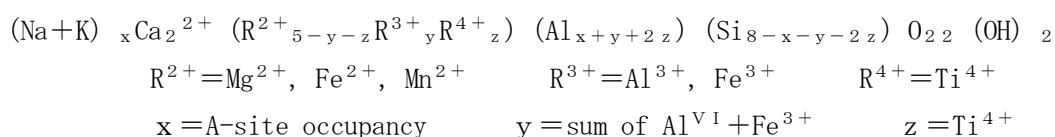
6. 考察

トーナル岩に包有される閃緑岩の捕獲岩は、両岩の接触面付近ではブロック状だが、接触面から離れるにつれて次第に大きく引き延ばされて一方向に配列することから、閃緑岩の固結後に、分化したトーナル岩マグマが閃緑岩を取り囲んで巻き上げ、その熱対流によって閃緑岩片をブロック状に剥がしとったと考えられる。閃緑岩もトーナル岩も、構成鉱物に違いはなく、同質のマグマによる一連のマグマ活動であったことが伺える。ただし、先に分化した閃緑岩が固結した後にトーナル岩マグマが上昇していることから、マグマがよく混ざり合わない不混和で不連続な活動であった。Wiebe and Collins (1998) や Smith (2004) は、先行して固結した岩石を捕獲岩として取り込む構造は、上昇する花崗岩類マグマの固結過程で、先行して固結している岩石を後から上昇してきたマグマの中に捕獲岩として取り込み、既に固結していた花崗岩類の壁に沿うように引き延ばされて配列することによって形成されることを示している。捕獲岩の配列の特徴から、本地域の捕獲岩も、閃緑岩の周囲に後から包み込むように上昇してきたトーナル岩のマグマに取り込まれて紡錘形となり、閃緑岩体の壁面に沿うマグマの流動方向に規則正しく配列したと考えられる。閃緑岩をトーナル岩マグマが包み込んだ際には、トーナル岩マグマの支脈が閃緑岩に供給され、接触部の鉱物に影響を与えた。その後、マグマ残液から生じたアプライト脈が割れ目に沿って、先に固結していた閃緑岩片やトーナル岩片を捕獲岩として取り込みながら貫入した。時代を経て、玄武岩マグマが少なくとも2度にわたって既存の岩石片を取り込みながら貫入したと考えられる。

トーナル岩を形成したマグマの支脈がみられる閃緑岩の角閃石から、明瞭に発達した波状累帯構造が多く発見された。25mm×35mmの閃緑岩の薄片の角閃石から80個以上の波状累帯構造が発見された。西南日本山陰帯で2～3個程度、山陽帯では1枚の1個見つかるかどうかという頻度であることを考えると極めて多く、直接熱水残液の影響を受けた接触部の閃緑岩に波状累帯構造が発達できる条件がそろっていたことがわかる。波状累帯構造は淡緑色リム部のc軸方向（結晶の成長方向）にのみ発達しており、再平衡によって再結晶化する際に形成されたと推定される。淡緑色リム部は自形の磁鉄鉱やスフェーンと共存している。波状累帯構造は外側からの熱水残液の複数回の循環によって形成されたと考えられ、その時には酸化環境であった。

角閃石の波状累帯構造は、接触部から離れた閃緑岩体の角閃石からも多く発見された。これらには共通して不定形にコア部が残存しており、その間隙に波状累帯構造が発達している。整然とイオン置換が行われた形跡がみられず、激しい熱水残液の循環の影響を受けて置換したことによって形成されたと考えられる。閃緑岩そのものの潤沢な熱水残液が、自らの岩体内で激しく循環したことを物語っている。先行研究により、波状累帯構造は二次的に熱水残液の循環によって形成されるものとされており（Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a・b／兵庫県立姫路東高等学校科学部, 2023）、本研究の成果と矛盾しない。

角閃石の固溶体は次のように表わすことができる（Leak, 1978）。[図 52](#) に角閃石のイオンサイトを示す。



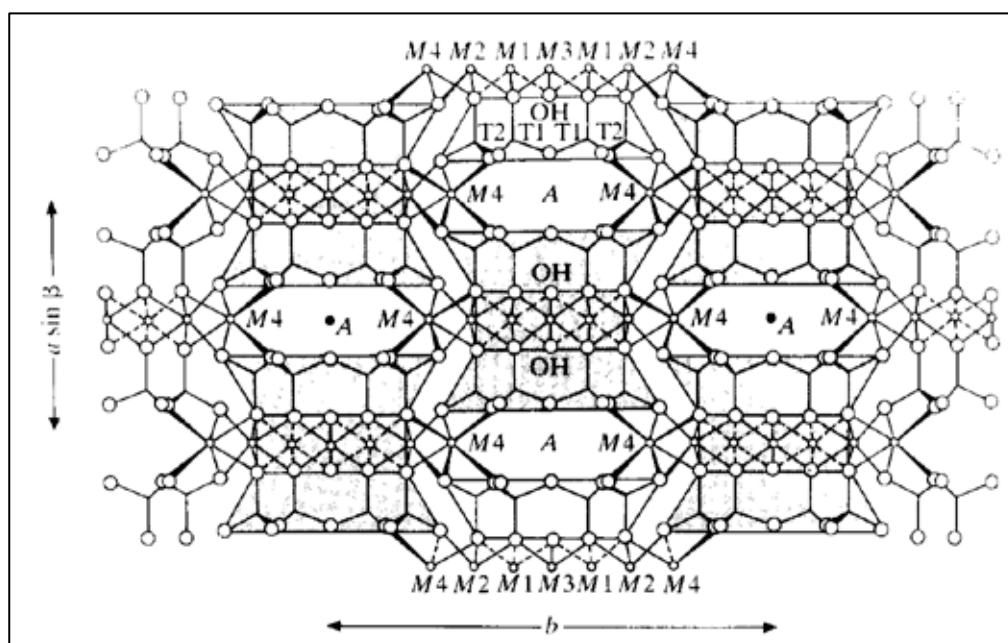


図 52 角閃石のイオンサイト (Deer, Howie, and Zussman, 1996)

角閃石は複数の陽イオンがペアになって、固結時の環境に応じて置換する組み合わせ置換を行うことが知られている。最も単純な Tremolite が一般的に行う Fe^{2+} と Mg^{2+} の置換のほかに、どのような陽イオンの置換が起こっているかをもとにして環境を判断することができる (表 9 / Czamanske and Wones, 1973 に加筆)。Tremolite の構造式は以下のとおりである。

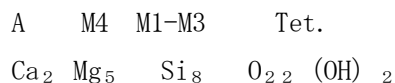


表 9 角閃石の組み合わせ置換のパターン (左が Tremolite / Czamanske and Wones, 1973 に加筆)

A	Tet.	A	Tet.	
空白 + Si	→	Na、K + Al		1 型 Edenite type
M1-M3	Tet.	M1-M3	Tet.	
Mg + Si	→	Al + Al		2A 型 Tschermakite type
Mg + Si	→	Fe^{3+} + Al		2B 型
M4	M1-3	M4	M1-3	
Ca + Mg	→	Na + Al		3A 型 Glaucophane type
Ca + Mg	→	Na + Fe^{3+}		3B 型 Riebeckite type
A	M4	A	M4	
空白 + Ca	→	Na + Na		4 型 Richtecite type
M1-M3	Tet.	M1-M3	Tet.	
Mg + 2Si	→	Ti + 2Al		5 型
M4	M1-3	M4	M1-3	
2Ca + Mg	→	2Na + Ti		6A 型
Ca + Al	→	Na + Ti		6B 型

Leak (1971) は、マグマから晶出した角閃石は Al^{VI} が 0.6 以上であるとし、また Chivas (1981) は、 Al^{VI} が 0.6 以下の角閃石部分は、サブソリダス環境下で形成されることを示している。本研究の角閃石の淡緑色リム部は 0.6 以下であり (図 42)、サブソリダス環境のマグマの脱水と発泡を経験し、熱水残液の循環によって形成されたことを示している。

角閃石の累帯構造は Al^{IV} と Si が幅広い割合で置換している。角閃石のコア部を除く淡緑色リム部の累帯構造のイオン置換についてみると、 Al^{IV} と Na+K グラフで I A 型の Edenite 型の強い相関関係を示している (図 49)。さらに、 Al^{IV} と Ti (図 43)、 Al^{IV} と Na (図 45)、 Al^{IV} と Fe^{3+} (図 46)、 Fe^{3+} と Na (図 50)、Na-Na (図 51) の間にも緩やかな相関関係がみられ、一部に 5 型、3A Glaucophane 型、2B 型、3B Ribekite 型、4 Richterite 型イオン置換の可能性がうかがえる。一方、 Al^{IV} と Al^{VI} において 2A Tschermakite 型には相関関係が認められない。また、Ti と Na の 6A 型や 6B 型には相関関係がみられない。

M1-M3 サイトの Fe^{3+} は、同サイトの Na、 Fe^{3+} 、Ti の合計の半分程度以上を占めている。 Fe^{2+} と Mg の単純な置換は普遍的に行われており、M4 サイトの Ca は 1.79~1.95 の狭い幅で推移している。M1-M3 サイトの Mn は 0.01~0.08 とさらに変動領域が狭い。 $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ の値は低く (図 53)、西南日本内帯の山陰帯石英閃緑岩の波状累帯構造部の値と類似している (Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a・b)。さらに $Mg/(Mg+Fe_{Total})$ で計算する角閃石の分類に用いられる指数である mg 値 (Leak, 1968) は、コア部からリム部に向かって magnesio-hornblende から actinolitic hornblende の領域を通して actinolite まで減少している (図 54)。激しい熱水座根期の循環を経験したと考えられる試料 240128-2 では、不規則な形状に取り残されたコア部が magnesio hornblende の組成を残している。このような陽イオンの置換パターンは、Finnmarka complex (Czamanske and Wones, 1973) や多くの porphyry copper を胚胎する花崗岩体 (Mason, 1978、Chivas, 1981、Hendry et al., 1981)、西南日本内帯山陰帯の花崗岩類 (Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a・b) と共通した特徴で、酸素分圧が高い環境下であったことを示している。角閃石の淡緑色リム部は、いったん結晶化した後、サブソリダス環境下でさまざまな激しさの再平衡を経験し、不規則な形状にコア部を取り残し、その隙間を埋めるように波状累帯構造が発達したり、淡緑色リム部に波状累帯構造を発達させたりして再平衡したと考えられる。

マグマは飽和・脱水すると、マグマ中の Cl は極めて高い割合で流体相中に分配され、発泡によってマグマ中の Cl は著しく減少する (Anderson, 1973)。本調査地域の角閃石の淡緑色リム部の波状累帯構造の Cl は極めて微量であり (表 3~表 8)、サブソリダス環境下で形成されたことを示唆している。この特徴は、マグマ分化早期に脱水と発泡を経験して、熱水残液によって淡緑色リム部を形成し、そこに高い酸素分圧条件下で波状累帯構造を形成した、西南日本内帯の山陰帯深成岩類の特徴と類似している (Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a・b、山口・川勝, 1987)。

角閃石の波状累帯構造のバンドを構成する 1 本の幅は 1~2 μm であり、電子線ビーム径が 3 μm であることを考えると、波状累帯構造の成分分析値は純粋な 1 本のバンドの成分を示しているわけではない。しかし、角閃石を構成するほとんどの陽イオンの組成が波状に増減を繰り返すように変化していることは確認することができる。

本調査地域は古生代デボン紀末期に活動したマグマによる花崗岩類のバソリスである。一方、詳細に研究をおこなった西南日本山陽帯と山陰帯の深成岩類は中生代白亜紀~古第三紀にかけて活動したマグマである。露頭調査によって熱水残液の影響を受けたことが明らかになった角閃石から、時代や地域を越えて同じ微細構造が発見されたことは、角閃石の波状累帯構造が熱水残液の循環の指標となる可能性があることを示している。

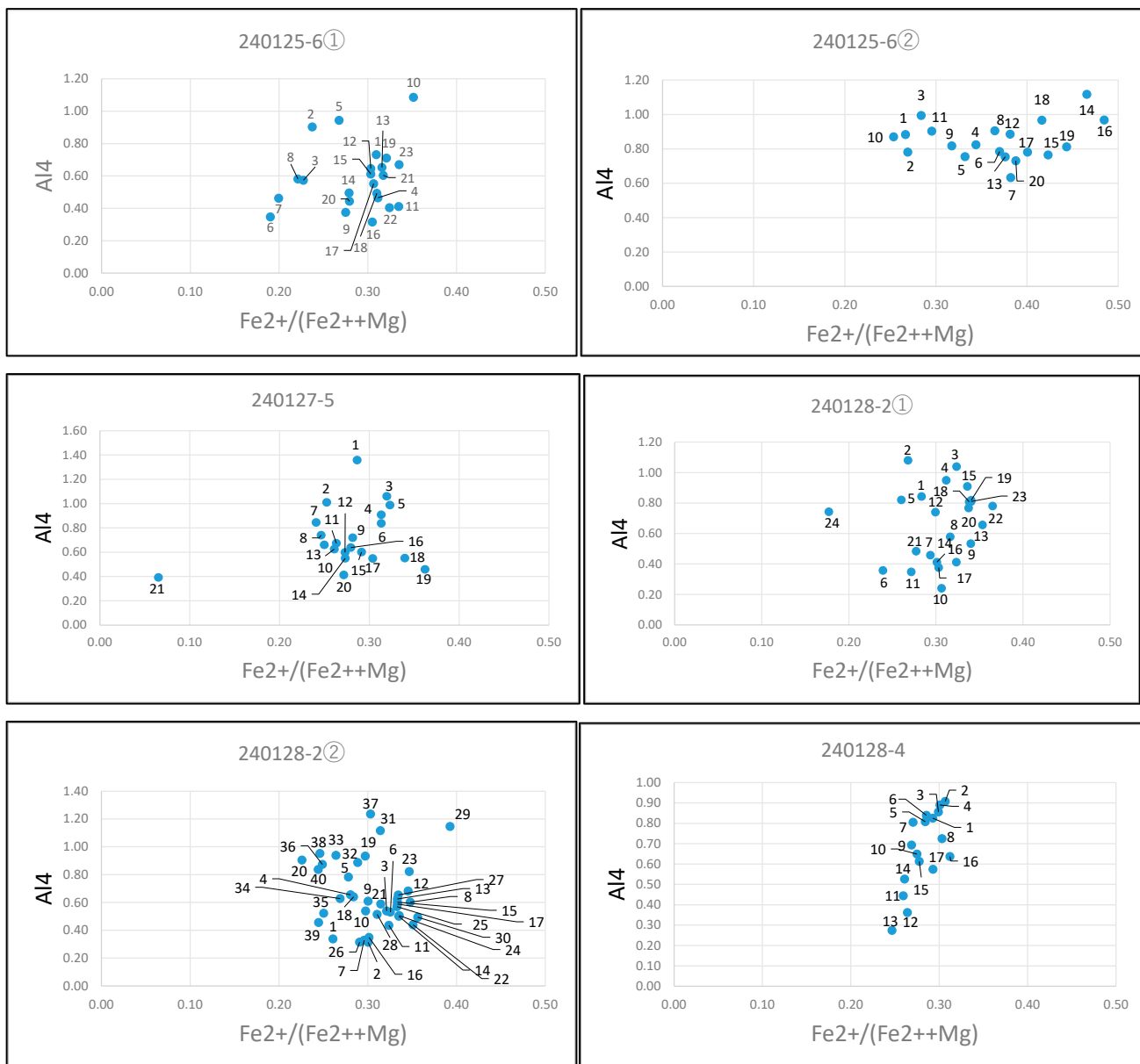
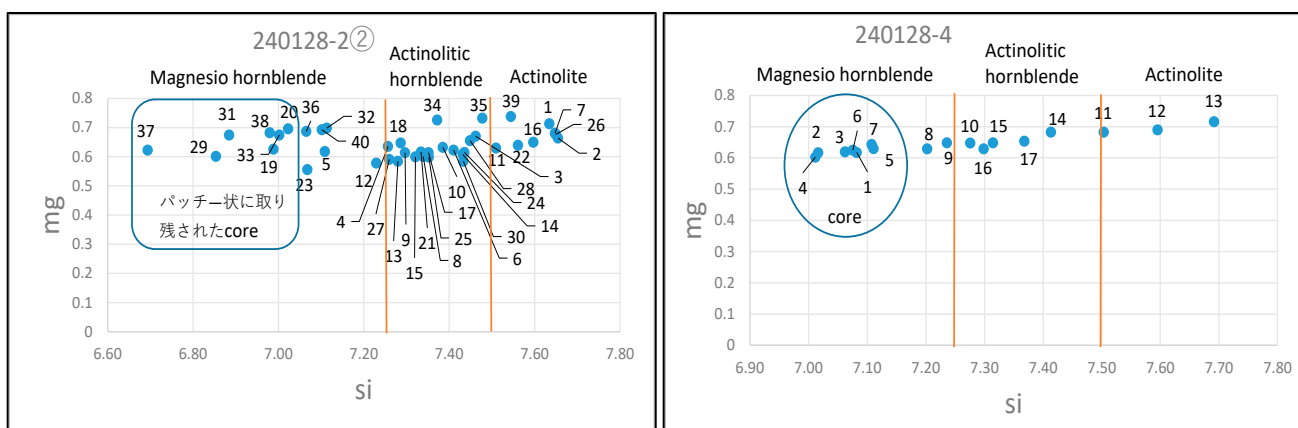


図 53 EPMA 分析値による $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ 値



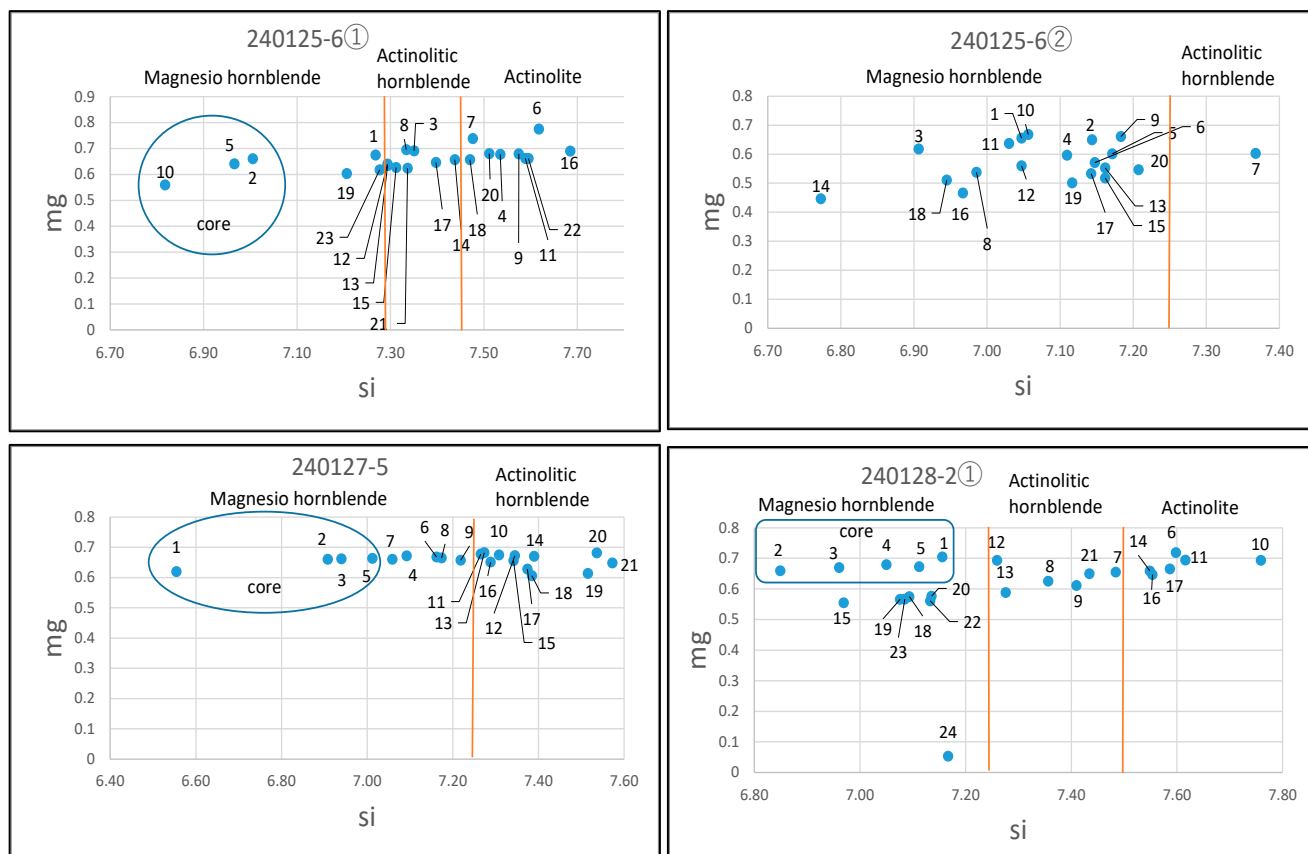


図 54 EPMA 分析値による mg—Si 図

7. 結論

閃緑岩の固結から、トーナル岩マグマの上昇、アプライト脈の貫入まで、同質の一連のマグマ活動による。分化したマグマは互いにあまり混ざり合うことがなかった。閃緑岩が固結した後に、閃緑岩の岩片を取り込みながら分化したトーナル岩マグマが上昇した。この後、マグマ残液からアプライト脈が形成され、少なくとも2度にわたって玄武岩マグマが深成岩類に貫入した。

トーナル岩マグマによって包み込まれ、熱水残液の影響を受けた閃緑岩の角閃石は、明瞭な波状累帯構造を発達させている。波状累帯構造は淡緑色リム部のc軸方向（結晶の成長方向）にのみ発達しており、再平衡して再結晶する際に形成されたと推定される。淡緑色リム部は自形の磁鉄鉱やスフェーンと共存している。波状累帯構造はサブソリダス環境下で、外側からの熱水残液の複数回の循環によって形成されたと考えられ、その時には酸化的な環境であった。また、接触部から離れた閃緑岩体の中心部付近の角閃石には不規則な形状にコア部が取り残され、その隙間に激しく置換を起こして波状累帯構造が発達している。閃緑岩そのものの潤沢な熱水残液の岩体内での激しい循環があったことを示している。

角閃石の波状累帯構造をキーワードにして、時代も地域も異なる西南日本のマグマ分化末期の環境と比較することができる。波状累帯構造は熱水残液の循環の指標となると考えられる。

8. 今後の課題

本調査地域の花崗岩類のバソリスには、火成作用を起源とするIタイプの花崗岩類と、堆積岩を起源とするSタイプの花崗岩類が混在しているとされる (Whalen and Chappell, 1988)。このうち、本調査地域の花崗岩類は、磁鉄鉱+チタン鉄鉱+硫化鉄物を特徴とするIタイプの花崗岩類で、磁鉄鉱を含まないSタイプよりも酸素分圧が高かったとされている。しかし、オーストラリア南東部のIタイプとSタイプと

いう分類はマグマの起源に基づく分類であり、日本の磁鉄鉱系列とチタン鉄鉱系列という、現在の酸化鉱物の組合せをもとにした分類とは一致しないことが指摘されており、今後これらの対比が必要である。

現在、波状累帯構造をもつ角閃石と共存する鉱物について詳細に分析し、鉱物温度計を活用して、波状累帯構造が形成された温度、圧力を推定しようとしているところである。これによって、波状累帯構造がどのような相平衡の条件下で陽イオンの組み合わせ置換が起こって形成されたのかを明らかにしたい。さらに、他の地域の深成岩類の研究を重ね、角閃石の微細構造の指標としての役割を確認していきたい。

9. 参考

今回の研究では、著者のほかに次の6名が野外調査と試料採取に参加した。

田邊桃愛、長谷川聖真、前田隆良、村瀬太郎、前高さくら

10. 謝辞

本研究を行うにあたって、京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地球物質科学講座の河上哲生教授、東野文子助教および同修士の中野美玖氏には、筆者らが EPMA 分析を行う便宜を図っていただいた。また本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には、終始有意義な助言をいただき議論をしていただいた。ここに記して謝意を表する。

11. 引用文献

- Anderson, A. T. (1973) Chlorine, sulfur, and water in magmas and oceans. (Geol. Soc. Amer. 85, 1485-1492)
- Branagan, D. F. and Packham, G. H. (2000) Field geology of New South Wales. (Published by New South Wales department of Mineral Resources, Sydney, 317-319.)
- Chivas, A. R. (1981) Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part.1. Mafic silicates from the Koloula igneous complex. (Contrib. Mineral. Petrol., 78, 389-403.)
- Czamanske, G. K. and Wones, D. R. (1973) Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway: Part 2, The mafic silicates. (J. Petrol, 14, 349-380.)
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1996) The Rock Forming Minerals. (Longman, p. 224)
- Hendry, D. A. F., Chivas, A. R., Reed, S. J. B. and Long, J. V. P. (1981) Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part.2. Iron-probe analysis of Cu contents of mafic minerals, Koloula igneous complex. (Contrib. Mineral. Petrol., 78, 404-412.)
- Holland, T. and Blundy, J. (1993) Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. (Contrib. Mineral. Petrol., 116:433~447)
- 兵庫県立姫路東高等学校科学部 (2023) 石英安山岩の角閃石から熱水残液の循環を示す波状累帯構造を発見 (日本地質学会第 128 年学術大会要旨／第 20 回神奈川大学全国高校生理科・科学論文大賞努力賞受賞論文)
- 飯泉滋・沢田順弘・先山徹・今岡照喜 (1985) 中国・四国地方の白亜紀～古第三紀火成活動：火成岩類の対比を中心として (地球科学, 39, 372-384.)
- Ishihara, S. (1971) Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the Inner zone of Southwest Japan.

- (J. Geol. Soc. Japan, 77, 441-452.)
- Ishihara, S. (1981) The Granitoid Series and Mineralization. (Econ. Geol. 75th Anniversary Vol., 458-484.)
- Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987a) Successive Zoning of Amphiboles during Progressive Oxidation in the Daito-Yokota Granitic Complex, San-in Belt, Southwest Japan. (Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 535-540.)
- Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987b) Microprobe analyses of zoned amphiboles from quartz diorites in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest Japan. (Geol. Rep. Shimane Univ. 6, 175-183.)
- Kennedy, G. C. (1955) Some aspects of the role of water in rock melts. (Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 62, 489-504.)
- Leak, B. E. (1968) A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals. (Geol. Soc. Amer. Spec. Paper, 98, 210.)
- Leak, B. E. (1971) On aluminous and edenitic hornblendes. (Mineral. Mag., 38, 389-407.)
- Leak, B. E. (1978) Nomenclature of amphiboles. (Amer. Mineral., 63, 1023-1052.)
- Mason, D. R. (1978) Compositional variations in ferromagnesian minerals from porphyry copper-generating and barren intrusions of the Western Highlands, Papua New Guinea. (Econ. Geol., 73, 878-890.)
- Murakami, N. (1974) Some problems concerning late Mesozoic to early Tertiary igneous activity on the inner side of Southwest Japan. (Pac. Geol., 8, 139-151.)
- Prendergast, E. I. (2007) Early Palaeozoic subduction in the southeastern Lachlan Fold Belt, Batemans Bay, New South Wales. (Australian J. Earth Sciences, 481-501.)
- Prendergast, E. I., Offler, R. and Zwingmann, H. (2012) Adaminaby group west of Batemans Bay: Deformation and metamorphism of the Narooma accretionary complex NSW. (Australian J. Earth Sciences, 1-18.)
- 先山徹・田中忍 (1984) 山陰帯および飛騨帯花崗岩類中の角閃石に見られる累帯構造について—鉛山グラノファイア類・奥津花崗閃緑岩帯・船津複合岩体を例に— (地球科学, 38, 5 号, 321-333.)
- Smith, J. V. (2004) Determining the size and shape of blocks from linear sampling for geotechnical rock mass classification and assessment. (J. Struct. Geol., 26, 1317-1339.)
- Wiebe, R. A. and Collins, W. J. (1998) Depositional features and stratigraphic sections in granitic plutons: implications for the emplacement and crystallization of granitic magma. (J. Struct. Geol., vol. 20, 1273-1289.)
- Whalen, J. B. and Chappell, B. W. (1988) Opaque mineralogy and mafic mineral chemistry of I- and S-type granites of the Lachlan fold belt, Southeast Australia. (Amer. Mineral, 73, 281-296.)
- 山口佳昭 (1984) 浅所貫入深成岩の Ca 角閃石の累帯構造 (地球科学, 38, 346-351.)
- 山口佳昭・川勝和哉 (1987) 大東-横田地域の石英閃緑岩類中の Fe-Ti 酸化物の産状と化学組成 (山陰地域研究 (自然科学) 第 3 号, 157-165.)

オーストラリア南東部ニュー・サウス・ウェールズ州
南東部沿岸 Bingi Bingi Point 複合深成岩体の
マグマ分化末期の環境
—角閃石の波状累帯構造に基づいて—

兵庫県立姫路東高等学校
〒670-0012 兵庫県姫路市本町 68 番地 70
電話 (079) 285-1166 (代)
FAX (079) 285-1167
URL <http://www.hyogo-c.ed.jp/~himehigashi-hs/>