

偏光顕微鏡による透明鉱物の迅速な同定の手引*

平野 英雄**

HIRANO, Hideo. (1982) Microscopic identification charts for transparent minerals.
Bull. Geol. Surv. Japan, vol. 33 (2), p. 85-101.

Abstract: New charts for microscopic identification of transparent minerals are designed, which may be unique in requiring only a rough estimate of the optic property as the basic data.

The charts consist of four diagrams, in each of them minerals are arranged according to their refractive index and birefringence data. In Chart A, isotropic minerals (mainly of the cubic system) and uniaxial minerals (mainly of the tetragonal and the hexagonal systems) are presented. "Practically uniaxial" minerals of the monoclinic system are also included in this diagram. Chart B covers minerals of the rhombic system and the biaxial minerals with practically straight extinction property. Chart C includes minerals having small optic angle and oblique extinction property. Finally, in Chart D, minerals with large optic angle and oblique extinction property are presented. About 300 minerals, including all common rock-forming minerals and the minerals from a variety of ore deposits, appear in the charts. As subsidiary criteria, minerals of only limited modes of occurrence are indicated by the signs, a, b, c, and d, which denote respectively, a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate contact; and d, high P/T type metamorphic rock. For the practical use of the charts, refractive indices estimated from the comparison with mounting media or adjoining known minerals are found to be good enough in many instances.

The charts are supplemented with three tables: Table 1, colored minerals; Table 2, minerals that may exhibit distinct color zoning; and Table 3, minerals that may have anomalous interference color. Initial screening with these tables is very helpful for an effective use of the charts.

Application of the present determinative procedure to a given case normally brings us a group of mineral names which should include the one in question. Final sorting out of a mineral species from them may then be made based on the mode of occurrence, paragenesis and any additional optical or crystallographic properties of the mineral without much difficulty.

要 旨

顕微鏡下における透明鉱物同定のための新しい手引を作成した。この手引は、従来の検索式鉱物同定表とは異なり、いくつかの光学的性質が大ざっぱにわかれば、直ちにその性質を有する数種類の鉱物名がひきだされることを特徴としている。この手引には一般の造岩鉱物及び鉱床周辺に産する透明鉱物約 300 種が、屈折率と複屈折との関係を示す 4 つの図にあらわされている。また有色鉱物並びに異常干渉色を示す鉱物の一覧表も付されている。海外での技術協力等、不十分な研究環境で迅速な判断を下さなければならない場合にこの手引は特に有効と思われる。

*この手引は、鉱床部内資料として、1969年及び1970年に作成されたものの改訂版である。

**鉱床部

1. はじめに

透明鉱物を顕微鏡下で同定するには、まず鉱物の形、色(多色性)、へき開、消光角、屈折率、複屈折、光軸角、光学的正負、双晶、既知鉱物との共生関係などを調べ、次に鉱物鑑定表から上記の性質が一致する鉱物名を選びだすという手順が行われている。しかしこの手続きを実行し、鉱物を同定することは必ずしも容易ではない。それは問題の鉱物の光学的性質を鏡下で調べることはできても、そのような性質をもつ鉱物名を思い浮かべることが容易ではないためである。この点を補うために、今日までにいくつかの検索式の同定表が公表されてきた(例えば WINCHELL, 1937; SAGGERSON, 1975)。しかし従来の同定表は“直列の選択枝”がかなり長いため、容易に該当する鉱物名にたどりつけないという欠点があった。

そのため大ざっぱな光学データでは別の選択枝へ進んでしまう可能性が常に存在しており、屈折率に変動幅のある固溶体鉱物では特にこのような誤りを犯しがちであった。近年、技術協力等で海外で地質調査をする機会が増えているが、そこでは不十分な研究環境で迅速な判断を下さなければならない場合が多い。その場合、上述のような従来の検索表は使いづらい。

この手引は、いくつかの光学的性質が大ざっぱにわかれば、直ちにその性質を有する数種の鉱物名がひきだせることを目的として作成された。これら数種類の鉱物名がわかれば、その中から問題の鉱物名をみだすことは試料の産状がある程度わかっているならば、比較的容易で、またそれが知られていない場合でも光学的性質を記載した教科書(WINCHELL and WINCHELL, 1951; KERR, 1959; MOORHOUSE, 1959; HEINRICH, 1965; 黒田, 1968; TRÖGER, 1971; 都城・久城, 1972など)をみて、それぞれの鉱物のもつ最もきわだった性質をチェックすることにより多くの場合、問題の鉱物名を決定できる。

2. 屈折率-複屈折図

偏光顕微鏡で透明鉱物を観察する場合、その消光角、屈折率及び複屈折は鉱物の色とともに最も特徴のある性質で、かつ容易にその値を見積ることができる。屈折率-複屈折図は1930年代にすでに作成されている。TRÖGER (1971)の図は多くの鉱物名が載っている点で充実したものとなっているが、同一の図にすべての鉱物がプロットされているため、使いづらい。筆者は鉱物を、直消光-斜消光及び光軸角の大小の組合せによって4群にわけ、A-D図にあらわした。これらの図には、約300の鉱物名が登録されている。この中には一般の造岩鉱物はもちろん、金属鉱床や非金属鉱床及びその周辺に産出する鉱物も多く含まれるよう配慮した。また、産状が限定される鉱物には、迅速な判別に役立つように、a(アルカリ岩)、b(ペグマタイト)、c(炭酸塩岩接触帯)、d(圧力/温度比の高い変成岩)の記号がつけられている。なお、薄片中の鉱物の屈折率と複屈折は、値が大きいほど正確な見積りが容易ではなく、またこれらの値が大きい鉱物の種類も少なくなるため、A-D図の屈折率と複屈折の大きな領域の目盛は縮められている。

付表として、鉱物の色や異常干渉色といった同定に役立つ特徴をもつ鉱物が一覧表としてあらわされている。

Chart A: クロスニコルで常に暗黒になる鉱物(主に等軸晶系)と、直消光で光軸角が 0° かそれに近い鉱物(一軸性鉱物で、主に正方晶系か六方晶系)。

Chart B: 直消光で光軸角が 0° でない鉱物(主に斜方晶系)。

Chart C: 斜消光の鉱物のうち、光軸角が小さい($2V \leq 40^\circ$)もの。

Chart D: 斜消光の鉱物のうち、光軸角が大きい($2V > 40^\circ$)もの。

Table 1: 有色鉱物

Table 2: 色調の差による累帯構造のはっきりみえる鉱物

Table 3: 異常干渉色をしめす鉱物

3. 使用説明

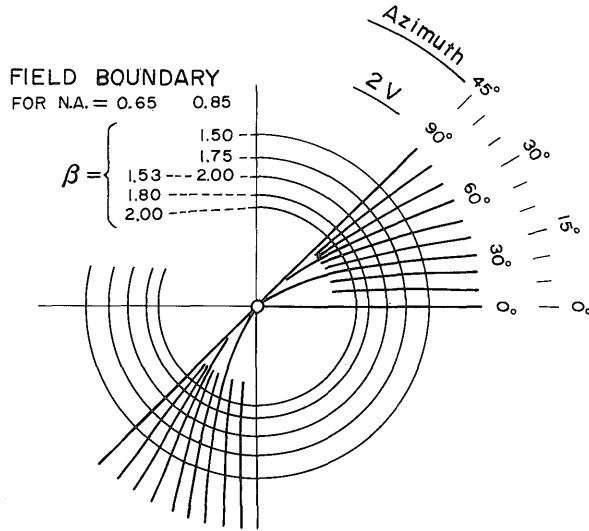
通常の薄片では、いろいろな方向に切断された鉱物粒を観察するので、同一の鉱物で外形、へき開、干渉色など粒によってみかけが異なる場合が多い。鉱物を同定するには、みかけの異なる粒が同一の鉱物種のものであり他の鉱物種から識別できるという観察力がまず必要である。この観察力の向上は経験に頼る以外にないが、この手引の使用者はそのような観察力を備えていることを前提としている。更に、偏光顕微鏡及びその基礎となっている結晶光学の初歩的知識をも一応修得しているものと仮定している。それらについての解説が必要な場合には、坪井(1959)、都城・久城(1972)などを参照されたい。

次に、この手引を使用する場合のいくつかの事柄の説明をのべる。

消光角：薄片では、鉱物の形態上の直線は柱面、卓面、へき開面及び双晶面と薄片の面との交線によって作られている。消光角測定の対象となる形態上の直線は上記のどれを用いてもよいが、その鉱物固有の性質を表現するために、通常それぞれの鉱物について最も発達している一方向の直線が選ばれる。それは、柱状鉱物ではc軸に平行な柱面やへき開面、板状鉱物では(001)に平行なへき開面と薄片の面との交線である。鉱物の光学的性質を記載した教科書にある straight (or parallel) extinction や oblique extinction、及びこの手引の Charts A, B と Charts C, D をわけた基準は上記の直線と消光位の角度が 0° (又はきわめて 0° に近い)であるか、そうでないかによっている。

屈折率：ある鉱物の屈折率がまわりの接着剤¹⁾や鉱物のそれよりも著しく大きいとその鉱物粒は輪郭の線が太

1) 接着剤 (mounting cement) にはいくつか種類があるが、種類ごとにその屈折率は異なる。たとえばレーキサイドセメント ($n=1.536$)、カナダバルサム ($n=1.53-1.54$)、エボキシ樹脂 ($n=1.49-1.51$)、X線マイクロアナライザー用研磨薄片などに使用される) などである。



After Winchell (1965)

第 1 図 屈折率 (β), 光軸角 ($2V$), 対物レンズの開口数 (N. A. が 0.65 と 0.85 の場合) とコンスコープ像との関係
円は視野の境界をあらわす。アイソジャイヤが視野の縁にぶつかる方位角を 2 倍するとその鉱物の $2V$ の近似値となる。

Fig. 1 Relation among refractive index (β), optic axial angle ($2V$), numerical aperture of object-lenses (N.A.=0.65 and 0.85) and conoscopic figures.

Circles represent fields of view

く浮き上ってみえ、しかもその表面はザラザラした感じを呈する。屈折率がまわりの接着剤や鉱物とほぼ同じ場合には平滑にみえる。また周囲の物質より屈折率が小さい鉱物は沈んでみえ、しかもピンクがかってみえる。したがって接着剤や既知鉱物と比較した時の問題の鉱物の“浮き上り”や“沈み”の程度でその鉱物の屈折率のおよその見当をつけることができる。顕微鏡のしぼりを適当に小さくするとこの“浮き上り”、“沈み”をよりはっきりみることができる。もちろんベッケ線をういた方法でも隣接した既知鉱物との屈折率の大小は判別できる。しかし、“浮き上り法”は、隣接鉱物を必要としないばかりでなく、この方法に馴れば普通の無色鉱物の屈折率を ± 0.03 程度の確かさで推定することも可能となる。

“浮き上り”の程度を見積るための基準鉱物としては、無色-淡色で複屈折があまり大きくなく、産出が普遍的といった条件をもっていることが望ましい。石英 ($n = 1.55$), りん灰石 ($n = 1.65$), アクチノ閃石 ($n = 1.65$), 緑れん石 ($n = 1.73$), ざくろ石 ($n = 1.75-1.80$) は一般にこの条件をもっており、基準鉱物として適当であろう。

複屈折：複屈折はクロスニコルの状態で干渉色を観察

することによって見積ることができる。厚さ一定の薄片でも、鉱物の切断方向によってその干渉色が異なる。そこで、その鉱物の複屈折を見積る場合には、最も高次の干渉色をしめす鉱物粒のそれを選ぶ必要がある。最も高次の干渉色からその鉱物の複屈折を推定するには、MICHEL-LEVY の干渉色図表を用いる。この色刷りの図は、KERR (1959), HEINRICH (1965), 坪井 (1959), 黒田 (1968), TRÖGER (1971) 等の教科書におさめられている。

光軸角：光軸角はコンスコープによるアイソジャイヤの曲がり具合でおよその値を推定できる。鉱物の一本の光軸が鏡筒に平行な場合には、Fig. 1 のコンスコープ像によって光軸角の値を知ることができる。この図のようなアイソジャイヤをしめす鉱物粒は、クロスニコルで、ステージをまわしても常に暗黒にみえる。一般にコンスコープ像を観察しようとする場合、なるべく干渉色の低い鉱物粒を選ぶようにする。

次に、鉱物の光軸角の鋭等分線が鏡筒に平行な場合 (鋭等分線が薄片の面に垂直の場合) には、見かけの光軸角 $2E$ は 2 本のアイソジャイヤの間隔を計ることにより $2V$ よりも容易に決定することができる。2 本のアイ

ソジャイヤの間隔と2Eの関係は顕微鏡のレンズ系、特に対物レンズの開口径によって異なる。したがってコノスコープ像で2Eを測定する場合には、あらかじめ2E(又は2V)のわかっている白雲母(薄い結晶をガラス板にはりつける)などを使って目盛をつけておかなければならない。なお、2Vと見かけの光軸角2Eとの関係式は次のようにあらわされる。

$$\frac{\sin E}{\sin V} = \beta(\text{屈折率})$$

光学性の正負はコノスコープ像をみながら検板を差し込んで判定する。検板を差し込んだ時に、Fig. 1の第4象限(円の右下の部分)の干渉色が低くなった場合には、その鉱物の光学性は正で、逆に干渉色が高くなった場合には負である²⁾。

色(多色性)：顕微鏡下で問題の鉱物に色が認められるときには、Table 1とTable 2も参考にするとよい。一般に色が濃くなると“浮き上り法”による屈折率の見積りにかなりの誤差がでてくる。

異常干渉色：色の著しく濃い鉱物やレターデーシヨンの値が光の波長によって著しく異なる鉱物はMICHEL-LEVYの干渉色図表にでていない異常な干渉色をしめす。この異常干渉色は、干渉色が低いときによく目立つ。複屈折のかなり大きなチタン輝石でも、光軸方向近くからみると干渉色が低くなり、異常な色が一層明瞭となる。異常干渉色をしめす鉱物はTable 3にまとめられている。

4. 使用の具体例について

この手引を使う場合には、決まった手順というものはない。しかし、使用実例を挙げることは必ずしも無意味でないと考えられるので、(1)有色鉱物の場合、(2)結晶面やへき開がみられない場合、(3)斜消光で光軸角が大きい場合の3つの具体例を以下にのべる。

4.1 片麻岩中の黒雲母

片麻岩中の茶褐色の鉱物。(1)茶褐色の鉱物がほぼ直消光で、光軸角がほぼ0°であることを鏡下で知る。有色鉱物表(Table 1)の「茶」及び「黄褐色」のChart A欄をみて、14種類の鉱物名を知る。(2)問題の鉱物の光学性が負で、その屈折率は共存する石英と比べるとより大きい。多分ざくろ石や緑れん石よりも小さいらしいこと、干渉色は2次以上らしいのでその複屈折は0.02又はそれ以上と推定。上記14種の鉱物のうち、これらの性質をもつ鉱物名をChart Aから選び出すと、黒雲母、スチルプノ

メレン、電気石が残る。(3)鉱物の光学性を記載した教科書から上記3種の鉱物の特徴を調べ、結晶の伸びの方向に対する吸収方向が、電気石と黒雲母・スチルプノメレンで異なることを知り、鏡下でチェック。(4)その結果、問題の鉱物は黒雲母又はスチルプノメレンのいずれかであろう、ということになる。この両者を識別することは通常の光学的観察では困難である。これら2鉱物では結晶の底面間隔が異なることから、粉末X線法にて黒雲母を確認する。ただし削れてくれば晶癖の違いから黒雲母とスチルプノメレンの顕微鏡下での識別が可能となる。

4.2 完晶質火成岩中のネフェリン

無色でへき開や双晶のない不定形の鉱物。(1)直消光か斜消光かが判別できないため、光軸角と光学性を調べ、問題の鉱物の2Vがほぼ0°、光学性が負であることを知り(一軸性、負の光学性をもつ鉱物らしいと見当をつけ)Chart Aを開く³⁾。(2)屈折率はりん灰石のそれより低く接着剤より高いこと(1.53<n<1.65)及び複屈折は0.005程度と見積る。Chart Aより上記の性質をもつ8種の鉱物名を知る。(3)教科書に記載された8種の鉱物のそれぞれの光学的性質と鏡下の鉱物を比較すると、鏡下の鉱物が葉片状鉱物ではなく、無色であり、かつ完晶質岩に産することから、ネフェリンとスカポライトが可能な候補として残る。(4)スカポライトは通常ネフェリンよりも複屈折が大きいし、もし問題の鉱物がネフェリンならばその周囲に、カンクリナイト(屈折率が小さく、複屈折がやや大きいという特徴をもつ)があるだろうという教科書から得た予想のもとに、詳しい顕微鏡観察をして、カンクリナイトをみだし、問題の鉱物がネフェリンだろうと判断する。

4.3 片麻岩中のらん晶石

二方向のへき開をもつ無色鉱物。(1)斜消光⁴⁾し、2Vが大きいことを調べ、Chart Dを開く。(2)その鉱物の屈折率は、その周囲にある石英や白雲母と比べて大きく、ざくろ石程度の“浮き上り”をしめすこと(n≒1.7)、複屈折は石英のもの(biref=0.01)よりやや大きく、光学性は負らしいと見積り、Chart Dより8種の鉱物名を知る。(3)問題の鉱物は無色なので、8種の鉱物のうち3つの有色鉱物名を除く。(4)複屈折、へき開、共生鉱物、産状から問題の鉱物はらん晶石かもしれないと予想する。

以上3つの例をしめしたが、問題の鉱物がこの手引に

2) 炭酸塩鉱物のように複屈折のきわめて大きい場合を除くと、ふつうの厚さの薄片によるコノスコープ像には顕著な等色線はみられないのでここでいう干渉色の低下はそれが黄色になることであり、上昇は青くなることである。

3) 複屈折が小さいため通常の厚さの薄片では光軸角の大きさの判定が難しいこともある。その場合、厚目の薄片を作製するとよい。

4) らん晶石は(100)に平行な板状結晶となることが多いし、この方向に平行なへき開をもっている。しかもXがその面にほとんど垂直なのでそのへき開に対してはほぼ直消光となる。したがってChart Bにも、この鉱物名を載せてある。

載っていない場合もちろんある。そのような場合には、光学的性質の精密な測定から詳しい検索表をみたり試料の純度を高めて粉末X線法などで同定することになる。

謝辞 この同定の手引作成の過程で、多くの先輩・同僚から折にふれてご助言・ご批判をいただいた。また今回このような形でまとめるにあたり、国立科学博物館橋本光男、本所地質部一色直記、鉱床部佐々木昭・松久幸敬の各氏には草稿を読んでいただき、極めて有益なご助言をいただいた。心から御礼申し上げる。なお、これらご助言の多くは本稿中に折込ませていただいたが、一部については筆者の原案を生かしそのままとしたところもある。従ってもし本文や図表中に不備や誤りが見いだされるならば、それらはすべて筆者の責任である。

参 考 文 献

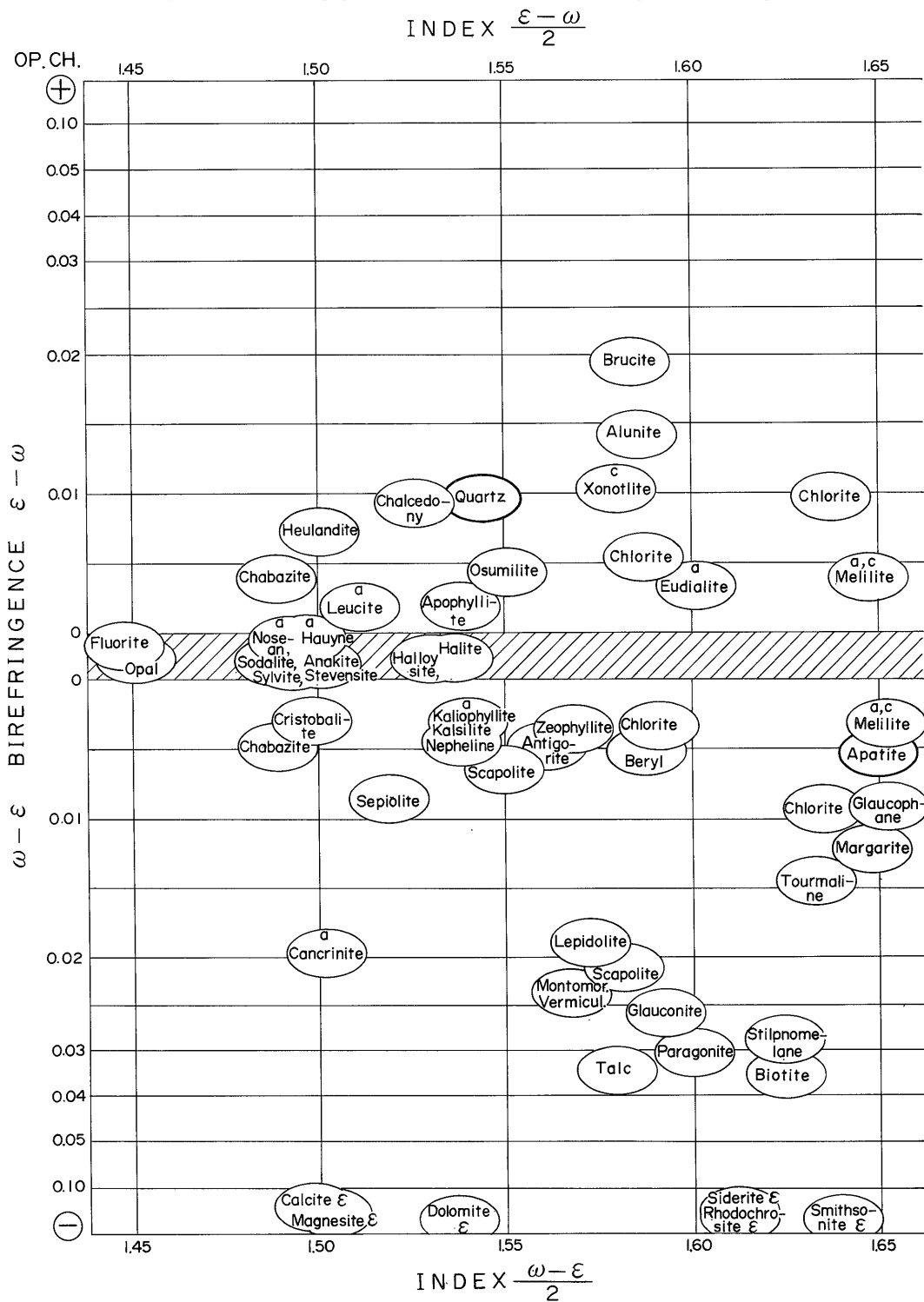
- HEINRICH, E. Wm. (1965) *Microscopic identification of minerals*. McGraw-Hill, New York, 414 p.
- KERR, P. F. (1959) *Optical mineralogy* (3rd ed.). McGraw-Hill, New York, 442 p.
- 黒田吉益 (1968) 偏光顕微鏡と岩石鉱物. 共立出版, 東京, 194 p.
- 都城秋穂・久城育夫 (1972) 岩石学 I. 共立出版, 東京, 219 p.
- MOORHOUSE, W. W. (1959) *The study of rocks in thin section*. Harper & Brothers, New York, 514 p.
- SAGGERSON, E. P. (1975) *Identification tables for minerals in thin section*. Longman, London, 378 p.
- TRÖGER, W. E. (1971) *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Teil 1 (4 Aufl.). E. Schweizerbart'sche Verlags., Stuttgart, 188 p.
- 坪井誠太郎 (1959) 偏光顕微鏡. 岩波書店, 東京, 294 p.
- WINCHELL, A. N. (1937) *Elements of optical mineralogy, Part 3, Determinative tables*. John Wiley, New York, 263 p.
- and WINCHELL, H. (1951) *Elements of optical mineralogy, Part 2, Descriptions of minerals* (4th ed.). John Wiley, New York, 551 p.
- WINCHELL, H. (1965) *Optical properties of minerals, A determinative table*. Academic Press, New York, 91 p.

(受付: 1981年8月10日; 受理: 1981年9月22日)

MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart A Isotropic minerals and minerals showing straight extinction, $2V=0^\circ$

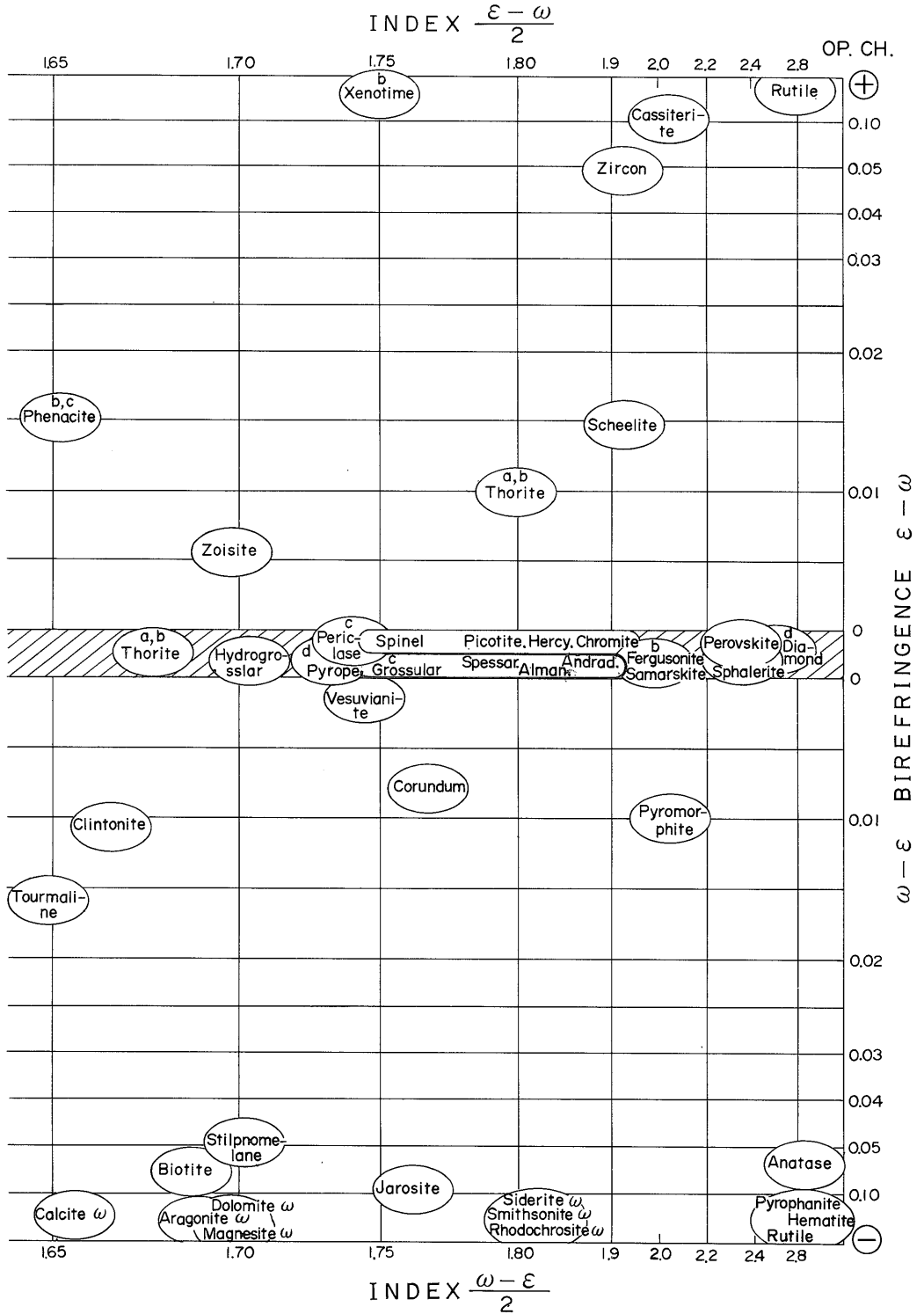
a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart A Isotropic minerals and minerals showing straight extinction, $2V=0^\circ$

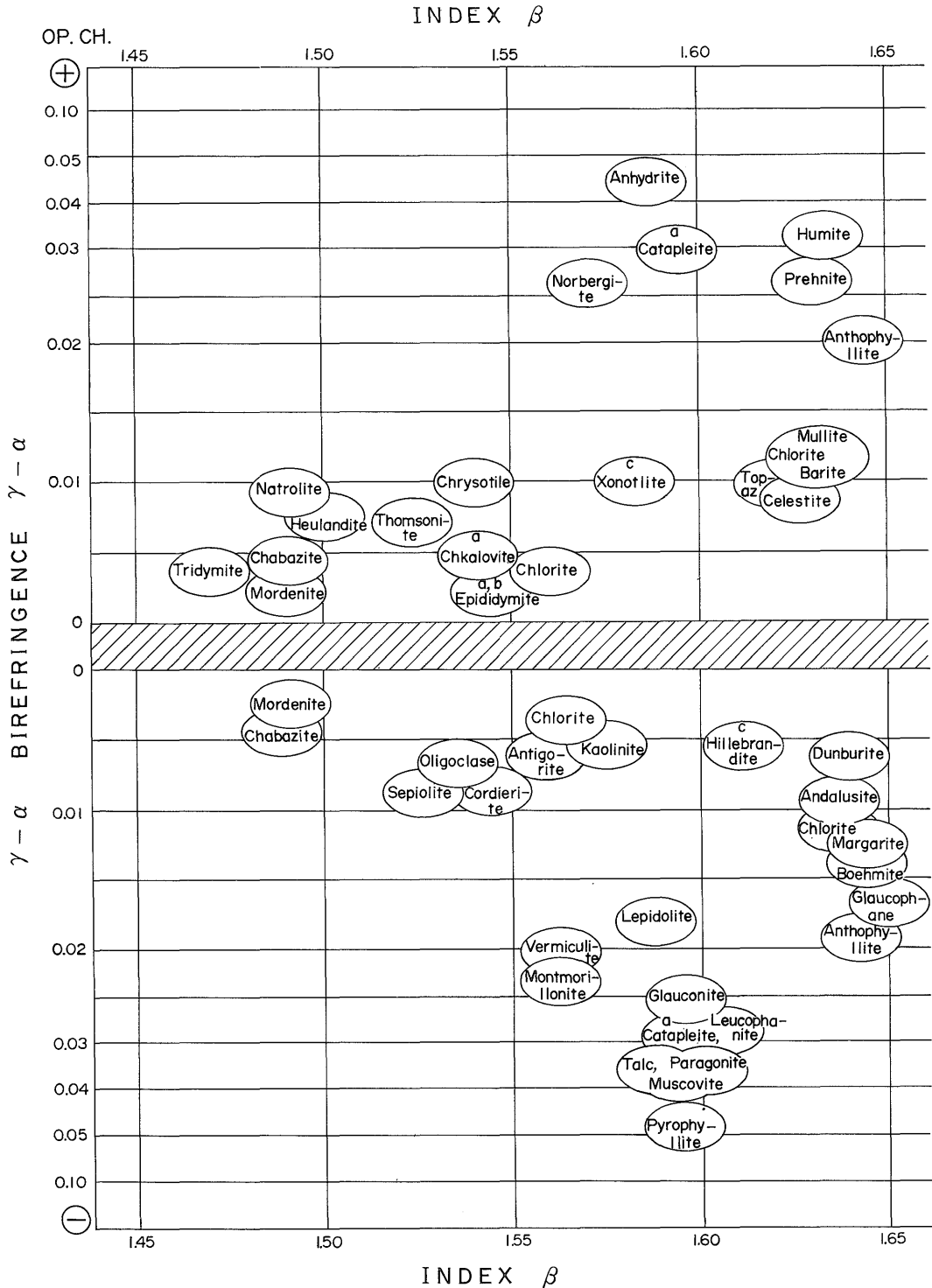
a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart B Minerals showing straight extinction, $2V \approx 0^\circ$

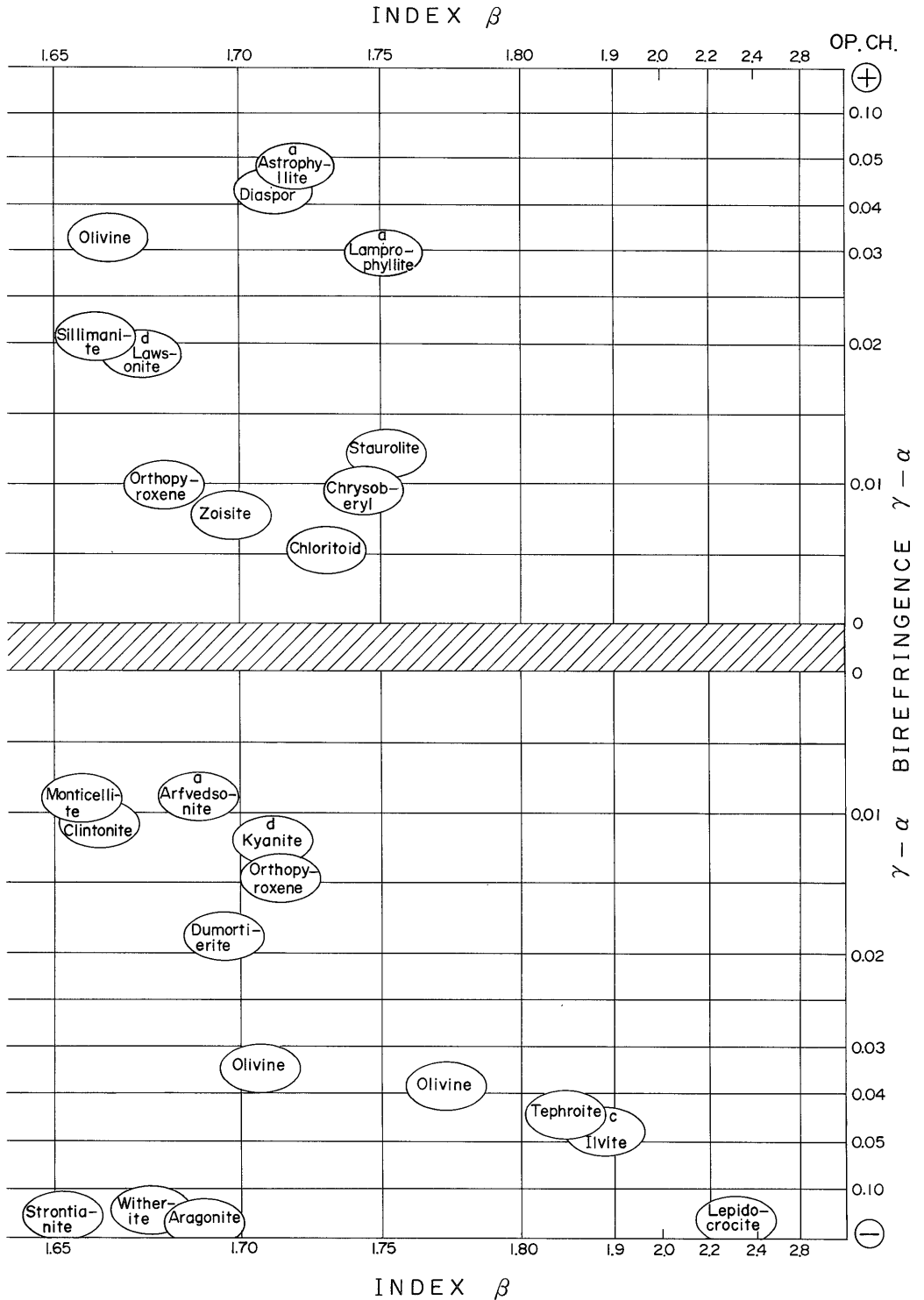
a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart B Minerals showing straight extinction, $2V \approx 0^\circ$

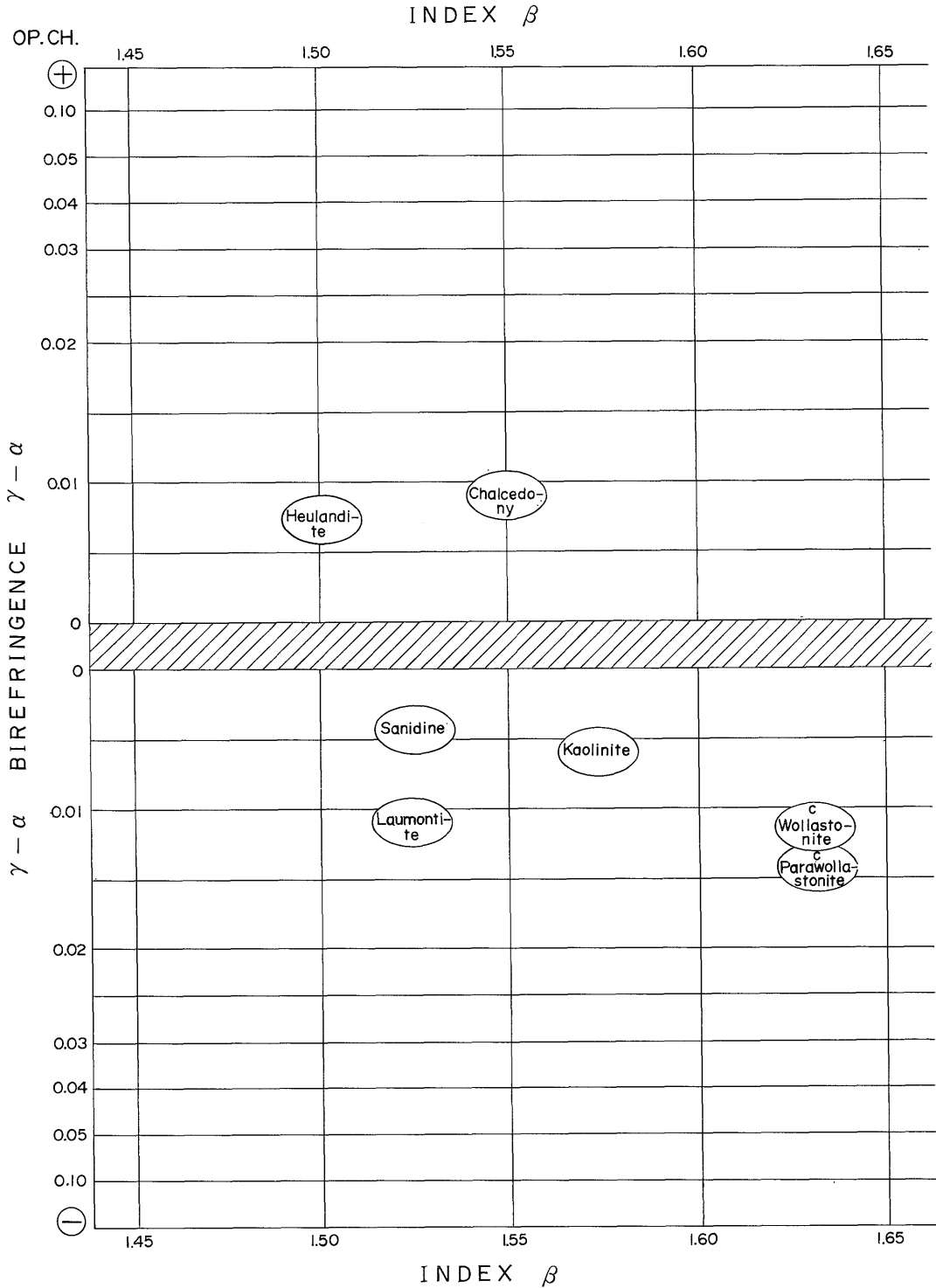
a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart C Minerals showing oblique extinction, $2V \leq 40^\circ$

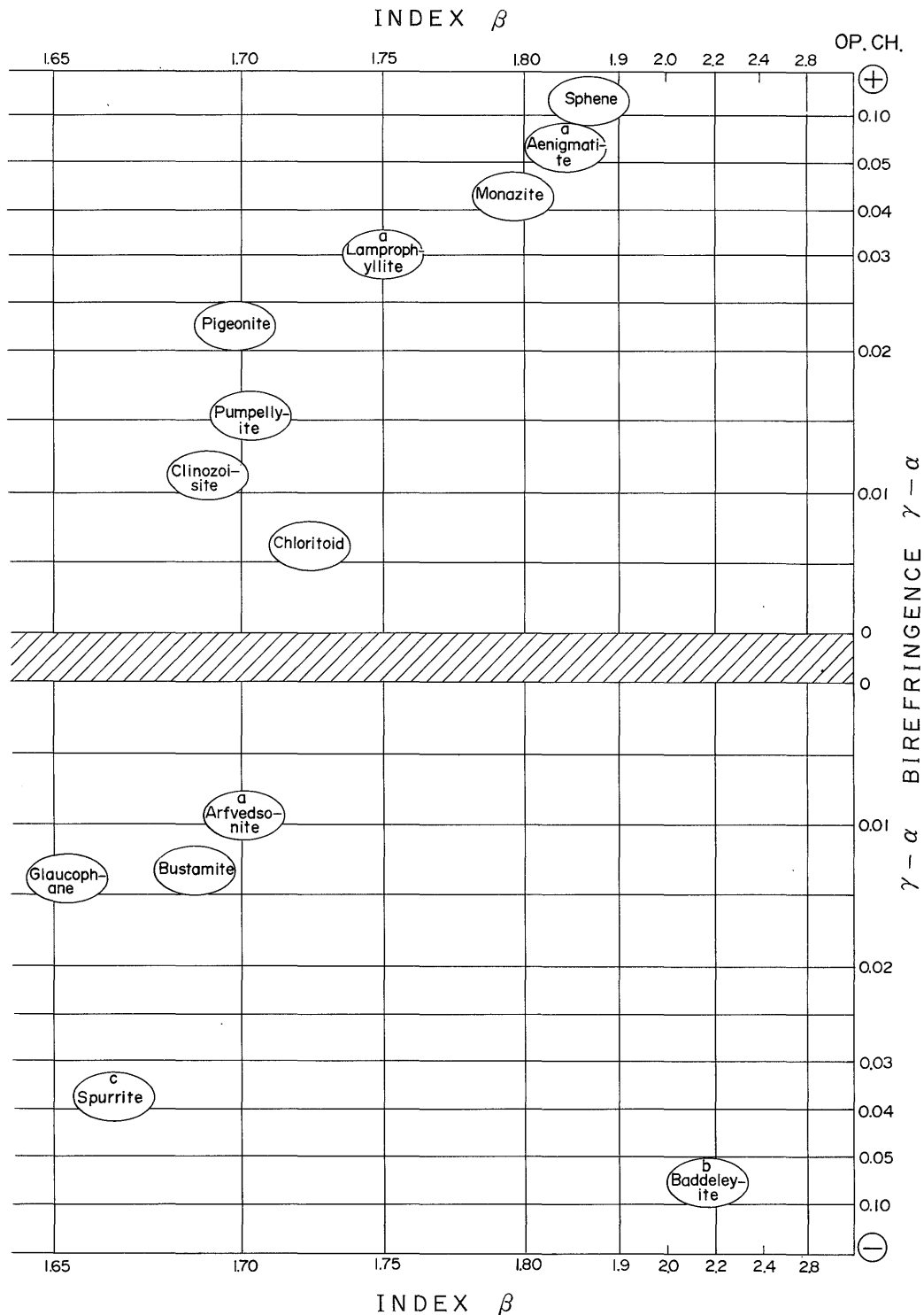
a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart C Minerals showing oblique extinction, $2V \leq 40^\circ$

a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock

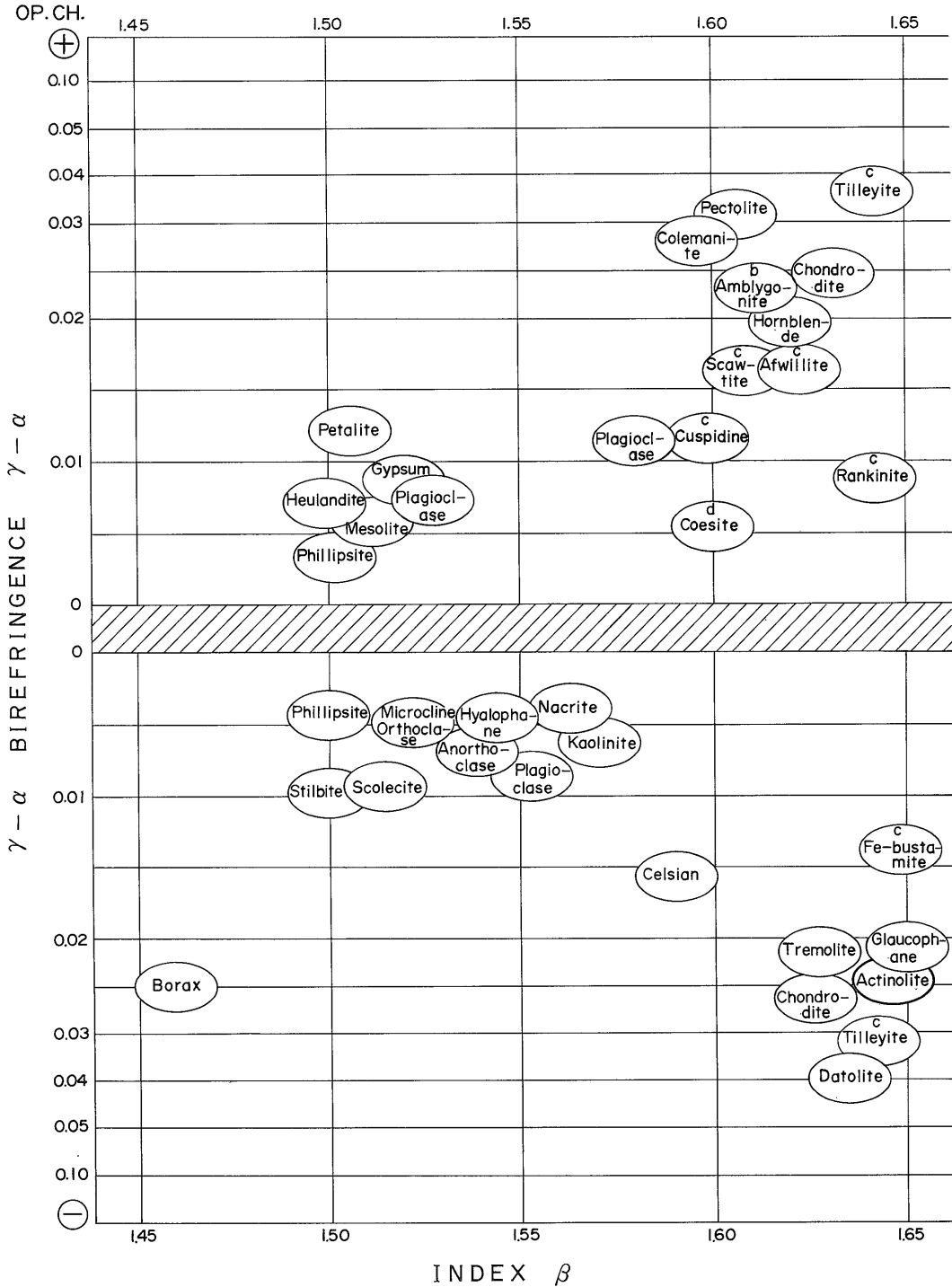


MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart D Minerals showing oblique extinction, $2V > 40^\circ$

a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock

INDEX β



MICROSCOPIC IDENTIFICATION CHARTS FOR TRANSPARENT MINERALS

Chart D Minerals showing oblique extinction, $2V > 40^\circ$

a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock

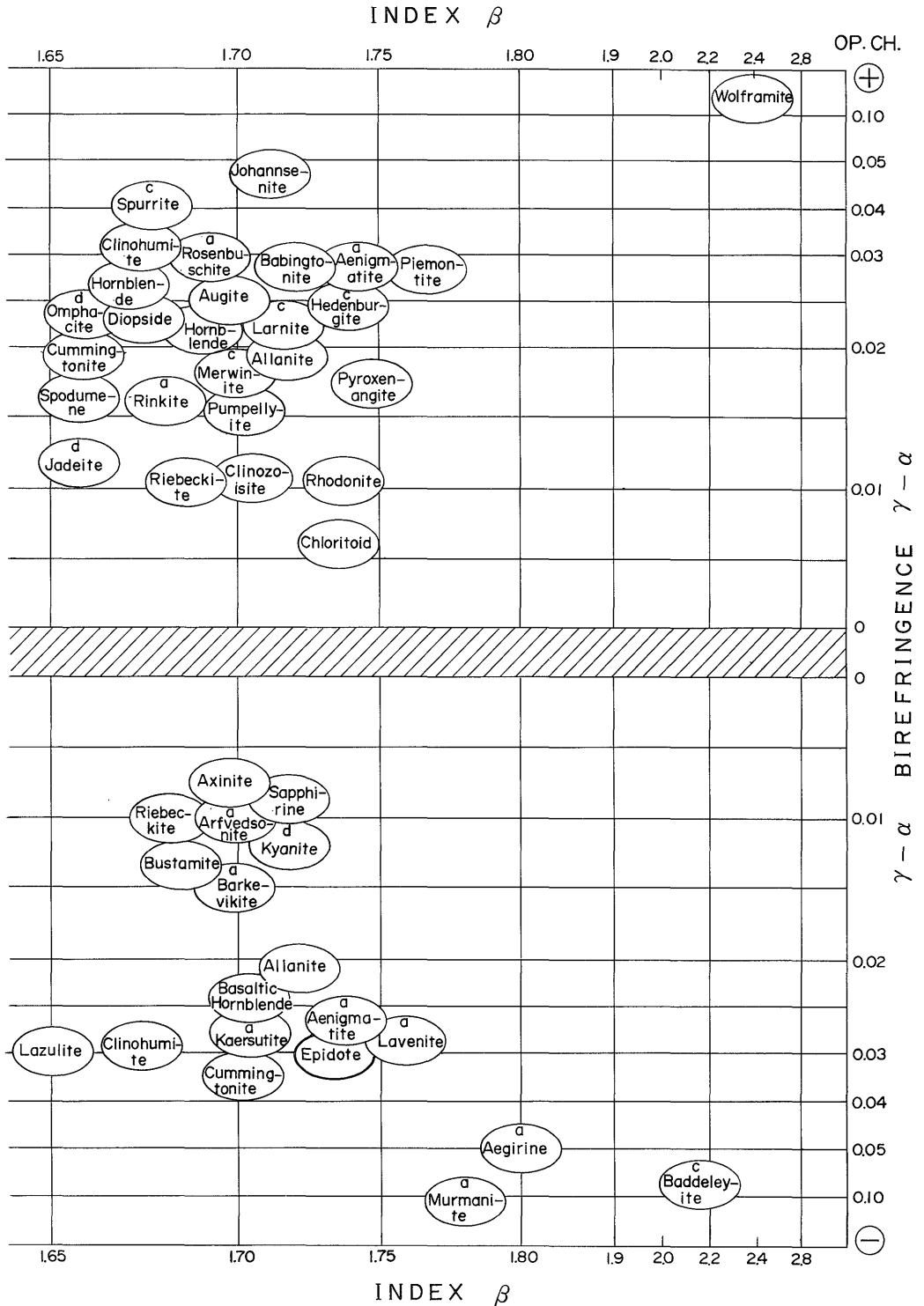


Table 1. Colored minerals (1)

	Isotropic (very weak birefring.) Chart A	Straight ext., $2V=0^\circ$ Chart A	Straight ext., $2V\approx 0^\circ$ Chart B	Oblique ext., $2V\leq 40^\circ$ Chart C	Oblique ext., $2V>40^\circ$ Chart D
pink, red	Almandine	+Eudialite/a	-Andalusite	-Bustamite	-Bustamite
	Andradite	-Hematite	+Crysoberyl/b	+Monazite	+Piemontite
	Chromite	+Xenotime/b	+Cr-chlorite	+Pigeonite	+Rhodonite
	Pyrochlore		-Hypersthene		\pm Ti-clinohumite
	Spessartine		-Lepidiorite +Mullite		
brown	Aeschnite/b	-Biotite	-Biotite	-Baddeleyite/b	-Aegirine/a
	Almandine	+Cassiterite	+Brookite	+Monazite	\pm Allanite
	Chromite	+Eudialite/a	-Clintonite	+Sphene	-Baddeleyite/b
	Melanite	-Geikielite	+Columbite/b		-Barkevikite/a
	Picotite	-Hematite	+Eudialite/a		-Basaltic hornb.
	Pyrochlore	+Rutile -Stilpnomelane	-Ilvaite -Lepidolite -Ludwigite +Pseudobrookite		+Cummingtonite +Hornblende -Kaersutite/a
yellowish brown	Periclase/c	-Apatite	+Astrophyllite/a	+Sphene	-Aegirine/a
	Picotite	-Anatase	\pm Catapleite/a, b		\pm Allanite
	Sphalerite	-Biotite +Cassiterite -Phlogopite +Rutile -Stilpnomelane -Tourmaline -Vesuvianite +Xenotime/b +Zircon	-Clintonite +Crysotile -Ilvaite +Staurolite -Vermiculite -Zinnwaldite		+Augite +Babingtonite -Barkevikite/a \pm Clinohumite +Cummingtonite +Hornblende -Kaersutite/a +Ti-augite \pm Ti-clinohumite
orange, brownish yellow	Picotite	-Biotite \pm Melilite/a, c -Phlogopite -Tourmaline +Xenotime/b	-Arfvedsonite/a +Astrophyllite/a +Brookite -Clintonite -Fe-olivine -Glaucanite -Hypersthene +Staurolite	-Arfvedsonite/a -Bustamite +Lamprophyllite/a	-Aegirine/a \pm Aeg-augite/a \pm Allanite -Arfvedsonite/a +Babingtonite -Bustamite \pm Chondrodite -Kaersutite/a -Lavenite/a +Piemontite +Rhodonite +Ti-augite

+, - optic character (+ positive; - negative).

a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock.

Table 1. Colored minerals (2)

	Isotropic (very weak birefring.) Chart A	Straight ext., $2V=0^\circ$ Chart A	Straight ext., $2V\approx 0^\circ$ Chart B	Oblique ext., $2V\leq 40^\circ$ Chart C	Oblique ext., $2V>40^\circ$ Chart D
yellow	Andradite	-Anatase	-Andalusite	-Baddeleyite/b	-Axinite
	Perovskite	-Beryl/b	+Astrophyllite/a	+Chloritoid	-Baddeleyite/b
	Picotite	+Cassiterite	+Brookite	+Lamprophyllite/a	+Chloritoid
	Pyrochlore	-Corundum	\pm Catapleite/a, b	+Monazite	\pm Chondrodite
	Sphalerite	+Eudialite/a	+Chrysoberyl/b	+Pigeonite	\pm Clinohumite
	Spessartine	\pm Melilite/a, c	-Dumortierite	+Rinkite/a	+Cummingtonite
		-Meliphanite/b	+Humite		\pm Epidote
		-Protolithionite/b	-Montmorillonite		+Hornblende
		+Rutile	+Staurolite		-Lavenite/a
		-Stilpnomelane			+Mosandrite/b
	-Tourmaline			+Piemontite	
	+Xenotime/b			+Rinkite/a	
				+Rosenbuschite/a	
greenish yellow		-Anatase	-Andalusite	+Chloritoid	-Actinolite
		+Cassiterite	-Arfvedsonite/a	+Monazite	-Aegirine/a
		\pm Chlorite	\pm Chlorite		\pm Chondrodite
		+Rutile	-Clintonite		\pm Epidote
		-Vesuvianite	+Chrysotile		+Hedenbergite/c
			-Glaucosite		+Hornblende
			-Hypersthene		-Lavenite/a
			-Fe-olivine		+Omphacite/d
			-Montmorillonite		\pm Riebeckite
			-Vermiculite		+Ti-augite
yellow green	Andradite	-Beryl	+Brookite	+Chloritoid	-Actinolite
	Chlorospinel	-Biotite	\pm Chlorite	+Pigeonite	-Aegirine/a
		\pm Chlorite	+Chrysoberyl/b	+Pumpellyite	+Augite
		-Corundum	-Clintonite		+Chloritoid
		\pm Pennine	-Glaucosite		+Cummingtonite
		-Vermiculite	-Montmorillonite		\pm Epidote
		-Vesuvianite	\pm Pennine		+Hedenbergite/c
			-Vermiculite		+Hornblende
					+Omphacite/d
					+Pumpellyite
				\pm Riebeckite	
				-Sapphirine	
green	Ceylonite	-Biotite	-Andalusite	-Arfvedsonite/a	-Actinolite
	Hercynite	\pm Chlorite	-Antigorite	+Chloritoid	-Aegirine/a
	Manganosite	-Stilpnomelane	\pm Chlorite	+Pumpellyite	-Arfvedsonite/a
	Nosean/a	-Tourmaline	+Chrysoberyl/b		+Augite
	Pleonaste	-Vesuvianite	-Clintonite		+Babingtonite
	Uvarovite	+Xenotime/b	-Glaucosite		-Baddeleyite/b
		+Zircon	-Hypersthene		+Chloritoid
		+Ludwigite		\pm Chondrodite	

Table 1. Colored minerals (3)

	Isotropic (very weak birefring.) Chart A	Straight ext., $2V=0^\circ$ Chart A	Straight ext., $2V\approx 0^\circ$ Chart B	Oblique ext., $2V\leq 40^\circ$ Chart C	Oblique ext., $2V>40^\circ$ Chart D
green					+Cummingtonite +Hedenbergite/c +Hornblende +Omphacite/d +Pargasite +Pumpellyite -Sapphirine
blue green	Nosean/a	+Amesite -Anatase -Beryl \pm Pennine	+Amesite -Glaucosite \pm Pennine	-Arfvedsonite/a +Chloritoid +pumpellyite	-Actinolite \pm Aeg-augite/a -Arfvedsonite/a +Babingtonite -Barroisite/d +Chloritoid +Hornblende +Pargasite +Pumpellyite
blue	Hauyne/a Spinel	-Anatase -Corundum -Fe-tourmaline	-Arfvedsonite/a \pm Catapleite/a, b -Dumortierite	-Arfvedsonite/a +Chloritoid -Glaucophane	-Arfvedsonite/a -Axinite +Babingtonite -Barroisite/d +Chloritoid -Glaucophane -Kyanite/d -Lazulite \pm Riebeckite -Sapphirine
violet	Fluorite Hauyne/a Perovskite	-Corundum -Fe-tourmaline -Geikielite	-Arfvedsonite/a +Brookite -Cordierite +Cr-chlorite -Dumortierite -Lepidolite	-Arfvedsonite/a -Glaucophane	-Aegirine/a -Arfvedsonite/a -Axinite +Babingtonite -Glaucophane -Kyanite/d +Piemontite +Ti-augite

Table 2 Minerals with distinct color zoning.

	Isotropic (very weak birefring.) Chart A	Straight ext., $2V=0^\circ$ Chart A	Straight ext., $2V\approx 0^\circ$ Chart B	Oblique ext., $2V\leq 40^\circ$ Chart C	Oblique ext., $2V>40^\circ$ Chart D
pink, red			—Andalusite		+Piemontite
brown	Melanite	+Cassiterite —Tourmaline	—Basaltic hornb. +Brookite		\pm Allanite —Basaltic hornb. +Hornblende
yellow		+Cassiterite	—Arfvedsonite/a	—Arfvedsonite/a	\pm Allanite —Arfvedsonite/a
green		—Anatase	—Arfvedsonite/a	—Arfvedsonite/a	—Aegirine/a \pm Aeg-augite/a +Hornblende \pm Riebeckite
blue	Hauyne/a	—Anatase —Corundum	—Arfvedsonite/a —Glaucoaphane	—Arfvedsonite/a —Glaucoaphane	—Aegirine/a —Arfvedsonite/a —Glaucoaphane \pm Riebeckite
violet			—Arfvedsonite/a	—Arfvedsonite/a —Glaucoaphane	—Arfvedsonite/a —Glaucoaphane +Piemontite +Ti-augite

+, — optic character (+ positive; — negative).

a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock.

Table 3 Minerals with anomalous interference color.

Isotropic (very weak birefring.) Chart A	Straight ext., $2V=0^\circ$ Chart A	Straight ext., $2V\approx 0^\circ$ Chart B	Oblique ext., $2V\leq 40^\circ$ Chart C	Oblique ext., $2V>40^\circ$ Chart D
	\pm Apophyllite +Brucite \pm Melilite/a, c —Vesuvianite +Zoisite	—Glaucoaphane \pm Melilite/a, c \pm Pennine +Zoisite	—Borax +Chloritoid —Glaucoaphane \pm Pennine	+Chloritoid —Clinzoisite —Glaucoaphane +Ti-augite

+, — optic character (+ positive; — negative). a, alkaline rock; b, pegmatite; c, carbonate-contact; d, high P/T metamorphic rock.