Défauts de réseau dans la sillimanite : $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

D. Menard, J.C. Doukhan

► To cite this version:

D. Menard, J.C. Doukhan. Défauts de réseau dans la sillimanite : $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Journal de Physique Lettres, 1978, 39 (2), pp.19-22. 10.1051/jphyslet:0197800390201900 . jpa-00231433

HAL Id: jpa-00231433

<https://hal.science/jpa-00231433>

Submitted on 1 Jan 1978

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
 Physics Abstracts
 61.70J — 91.60

DÉFAUTS DE RÉSEAU DANS LA SILLIMANITE : $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (*)

D. MENARD et J. C. DOUKHAN

Laboratoire de structure et propriétés de l'état solide (**), Université des Sciences et Techniques de Lille,
 B.P. 36, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

(Reçu le 16 septembre 1977, accepté le 2 décembre 1977)

Résumé. — Les défauts de réseau de la sillimanite, s'interprètent assez aisément à partir du modèle cristallichimique : on met en évidence l'importance du squelette de chaînes d'octaèdres AlO_6 parallèles à l'axe c . Les fautes de faible énergie et les plans de glissement des dislocations observés au microscope électronique par transmission ne perturbent pas ce squelette de chaînes d'octaèdres.

Abstract. — Lattices defects in sillimanite are explained in terms of a crystallo-chemical model. We indicate the importance of the skeleton of chains of AlO_6 octahedra parallel to the c axis. Transmission electron microscopy observations show that low energy faults and glide planes of dislocations do not disturb this skeleton of AlO_6 octahedra chains.

1. **Introduction.** — La sillimanite est l'un des polymorphes du système $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ [1] dont la structure cristalline a été élucidée par Burnham [2].

La maille orthorhombique contient 4 Al_2SiO_5 et a pour paramètres

$$a = 7,44 \text{ \AA} ; \quad b = 7,59 \text{ \AA} ; \quad c = 5,75 \text{ \AA} .$$

Sillimanite

FIG. 1. — Représentation schématique de la sillimanite projetée sur le plan (001). Les losanges représentant les octaèdres AlO_6 en chaînes, l'arête commune est représentée par le trait épais, les tétraèdres AlO_4 en blanc et les tétraèdres SiO_4 en gris. L'alternance des tétraèdres SiO_4 et AlO_4 suivant l'axe c est visible figure 6.

[Schematic representation of sillimanite on the (001) plane. Lozenges represent the chains of AlO_6 octahedra, the common edge is represented by the heavy line, the AlO_4 tetrahedra are white and the SiO_4 tetrahedra grey. The alternating SiO_4 and AlO_4 tetrahedra along the c axis are shown in figure 6.]

Cette structure peut être considérée comme un assemblage de chaînes d'octaèdres AlO_6 se touchant par une arête. Les chaînes sont parallèles à l'axe c et sont reliées les unes aux autres par des doubles chaînes de tétraèdres alternés SiO_4 et AlO_4 (Fig. 1).

Si la succession de ces tétraèdres dans la direction c devient aléatoire, on obtient la structure mullite de paramètres moitié dans cette direction [3]. D'autre part, on obtient les autres polymorphes, disthène et andalousite, du système $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ en modifiant les polyèdres (tétraèdres SiO_4 ou AlO_4 ou octaèdres AlO_6) qui relient entre elles les chaînes d'octaèdres AlO_6 . Ces chaînes forment donc le squelette de ces alumino-silicates et il faut en tenir compte dans la recherche des défauts du réseau et des systèmes de glissement possibles de ces minéraux. Dans le cas du disthène on a effectivement vérifié [4] que les dislocations glissiles ne coupent ni les chaînes d'octaèdres ni les liaisons Si-O réputées fortes dans les silicates. Il semble donc plus fructueux de raisonner sur des assemblages de tétraèdres et d'octaèdres (qui respectent mieux les propriétés cristallichimiques de ces minéraux) que d'utiliser, comme dans les métaux, des assemblages de sphères dures plus ou moins distordus.

2. **Observations.** — Nous avons étudié en microscopie électronique à transmission à 100 kV un cristal de sillimanite provenant de Chester (Connecticut, U.S.A.). Les lames ont été amincies par bom-

(*) Ce travail est une partie de la thèse de D. Menard.

(**) Laboratoire associé au C.N.R.S. n° 234.

bardement ionique. Les échantillons se présentent sous forme de longues régions monocristallines parallèles à l'axe c et dont les désorientations relatives peuvent atteindre plusieurs dizaines de degrés (Fig. 2). La largeur de ces domaines est de l'ordre du micron. Ceci explique à la fois l'aspect macroscopique fibreux de ce cristal (parfois appelé fibrolite) et l'impossibilité d'orienter le cristal par la méthode de Laue.

A l'intérieur de chacun des petits monocristaux on observe des dislocations dont certaines ont pu être caractérisées par application du critère d'extinction

FIG. 2. — Lamelle (100). Cristallites parallèles à l'axe c , séparés par des sous-joints ou par des fautes, qui donnent l'aspect fibreux à la sillimanite.

[(100) foil. Fibre-like crystallites parallel to the c axis, separated by subgrain-boundaries or faults.]

FIG. 3. — Lamelle (010). Dislocations c vis dissociées. Largeur de dissociation ≈ 300 Å.

[(010) foil. Dissociated c screw dislocations. The ribbon width is ≈ 300 Å.]

habituel $g \cdot b = 0$. Il s'agit pour la majeure partie de dislocation vis de vecteur de Burgers c ($c = 5,75$ Å est la plus petite période du réseau). Ces dislocations sont largement dissociées (Fig. 3).

On observe d'autres dislocations dont les vecteurs de Burgers n'ont pu être caractérisés. Ces vecteurs de Burgers semblent n'être ni a ni b , les plus petites translations du réseau après c , car $g = 004$ ne les éteint pas, ou bien l'anisotropie élastique empêche d'avoir de bonnes extinctions pour $g \cdot b = 0$ (Fig. 4).

On observe aussi de nombreux défauts plans qui n'ont pu tous être caractérisés. Certains sont manifestement des sous-joints qui peuvent être résolus en dislocations sur des images en faisceau faible (Fig. 5). D'autres défauts plans non caractérisés séparent des régions très désorientées.

3. Dissociation et plans de glissement. — Les observations indiquent que les dislocations c sont dissociées en deux parties colinéaires (extinctions simultanées

a)

b)

FIGS 4a ET 4b : (a) Trois familles de dislocations (b) seules les c vis ont été caractérisées (Image en faisceau faible).

[(a) Three families of dislocations (b) only the screw dislocations of the c Burgers-vector are characterized (Weak-beam image).]

FIG 5 — Image en faisceau faible de sous-joints et de fautes
[Weak-beam micrograph showing subgrain-boundaries and faults]

a)

b)

FIG 6 — a) les doubles chaînes de tétraèdres avant le passage d'une dislocation un tétraèdre SiO_4 est entouré de 3 tétraèdres AlO_4 et inversement, b) les doubles chaînes de tétraèdres après le passage d'une dislocation de vecteur de Burgers $c/2$ Un tétraèdre SiO_4 est entouré de deux tétraèdres AlO_4 et d'un tétraèdre SiO_4 et réciproquement

[a] double chains of octahedra before the passage of a dislocation a SiO_4 tetrahedron is surrounded by 3 AlO_4 tetrahedra and vice versa, b) double chains of tetrahedra after the passage of a dislocation with Burgers vector $c/2$ A SiO_4 tetrahedron is surrounded by 2 AlO_4 tetrahedra and 1 SiO_4 tetrahedron and vice versa]

FIG. 7 — Description de la technique utilisée pour déterminer le plan de dissociation a) Position du ruban de dislocation par rapport au plan de la photo d est la largeur vraie de dissociation, b) distance entre les images des parties sur le plan de la photo δ , c) détermination des deux angles φ et χ théorique, projection stéréographique du plan de la lame à Tilt = 0 (perpendiculaire au faisceau d'électron), l est la direction de la ligne de dislocation dans l'espace, d) comparaison de la courbe obtenue δ avec les plans possibles de dissociation (τ est l'inclinaison de la lame)

[Technique used for the determination of dissociation plane a) position of the dislocation-ribbon with respect to the picture-plane d is the true width of the dissociation, b) distance between the two images of the partials on the plane of the micrograph, c) determination of angles φ and χ , stereographic projection of the lamella plane for Tilt = 0 (perpendicular to the electron-beam), l is direction of the dislocation line in space, d) comparison of the graph with the possible dissociation planes (τ is the tilt angle)]

des deux partielles). Comme pour le disthène [3] la dissociation $c \rightarrow 1/2 c + 1/2 c$ conduit à une faute de faible énergie car elle conserve les entités tétraédriques et octaédriques et notamment les chaînes. Cette faute change simplement les voisinages dans les doubles chaînes de liaison (Fig. 6). Une telle faute peut être réalisée dans les divers plans (100), (010), (110) et ($\bar{1}\bar{1}0$). Nous avons donc cherché à caractériser le plan de dissociation en mesurant la largeur de dissociation apparente pour diverses inclinaisons de l'objet [5]. Si d est la vraie largeur de dissociation et δ la largeur apparente mesurée sur l'image, on a (Fig. 7) :

$$\frac{\delta}{d} = \sin \varphi \cos \chi .$$

La mesure de d par microdensitométrie permet de déterminer le plan de dissociation sans ambiguïté par comparaison avec les courbes théoriques obtenues pour les divers plans possibles. Nous trouvons effectivement des dissociations dans les divers plans proposés, avec des largeurs de dissociation sensible-

ment équivalentes de l'ordre de 300 Å. Etant donné ces grandes largeurs de dissociations, les plans de glissement sont probablement les plans de dissociation. En outre, comme il s'agit préférentiellement de dislocations vis, des glissements déviés (non nécessairement accompagnés de constriction) peuvent se produire qui conduiraient à du glissement non cristallographique (*pencil glide*).

4. Conclusion. — Les défauts de réseau de la sillimanite s'interprètent bien à partir du modèle cristallochimique développé dans la première partie : les fautes de faible énergie et les plans de glissement aisé des dislocations ne perturbent pas le squelette des chaînes d'octaèdres AlO_6 . Seul l'ordre des tétraèdres de liaison SiO_4 et AlO_4 est affecté, comme pour la transition sillimanite $\rightarrow$ mullite, ceci permet de comprendre au moins qualitativement que l'on peut accoler des cristallites d'orientation différente à condition que leurs chaînes d'octaèdres (axe c) soient parallèles. La nature de ces interfaces est actuellement en cours d'étude.

Bibliographie

- [1] ZEN, E-an, *Amer. J. Sci.* **267** (1969) 297.
- [2] BURNHAM, C. W., *Z. Kristallogr.* **118** (1963) 127.
- [3] DAVIS, R. F. and PASK, J. A., *High temperature oxides* (Academic Press. N. Y. and London), 1971, p. 37.
- [4] MENARD, D., DOUKHAN, J. C. and PAQUET, J., *Mater. Resear. Bull.* **12** (1977) 631.
- [5] DOUKHAN, N., DUCLOS, R., ESCAIG, B. (à paraître).