



ASBESTOS FIBER

FILE COPY

Neues Jb. Mineral., Mh.	1957	6	135-140	Stuttgart, Juli 1957
-------------------------	------	---	---------	----------------------

Orientierte Verwachsungen von Chrysotil mit Mineralen der Serpentin-Gruppe und mit Kalzit

Von H. Wondratschek, Würzburg

Max-Planck-Institut für Silikatforschung

Mit 2 Abbildungen im Text

Im Verlauf der an diesem Institut durchgeführten Arbeiten über den Chrysotilasbest (1), (2) fanden wir verschiedene Chrysotile, die durch andere Minerale verunreinigt waren. Den hier untersuchten Chrysotilen vom Querfasertyp (cross-fibre), bei dem die Faserachse der Chrysotilröllchen senkrecht oder ungefähr senkrecht zu den Kluftwänden verläuft, haftet mitunter an ihren Enden noch Material von den Kluftwänden an. Dieses bestimmten wir röntgenographisch mittels Pulveraufnahmen als Serpentin-Mineral, Kalzit, Dolomit, Brucit und Magnetit. Wichtiger und für die Technik unangenehmer sind die mit der Chrysotilfaser eng verwachsenen Fremdminerale. Nach unseren Röntgenaufnahmen traten Magnetit, Minerale der Serpentin-Gruppe, Kalzit und Brucit auf. Verwachsungen mit Magnetit sind bekannt und stören vor allem bei einer Verwendung des Chrysotils in der Elektroindustrie. Die Verwachsung mit Brucit soll in einer demnächst erscheinenden Arbeit über den Nematolith = Faserbrucit behandelt werden, da sie bei der Nematolithbildung anscheinend eine wesentliche Rolle spielt. Während beim Magnetit keine Orientierung der Magnetitteilchen zu beobachten war, die Kriställchen vielmehr ohne Bevorzugung einer bestimmten Richtung zwischen den Chrysotilfasern eingelagert sind, geschieht die Verwachsung von Chrysotil mit anderen Serpentinmineralen und Kalzit weitgehend gesetzmäßig. Die Verwachsungsgesetze und Versuche zu ihrer Deutung sind Gegenstand der vorliegenden Notiz.

Für die Verwachsung mit anderen Gliedern der Serpentingruppe fanden wir zwei Beispiele. Das erste wird schon von F. ARUJA (3) beschrieben und macht sich bemerkbar durch das Auftreten schwacher diffuser Schichtlinien parallel zu den Schichtlinien des Chrysotils.

Chrysotil ergibt, auch bei stehendem Kristall, Schichtliniendiagramme mit Schichtlinien senkrecht zur Faserachse. Die Schichtlinien sind im allgemeinen scharf begrenzt, die Reflexe sind aber innerhalb der Schichtlinien z. T. ausgeschmiert. Die Interpretation dieses Röntgenbeugungsbildes führten JAGODZINSKI und KUNZE (1) mit Hilfe der Röllchenstrukturvorstellung durch. Die Gitterkonstanten des gewöhnlichen Chrysotils sind nach ihnen a // Faserachse = 5,33 Å; b $\perp$ Faserachse, // Röllchenwand = 9,10 Å; c $\perp$ Röllchenwand = 7,32 Å.

RETURN TO
Johns-Manville Research
LIBRARY

MTC 000193

Diese Schichtlinien führen auf eine Gitterperiode parallel zur Faserachse des Chrysotils von 9,1 Å. ARUJA schätzte den Anteil dieser Komponente auf < 3% und sprach auch bereits die Vermutung aus, daß hier Chrysotilröllchen vorliegen, bei denen b die Identitätsperiode in der Röllchenachse ist. Denn auch bei diesen Zwischenschichtlinien sind die Reflexe in den Schichtlinien diffus und verschmiert. Diese Nebenkompente kann daher um b als Achse gerollt oder gekrümmt sein oder weist sehr starke Fehlordnung auf.

Daneben traten bei einem Chrysotil von Südafrika (näherer Fundort unbekannt) verhältnismäßig scharfe Reflexe an denselben Stellen auf, an denen im vorigen Beispiel die diffusen Schichtlinien erscheinen. Auch hier beträgt also die Gitterperiode in Richtung der Faserachse 9,1 Å. Der Schärfe der Reflexe nach (die diffusen Schwänze sind an manchen Stellen in Punkte aufgelöst) handelt es sich bei dieser Substanz um ein antigoritisches Mineral, das mit seiner b -Achse parallel zur Faserachse des Chrysotils orientiert ist¹. Weitere Gesetzmäßigkeiten können dem Röntgenbeugungsbild nicht entnommen werden, da das Röntgendiagramm des Chrysotils (stehender Kristall) auf Grund seiner Struktur auch bei kleinsten Proben immer zylindersymmetrisch erscheint und man also grundsätzlich nur die Aussagen erhält, die man einem Drehdiagramm entnehmen kann. Der relative Anteil dieses Serpentin kann sehr viel höher als 3% liegen, ein Beispiel gibt Abb. 1. Auch ist er örtlich sehr starken Schwankungen unterworfen, selbst in Bereichen von wenigen Millimetern Ausdehnung.

Orientierungen des Chrysotils mit Kalkspat treten bei südafrikanischen Vorkommen verhältnismäßig häufig auf. In einer ausführlichen Arbeit „Orientation naturelle de la Calcite dans une fibre de Chrysotile“ beschreiben R. GAY und R. REYNAUD (5) eine solche Paragenese aus einem Lherzolith (ohne Angabe der Herkunft). Der Kalzit bildet morphologisch feine Nadeln parallel zur Faserachse des Chrysotils. Die Auswertung eines Röntgenfaserdiagramms des Chrysotils ergibt, daß der Kalzit orientiert mit dem Asbest verwachsen ist. Als Verwachsungsgesetze werden angegeben $[1\bar{1}0]$, $[100]$, $[211]$, $[111]$, $[122]$, $[113]$ und $[511]$ von Kalzit (rhomboedrische Indizierung) parallel zur Faserachse des Chrysotils. Diese Verwachsungsgesetze erklären die Verfasser durch epitaktische Beziehungen, weniger wahrscheinlich ist nach ihnen eine Beeinflussung des Wachstums durch die Fasertextur des Asbestes. Die Verwachsungen sollen im allgemeinen flächenhaft sein, nur in einem Fall (bei $[1\bar{1}0]_{\text{Ca}}$ // Faserachse) wird lineare Epitaxie, d. h. Verwachsung, bedingt durch die strukturellen Beziehungen längs einer Gittergeraden, vermutet. Doch ist die geometrische Übereinstimmung der miteinander verwachsenden Partnerebenen, wie die Verfasser selbst bemerken, recht unvollkommen. Zudem wird ein Teil

¹ Eine Verwachsung des Chrysotils mit Antigorit nach demselben Gesetz beobachtete auch G. KUNZE (Pers. Mitt.), der in letzter Zeit die Struktur des Antigorits bestimmte (4).

dieser Epitaxien als parallel (010)-Chrysotil angenommen, was mit der Röllchenstruktur des Chrysotils schwer zu vereinbaren ist.

Davon unabhängig war eine eigene Untersuchung von Chrysotil-Kalzit-Verwachsungen bei südafrikanischen Asbesten durchgeführt worden. Abb. 2 zeigt Röntgenaufnahmen von südafrikanischen Chrysotilproben, 2a mit stehendem, 2b mit gedrehtem Kristall. 2a entspricht etwa der von GAY und REYNAUD angegebenen (gezeichneten) Röntgenaufnahme. Der Vergleich beider Aufnahmen zeigt, daß eine Drehung des Präparates während der Aufnahme notwendig ist, um den Fehler durch die Statistik der ziemlich grobkristallinen Kalzitteilchen zu verringern. Bei den gedrehten Aufnahmen sind nur noch drei Orientierungen mit Sicherheit zu erkennen: $[1\bar{1}0]_{Ca}$ mit $u = 4,98 \text{ \AA}$; $[211]_{Ca}$ mit $u = 8,63 \text{ \AA}$ und $[1\bar{1}1]_{Ca}$ mit $u = 8,08 \text{ \AA}$ // $[100]_{Chrys.}$ ^{2 u. 3}

Die relative Stärke der den einzelnen Orientierungen zuzuordnenden Reflexe schwankt von Vorkommen zu Vorkommen erheblich, merklich aber auch schon bei verschiedenen Proben desselben Handstückes.

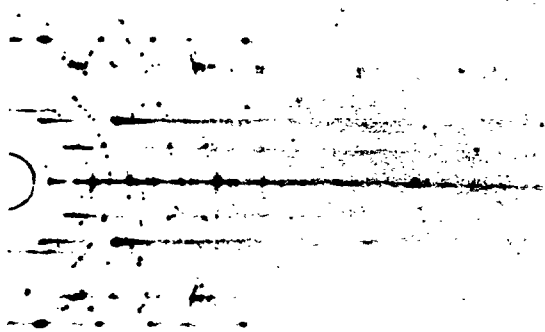


Abb. 1. Chrysotil, verwachsen mit antigoritischem Serpentin-Mineral und etwas Kalzit. „Dreh“-Aufnahme mit stehendem Präparat; Cu K_α -Strahlung, Ni-Filter.

² Gitterkonstanten des Kalzits: $a = 6,36 \text{ \AA}$; $\alpha = 46^\circ 7'$; $a_{hex} = 4,98 \text{ \AA}$; $c_{hex} = 17,02 \text{ \AA}$. Alle angeführten Indizes des Kalzits beziehen sich auf das rhomboedrische Achsenkreuz.

³ Vielleicht spielt bei einem Präparat auch $[100]_{Ca}$ // $[100]_{Chrys.}$ eine untergeordnete Rolle.



Abb. 2. Chrysotil, verwachsen mit Kalzit. Cu K_α -Strahlung, Ni-Filter.
2 a linke Hälfte, stehendes Präparat; 2 b rechte Hälfte, gedrehtes Präparat.
In dieser Probe herrscht die Orientierung $[211]_{Ca}$ Faserachse vor.

$[1\bar{1}0]$ und $[211]$ werden auch von GAY und REYNAUD angegeben: $[1\bar{1}1]$ entspricht $[511]$ der genannten Autoren.

Dies sieht man sofort, wenn man die beiden Richtungen hexagonal indiziert: $[1\bar{1}1]_{hex} = [2\bar{2}1]_{hex}$, $[151]_{hex} = [221]_{hex}$. Diese beiden Richtungen gehen also durch eine Spiegelung an der hexagonalen $a-b$ -Ebene auseinander hervor. Da die Kristallklasse des Kalzits ein solches Symmetrieelement nicht besitzt, sind die beiden Richtungen strukturell ungleichwertig. Dies drückt sich z. B. in der Identitätsperiode in beiden Richtungen aus: $u_{[1\bar{1}1]} = 8.08 \text{ \AA}$; $u_{[511]} = 24.23 \text{ \AA} = 3 \cdot u_{[1\bar{1}1]}$. Unsere Röntgenaufnahmen entscheiden zugunsten von $[1\bar{1}1]$ in unseren Präparaten. Die anderen von GAY und REYNAUD angegebenen Orientierungen traten bei uns nicht auf.

Diese letzte Orientierung $[1\bar{1}1]$ ist auch am leichtesten zu deuten: sie läßt sich durch die Annahme planarer Epitaxie gut erklären. Folgende Ebenen kämen als Partner in Frage: $(001)_{Chrys.}$ mit rechteckigem Netz $a = 5.33 \text{ \AA}$; $b = 9.10 \text{ \AA}$, und $(123)_{Ca}$ mit $x_{Ca} = [1\bar{1}1] = 8.08 \text{ \AA}$; $y_{Ca} = [153] = 26.21 \text{ \AA}$; $\angle(x, y) = 90^\circ 45'$. Es läge dabei $x \sim a$ ($2x = 3a$, Abweichung 1°) und $y \sim b$ (Winkelabweichung $< 1^\circ$, $y = 3b$ mit 4° Abweichung). Fläche des Gebietes $437 \text{ \AA}^2$. Man beachte aber, daß bei einem Außendurchmesser der Chrysotilröllchen von $350 \text{ \AA}$ die „Zellkante“ $3b$ wegen der Rollung schon um etwa 9° durchgebogen ist.

Nimmt man auch für die beiden anderen Orientierungen Epitaxie an, so kommt man zu folgenden Möglichkeiten (der eine Partner sei stets $(001)_{Chrys.}$):

1. $(111)_{Ca}$ mit $[1\bar{1}0]_{Ca} \parallel a_{chr.}$ und $[11\bar{2}]_{Ca} \parallel b_{chr.}$:

Differenzen $\delta_1 = 7^\circ$; $\delta_2 = 5^\circ$.

2a. $(111)_{Ca}$ mit $[1\bar{2}1]_{Ca} \parallel a_{chr.}$ und $[10\bar{1}]_{Ca} \parallel b_{chr.}$:

Differenz $\delta_1 = 8^\circ$ von $3 a_{chr.}$ gegen $2 [1\bar{2}1]_{Ca}$ oder 3° von $5 a_{chr.}$ gegen $3 [1\bar{2}1]_{Ca}$; $\delta_2 = 9^\circ$ von $2 [10\bar{1}]_{Ca}$ gegen $b_{chr.}$.

2b. $(1\bar{2}5)_{Ca}$ mit $[1\bar{2}1]_{Ca} \parallel a_{chr.}$ und $[210]_{Ca} \parallel b_{chr.}$: Differenzen δ_1 :

s. o., $\delta_2 = 3^\circ$ von $2 b_{chr.}$ gegen $[210]_{Ca}$.

Andere Verwachsungsgesetze ergeben schlechtere Übereinstimmung.

Doch ist es fraglich, ob überhaupt die Epitaxie der Grund für das Auftreten der beobachteten Orientierungen ist. Die Abweichungen der miteinander verwachsenen Gitterzellen fallen zwar nicht aus dem Rahmen des üblichen, sind sogar teilweise sehr gering, doch liegen die Flächeninhalte dieser Zellen in der Größenordnung $50 \text{ \AA}^2$ im Fall 1, 150 bzw. $250 \text{ \AA}^2$ im Fall 2a und 300 bzw. $500 \text{ \AA}^2$ im Fall 2b. Es erscheint daher durchaus möglich, daß nicht die Epitaxie, sondern der eigentümliche Habitus des Chrysotils die beobachteten Orientierungen erzeugt hat oder daß er an ihrer Entstehung mit beteiligt war. Eine solche Beeinflussung kann beim Wachstum durch eine Art Keimauslese geschehen. Auch ist denkbar, daß die Kalzitkriställchen ursprünglich regellos angeordnet waren und erst in Zeiten, in denen sich Lösungsvorgänge abspielten, gewisse Orientierungen durch den Schutz der Chrysotilröllchenwände bevorzugt erhalten blieben, oder sogar auf Kosten anderer Teilchen weiterwachsen konnten.

Man kennt auch Fälle von Orientierungen, bei denen die Struktur der Unterlage überhaupt keine Rolle mehr spielt. Die Orientierung wird dann durch die freie Oberflächen- bzw. Grenzflächenenergie der aufwachsenden Phase bestimmt, die ein Minimum anstrebt (6). Schließlich besteht die Möglichkeit, daß das CaCO_3 als Aragonit abgeschieden wurde und diese Orientierung sich bei der Umwandlung in Kalzit übertrug (vererbte Orientierung (6)). Für das Zutreffen der letzten Annahme liegen allerdings keine Anhaltspunkte vor.

Aus dem vorliegenden Material kann also weder ein Rückschluß auf die Genese noch auf die Natur des Verwachsungsvorgangs überhaupt gezogen werden. Die genauen petrographischen Zusammenhänge sind nicht bekannt, da nur einzelne Stücke Chrysotil ohne Fundortangabe vorliegen. Die allgemeinen Bildungsbedingungen des Chrysotils machen jedoch wahrscheinlich, daß sich das CaCO_3 aus Lösungen auf oder zwischen den bereits gebildeten Chrysotilfasern abgeschieden hat. Der Grund für das Auftreten der Orientierungen kann aber nicht mit Sicherheit angegeben werden.

Herrn Prof. Dr. A. NEUHAUS möchte ich für Diskussionen zu diesem Thema sowie für wertvolle Hinweise herzlich danken.

Den Firmen Becker und Haag, Hamburg, Frankfurter Asbest-Werke und Seitz-Werke, Kreuznach, bin ich für die freundliche Überlassung von Chrysotilproben sehr zu Dank verpflichtet.

Die Röntgenaufnahmen wurden mit Hilfe einer Anlage hergestellt, die die Deutsche Forschungsgemeinschaft dankenswerterweise zur Verfügung gestellt hat.

Literatur

- (1) JAGODZINSKI, H. & KUNZE, G.: N. Jb. Miner., Mh. (1954), 95, 113, 137.
- (2) WONDRA TSCH EK, H.: III Reunion Internacional sobre Reactividad de los Solidos, Madrid (1956), im Druck.
- (3) ARUJA, E.: Dissertation, Cambridge (1943).
- (4) KUNZE, G.: Z. Krist., 108 (1956), 82—107.
- (5) GAY, R. & REYNAUD, R.: Bull. Soc. franç. Minér. Crist., 77 (1954), 1049.
- (6) NEUHAUS, A.: Fortschr. Miner., 29—30 (1950/51), 140, 281.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 8. Mai 1957.

Neues Jb. Min. Mh. vol. 6, pp. 135-140, 1957.

Oriented Intergrowths of Chrysotile with Minerals
of the Serpentine Group and with Calcite.

by

H. Mondratschek
Max Planck Institute for Silicate Research, Wurzburg.

W2/1

In the course of investigations on chrysotile asbestos conducted by this Institute (1), (2), we found different chrysotiles containing impurities in the form of other minerals. The investigated chrysotile of the cross-fibre type in which the fibre axis of the chrysotile tubules is perpendicular or approximately perpendicular to the vein walls contains material from the vein walls at the ends. We determined by powder X-ray methods that these are serpentine minerals, calcite, dolomite, brucite and magnetite. More important and more unpleasant for industry are foreign minerals which are closely intergrown with chrysotile fibre. According to our X-ray determinations, magnetite, minerals of the serpentine group, calcite and brucite occurred in this way. Intergrowths with magnetite are known and are especially deleterious in the utilization of chrysotile in the electrical industry. The intergrowth with brucite is to be treated in a coming paper on nemalite (fibrous brucite) since it apparently plays a role in the formation of nemalite. While with magnetite no orientation of the magnetite particles was observed and the crystallites are deposited between the chrysotile fibres without favouring any definite direction, the intergrowth of chrysotile with other serpentine minerals and calcite is widespread and regular. The intergrowth laws and attempts at their interpretation are the purpose of this note.

MTC 000199

We found two examples of the intergrowth with other members of the serpentine group. The first is described by E. Aruja (3) and is made evident by the appearance of weak, diffuse layer lines parallel to the layer lines of chrysotile.

Chrysotile yields layer line diagrams with layer lines perpendicular to the fibre axis even in the case of a stationary crystal. The layer lines generally have sharp borders but the reflections in the layer lines are, in part, diffuse. The interpretation of this X-ray diffraction pattern was given by Jagodzinski and Kunze (1) with the aid of the tubule structure concept. The lattice constants of ordinary chrysotile according to this are:
a // fibre axis = $5.33 \text{ \AA}$; b $\perp$ fibre axis and // tubule wall = $9.10 \text{ \AA}$;
c $\perp$ tubule wall = $7.32 \text{ \AA}$.

These layer lines yield a lattice period, parallel to the fibre axis, of $9.1 \text{ \AA}$. Aruja estimated this component to be less than 3% and also expressed the opinion that chrysotile tubules are present in which b is the identity period in the tubule axis. Then, in the case of the interlayer lines, the reflections in the layer lines are also diffuse and smeared out. This additional component can then be bent around b as its axis or it exhibits strong disorder.

In addition to this, in a chrysotile from South Africa, (exact locality unknown) relatively strong reflections occurred at the same places in which the diffuse layer lines appeared in the above example. Here, too, the lattice period in the direction of the fibre axis is $9.1 \text{ \AA}$. According to the sharpness of the reflections (diffuse tails are resolved into points in several places) we are dealing, in the case of this substance, with an antigoritic material which has its b-axis oriented parallel to the fibre axis of the chrysotile.¹ Further regularities couldn't be determined from the X-ray diffraction pattern since the X-ray diagram of chrysotile (stationary crystal) always appears cylindrosymmetrical because of its structure even in the smallest samples and therefore one obtains basically only the information which can be derived from a rotation diagram. The relative amount of the serpentine can be much greater than 3% and an example is shown in Fig. 1. It, too, is subject to very strong variations from place to place even at points a few millimetres apart.

Orientations of chrysotile with calcite occur relatively frequently in South African occurrences. In a detailed work "Orientation naturelle de la calcite dans un fibre de chrysotile" R. Gay and R. Reynaud described such a paragenesis from a lherzolite without noting the origin of the sample. The calcite, morphologically, forms fine needles parallel to the fibre axis of the chrysotile.

1. An intergrowth of chrysotile with antigorite according to the same law was also observed by G. Kunze (personal communication) who recently determined the structure of antigorite (4).

The evaluation of a fibre X-ray diagram of chrysotile shows that the calcite forms an oriented intergrowth with the asbestos. The intergrowth laws given are $[\bar{1}\bar{1}0]$, $[100]$, $[\bar{2}11]$, $[111]$, $[\bar{1}22]$, $[\bar{1}\bar{1}3]$ and $[\bar{3}11]$ of calcite (rhombohedral indexing) parallel to the fibre axis of the chrysotile. These intergrowth rules are explained by the authors as due to epitactic conditions and according to them the influence of the growth of the fibre texture of the asbestos is less likely. The intergrowths are generally considered to be planar and only in one case (with $[\bar{1}\bar{1}0]$ calcite // fibre axis) is linear epitaxy suggested, i.e., the intergrowth determined by the structural relationship along a lattice line. Yet the geometrical agreement of the "partner planes" intergrown with each other, as noted by the authors themselves, is quite imperfect. In addition a part of this epitaxy is assumed to be parallel to (010) of chrysotile which is difficult to reconcile with the tubule structure of chrysotile.

Our investigation of chrysotile-calcite intergrowth in South African asbestos was conducted independently. Fig. 2 shows X-ray patterns of South African chrysotile samples with 2 (a) - stationary and 2 (b) - rotating crystals. 2 (a) corresponds to the X-ray patterns given by Gay and Reynaud. A comparison of both patterns shows that a rotation of the sample during exposure is necessary to minimize, statistically, the error induced by the fairly coarsely crystalline calcite grains. Only then can orientations, with certainty, be recognized in the rotation diagrams: $[\bar{1}\bar{1}0]_{\text{Ca}}$ with $u = 4.98\text{\AA}$

2 and 3.

$[211]_{ca}$ with $u = 8.63 \text{ \AA}$ and $[111]_{ca}$ with $u = 8.08 \text{ \AA}$ // $[100]_{chrys}$.

The relative strength of the reflections attributable to the individual orientations varies considerably from sample to sample and appreciably in different samples from the same hand specimen.

Fig. 1 - Chrysotile, intergrown with antigoritic serpentine mineral and some calcite. "Rotation" diagram with stationary sample; $CuK\alpha$ radiation, Ni-filter.

Fig. 2 - Chrysotile, intergrown with calcite. $CuK\alpha$ radiation, Ni filter. 2 (a) left half, stationary sample; 2 (b) right half, rotating sample. In this sample the orientation $[211]_{ca}$ // fibre axis predominates.

-
2. Lattice constants of calcite $a = 6.36 \text{ \AA}$; $\alpha = 46^\circ 7'$; $a_{hex} = 4.98 \text{ \AA}$; $C_{hex} = 17.02 \text{ \AA}$. All indices of calcite given are relative to the rhombohedral axis.
 3. Perhaps in one sample $[100]_{ca}$ // $[100]_{chrys}$ also plays a subordinate role.

$[\bar{1}\bar{1}0]$ and $[\bar{2}11]$ are also given by Gay and Reynaud; $[\bar{1}\bar{1}1]$ corresponds to $[\bar{5}11]$ of these authors.

One sees this immediately when the two directions are indexed hexagonally; $[\bar{1}\bar{1}1] \text{---} [\bar{2}\bar{2}1]_{\text{hex}}$, $[\bar{1}\bar{5}1] \text{---} [\bar{2}\bar{2}1]_{\text{hex}}$. These two directions are obtained by a reflection across the hexagonal a - b plane. Since the crystal class of calcite does not possess such a symmetry element, the two directions are structurally inequal. This is expressed, for example, in the identity period of both directions: $U [\bar{1}\bar{1}1] = 8.08 \text{ \AA}$; $U [\bar{5}11] = 24.23 \text{ \AA} = 3 \times U [\bar{1}\bar{1}1]$. The other orientations given by Gay and Reynaud were not obtained by us.

This last orientation $[\bar{1}\bar{1}1]$ can also be explained most readily; it can be easily interpreted on the assumption of planar epitaxy. The following planes could be considered as partners in the problem: $(001)_{\text{Chrys.}}$ with a rectangular net $a = 5.33 \text{ \AA}$; $b = 9.10 \text{ \AA}$, and $(\bar{1}23)_{\text{Ca}}$ with $X_{\text{Ca}} = [\bar{1}\bar{1}1] = 8.08 \text{ \AA}$; $Y_{\text{Ca}} = [\bar{1}\bar{5}\bar{3}] = 26.21 \text{ \AA}$; $\chi(x, y) = 90^\circ 45'$. It follows therefore $X // a$ ($2x = 3a$, deviation 1%) and $y \sim // b$ (angular deviation $< 1^\circ$, $y = 3b$ with 4% deviation), planes of the order of $437 \text{ \AA}^2$. One must remember however that with an external diameter of the chrysotile tubule of $350 \text{ \AA}$ the "cell edge" $3b$ is already bent through about 9° because of the curvature.

If epitaxy is also assumed for the other two orientations,

the following possibilities obtain (the one partner is always (001) of chrysotile):

1. $(111)_{Ca}$ with $[\bar{1}\bar{1}0]_{Ca} // a_{Chr}$ and $[\bar{1}1\bar{2}]_{Ca} // b_{Chr}$; Difference $\delta_1 = 7\%$; $\delta_2 = 5\%$.

2(a) $(111)_{Ca}$ with $[\bar{1}\bar{2}1]_{Ca} // a_{Chr}$ and $[\bar{1}0\bar{1}]_{Ca} // b_{Chr}$; Difference $\delta_1 = 8\%$ of $3a_{Chr}$. compared with 2 $[\bar{1}\bar{2}1]_{Ca}$ or 3% of $5a_{Chr}$. compared with 3 $[\bar{1}\bar{2}1]_{Ca}$; $\delta_2 = 9\%$ of 2 $[\bar{1}0\bar{1}]_{Ca}$ compared with b_{Chr} .

2(b) $(\bar{1}25)_{Ca}$ with $[\bar{1}\bar{2}1]_{Ca} // a_{Chr}$ and $[\bar{2}10]_{Ca} // b_{Chr}$.; Difference $\delta_1 = s.o.$, $\delta_2 = 3\%$ of $2b_{Chr}$. compared with $[\bar{2}10]_{Ca}$.

Other intergrowth rules yield poor relationships.

Yet it is debatable whether epitaxy is actually the basis for the occurrence of the orientations. The deviations of the intergrown lattice cells do not fall outside the common range and are even, in part, very small, yet the area of these cells are in the order of magnitude of $50\text{\AA}^2$ in case 1, $150 - 250\text{\AA}^2$ in 2(a) and $350 - 500\text{\AA}^2$ in 2 (b). From this it appears entirely possible that the observed orientations are developed not by expitaxy but by the distinctive habit of the chrysotile or that it played a part in the origin. Such an influence can occur during growth by a kind of "nucleus selection". It is also conceivable that the calcite crystals were originally arranged at random and that later, when solution effects took place, certain orientations were preferentially retained through the protective effects of the chrysotile tubule walls, or could even through continuous growth at the expense of other particles.

Instances of orientation are also known in which the structure of the substrate has no effect whatever. The orientation is then determined by the free surface and boundary energy of the growing phase which tends to a minimum (6). Finally there is a possibility that the CaCO_3 was precipitated as aragonite and that this orientation was carried over into calcite during transformation (inherited orientation) (6). But there is no evidence for the latter assumption.

From the information available, neither a conclusion on the genesis nor on the nature of the intergrowth process can be drawn. The exact petrographic connections are not known since only individual fragments of chrysotile were available and the locality is not known.

The general conditions of the formation of the chrysotile make it probable that the CaCO_3 has precipitated from solutions on or between the already formed chrysotile fibres. But the basis for the occurrence of the orientations cannot be derived with certainty.

I would like to thank, heartily, Prof. Dr. A. Neuhaus for discussions on this theme as well as for valuable suggestions.

Thanks are due to the firms Becker und Haag, Hamburg, Frankfurter Asbest-Werke und Seitz-Werke, Kreuznach, for their kind submission of chrysotile samples.

The X-ray pictures were obtained with the facilities which the Deutsche Forschungsgemeinschaft kindly made available.

Bibliography

- (1) Jagodzinski, H. & Kunze, G.: N. Jb. Miner., Mh. (1954), 95, 113, 137.
- (2) Mondratschek, H.: III Reunion Internacional sobre Reactividad de los Solidos, Madrid (1956) in press.
- (3) Aruja, E.: Dissertation, Cambridge (1943).
- (4) Kunze, G.: Z. Krist., 108 (1956), 82-107.
- (5) Gay, R. & Reynaud, J.: Bull. Soc. franç. Miner. Crist., 77 (1954), 1049
- (6) Neuhaus, A.: Fortschr. Miner., 20-30 (1950/51), 140, 281.

(Received by the editor on May 8, 1957)

Translated by E.H. Nickel & R.D. Buchanan Feb. 1958

RMB:BR