

# Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde

## Serie B (Geologie und Paläontologie)

Herausgeber:

Staatliches Museum für Naturkunde, Rosenstein 1, D-7000 Stuttgart 1

Stuttgarter Beitr. Naturk.

Ser. B

Nr. 133

16 S., 20 Abb.

Stuttgart, 15. 12. 1987

## REM-Analysen an einer pyritisierten Ameise aus Baltischem Bernstein

SEM analyses of a pyritic ant in Baltic amber

Von Cesare Baroni Urbani, Basel, und Stefan Graeser, Basel

Mit 20 Abbildungen

### Summary

Through SEM analyses of a naturally fissured Baltic amber piece, we have been able to give the first description of the submicroscopic structure of the integumental surface of a fossil ant. The ant species (*Formica flori*) was supposed to be virtually indistinguishable from the Recent *F. fusca* and a proof of stagnant ant evolution since Oligocene. The integumental structure of our specimen is quite different from that of *F. fusca* and of a set of other potentially related species. It is hence assumed that *F. flori* should belong to the stem group of several Recent *Formica* species and no close relationship between the fossil and other Recent species can be claimed.

The body of the specimen in question is covered by small FeS<sub>2</sub> crystals which have been identified as pyrite, with a single exception (orthorhombic instead of cubic) which is marcasite.

### Zusammenfassung

Ein mit FeS<sub>2</sub> gefüllter Ameisen-Einschluß in Baltischem Bernstein wurde mittels REM-Analyse untersucht. Es handelt sich um eine Arbeiterin von *Formica flori*, einer Species, die bisher als kaum unterscheidbar von der rezenten *F. fusca* galt. Es wird hier aber nachgewiesen, daß die Oberflächen-Skulpturen bei beiden sehr verschieden sind. Daher wird die Meinung über die angebliche Stagnation der Ameisen-Evolution seit dem Oligozän abgelehnt. Eher erscheint es wahrscheinlich, daß *F. flori* zur Stammgruppe verschiedener *Formica*-Artengruppen (einschließlich der *Formica fusca*-Gruppe) gehört.

Der Körper des untersuchten Exemplars ist von feinen Kristallen bedeckt. Die Untersuchung mit einer energiedispersiven Sonde ergab, daß die meisten (mehr oder weniger kubischen) Kristalle aus Pyrit bestehen, und nur ein einzelner, durch seine orthorhombische Form abweichender Kristall Markasit ist.

## 1. Einleitung

Herr Dr. Dr. h. c. H. KUTTER überließ uns freundlicherweise das untersuchte Material. Es handelt sich um Baltischen Bernstein mit einer einzelnen Ameise. Das Stück wurde Anfang dieses Jahrhunderts von Frau Dr. E. SKWARRA in Preussen gekauft und später Herrn Dr. KUTTER übergeben. Die Ameise war schon ursprünglich als *Formica flori* MAYR bestimmt, vermutlich von Dr. SKWARRA (oder auch schon als solche gekauft). Diese Bestimmung wurde auch von Dr. KUTTER bestätigt.

*F. flori* gehört zu den häufigsten Fossilien im Baltischen Bernstein: über 1300 Exemplare sind in der Literatur erwähnt (WHEELER, 1915). Unseres Erachtens ist die Bestimmung unseres Exemplares als *F. flori* und des einbettenden Materials als Bernstein baltischer Herkunft eindeutig.

Das besondere Interesse an *F. flori* gründet sich aber nicht auf die Häufigkeit dieser Art, sondern auf die Diskussionen über ihre systematische Stellung. Zwei Betrachtungsweisen stehen sich gegenüber:

1. Sie sei angeblich morphologisch „fast untrennbar“ von der rezenten holarktischen *Formica fusca* LINNAEUS. Aus diesem Grund haben mehreren Autoren vermutet, daß entweder die Ameisenevolution seit der Oligozänzeit keine Fortschritte gemacht hat (siehe z. B. MAYR, 1942), oder daß alle entsprechenden Exemplare Fälschungen seien (siehe z. B. CROWSON, 1970). Die letzte Hypothese erweist sich als völlig unbegründet, wie Beobachtungen an mehreren eigenen Exemplaren und frühere Untersuchungen anderer Autoren zeigten.

2. Ein solches Oligozän-Fossil solle die Stammart aller rezenten mit *F. fusca* nahe verwandten Arten repräsentieren. (Daher werden die über 50 Arten von einigen Autoren immer noch als Untergattung *Serviformica* betrachtet.)

Bemerkenswert ist unser Stück auch dadurch, daß bei ihm erstmals bei einer Ameise aus Bernstein die Mikroskulptur beobachtet werden konnte. Möglich wurde das durch einen Riß, der genau entlang der Ameisenoberfläche verlief. Wir brachen das Stück entlang dieses Risses auf, um REM-Aufnahmen herzustellen. Sie zeigen Mikroskulptur und Beborstung, wichtige taxonomische Merkmale in dieser Gruppe. Schon MIERZEJEWSKI (1976) zeigte, daß sich solche Oberflächenstrukturen an aufgebrochenen Bernsteineinschlüssen untersuchen und darstellen lassen.

## 2. Methoden

Das Bernsteinstück haben wir mit einer Uhrmacherpinzette entlang des Risses in zwei Teilstücke gespalten. Nach Bedampfung mit 20 nm Au (Balzer-Uni-AG), wurden die Aufnahmen teils mit einem Cambridge Mk IIA teils mit einem Philips SER 515 REM-Mikroskop gemacht. Die chemischen Analysen erfolgten mit einer energiedispersiven Sonde (EDS TRACOR TN 5500). Beide Geräte gehören zum Raster-Elektronenmikroskopischen Labor der Universität Basel.

## 3. Erhaltung

Der Bernstein war, wie üblich bei alten Präparaten baltischen Bernsteins, zu einem kleinen Würfel von 15×11×5 mm Kantenlänge geschnitten und poliert. Die einge-

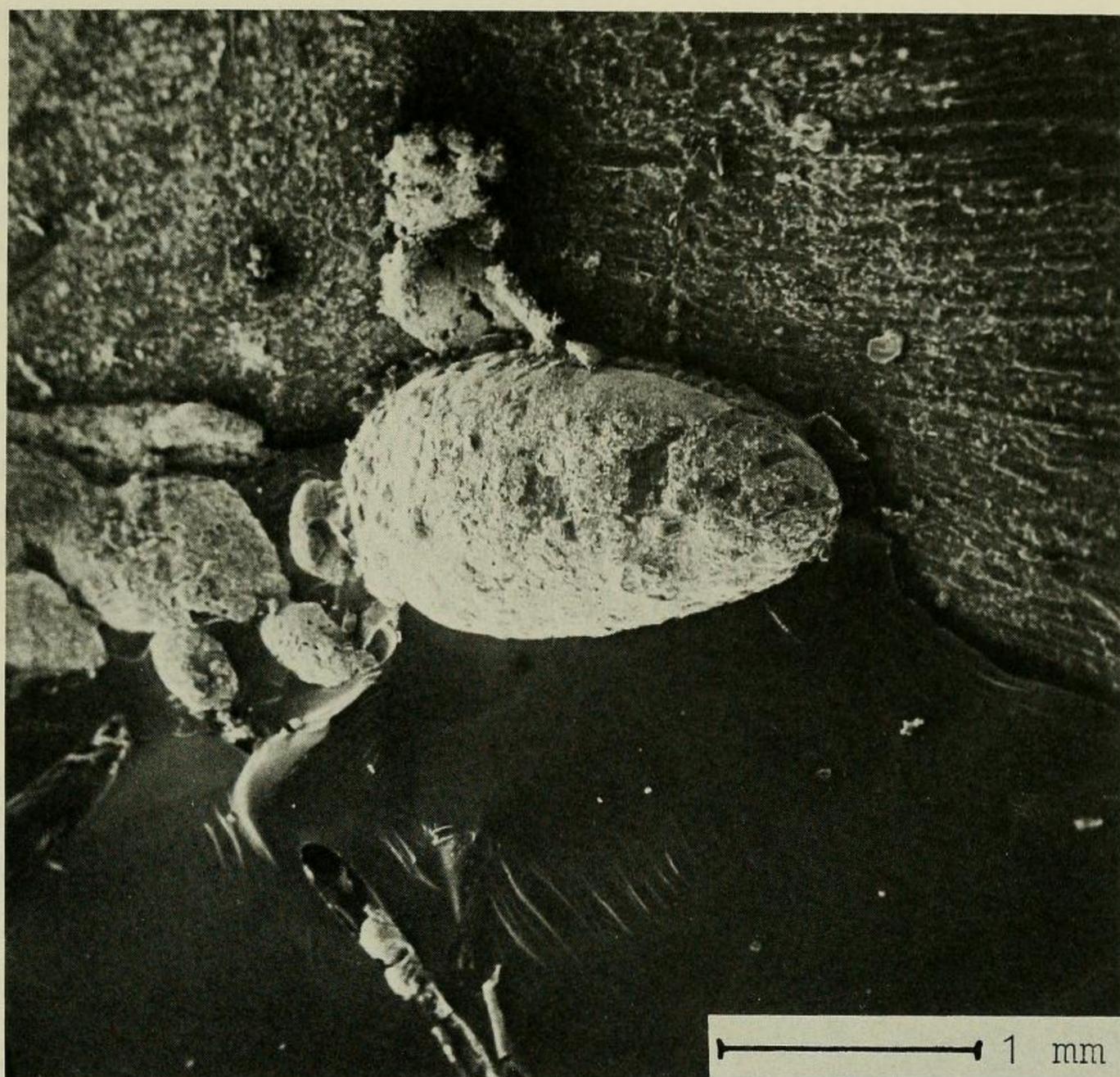


Abb. 1. *Formica flori* MAYR in Baltischem Bernstein. Positiv = pyritgefüllter Körperhohlraum. Oberfläche von Alitrunk und Gaster nach dem Aufbrechen des Bernsteinstücks, von dorsal.

schlossene Ameise befand sich ungefähr in der Mitte. Nach der Spaltung lag der Ameisenkörper praktisch vollständig im größeren Teil, das kleinere Bernsteinbruchstück barg den Negativ-Abguß. Der Ameisenkörper konnte nicht viel besser als vorher beobachtet werden. Die gesamte Körperoberfläche war von sehr kleinen, aber gut ausgebildeten Kristallen bedeckt (Abb. 1). Der Negativabdruck erwies sich als besser geeignet für eine genaue Beobachtung (Abb. 2 und 3). Die meisten unserer Aufnahmen stammen von diesem Abdruck. Das Exemplar wurde in der Sammlung des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart deponiert (Inventar-Nummer BB-2168-X).

#### 4. Morphologie und Systematik

Die vorliegende pyritisierte Ameise läßt sich als *Formica flori* bestimmen. Es besteht gute Übereinstimmung sowohl mit den Beschreibungen dieser Art durch MAYR (1868) und WHEELER (1915) als auch mit Exemplaren der Art (aus dem Museum für Naturkunde in Berlin und anderen Sammlungen), die zu Vergleichen herangezogen wurden.

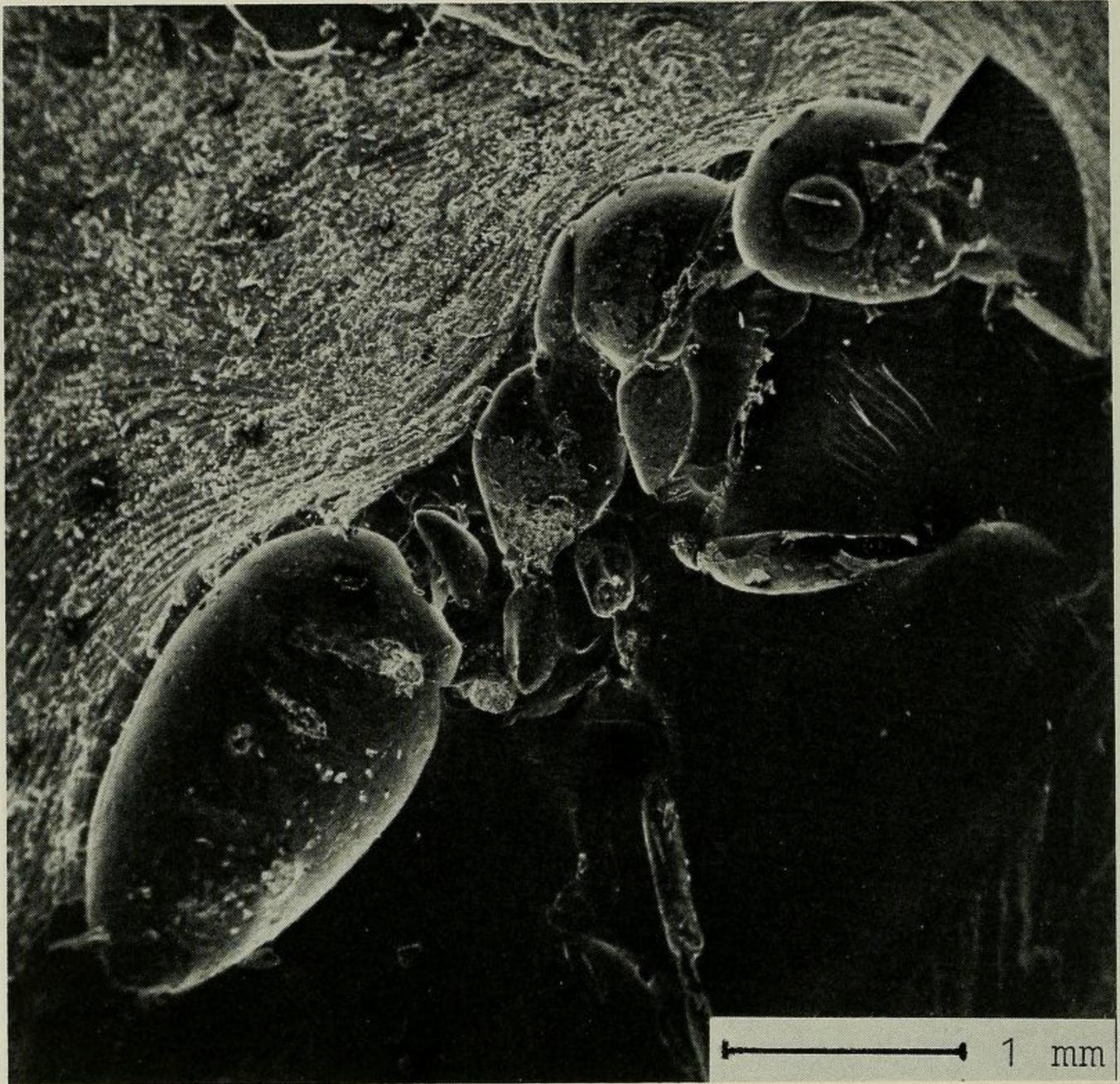


Abb. 2.

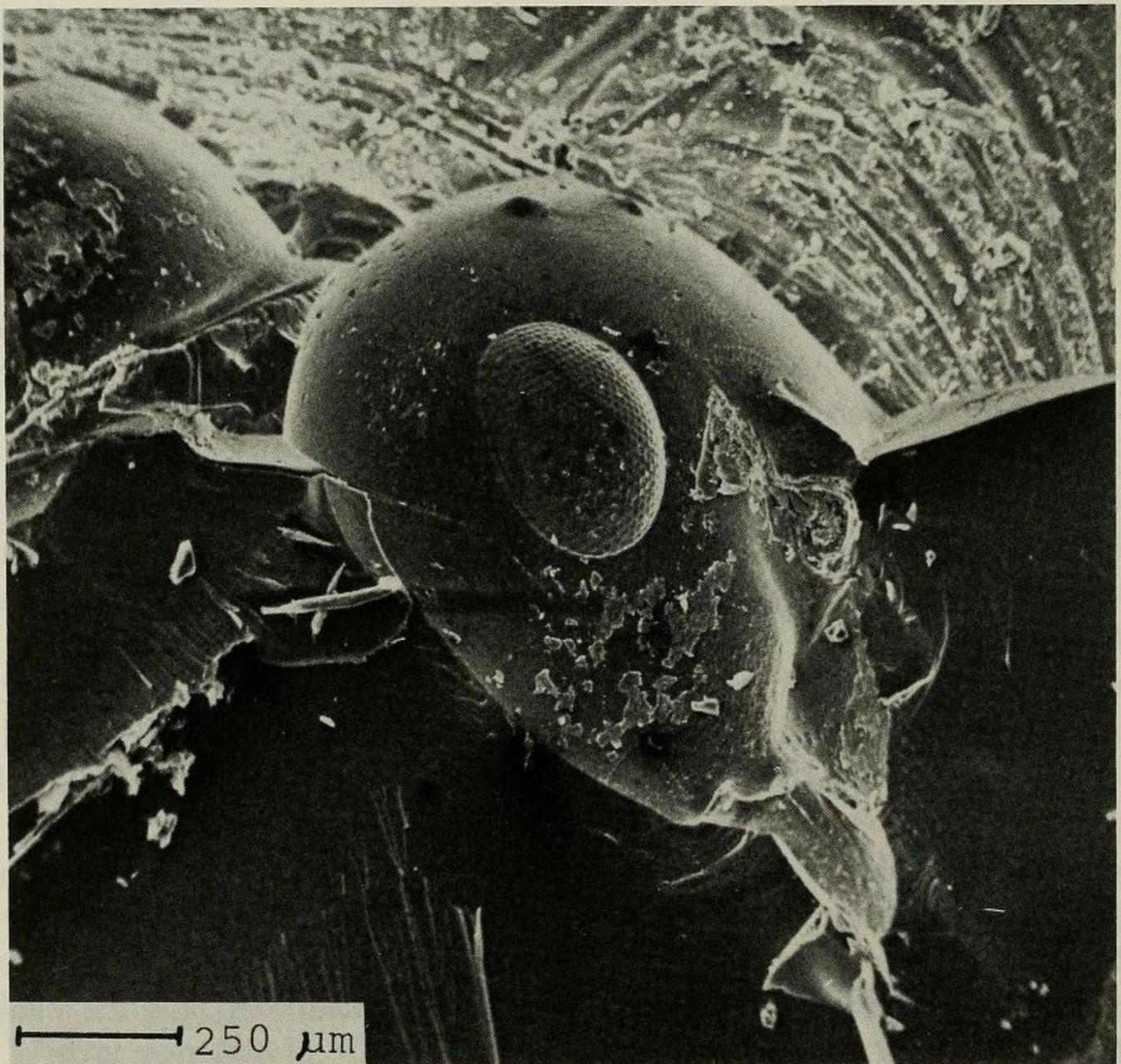


Abb. 3.

Ein Typus der Art wurde nicht designiert; der Art liegen vermutlich 50 Exemplare aus der Sammlung der Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg zugrunde, die MAYR (1868) erwähnt. Sie sind nach dem 2. Weltkrieg größtenteils verschwunden. Nach Auskunft von Herrn Dr. S. RITZKOWSKI enthält der Restbestand der ehemaligen Bernsteinsammlung des geologisch-paläontologischen Instituts der Universität Königsberg i. Pr., der im Institut und Museum für Geologie und Paläontologie der Universität Göttingen aufbewahrt wird, 16 als *Formica flori* bezeichnete Exemplare, die WHEELER (1914) erwähnt. Die von MAYR (1868: 48) genannten 50 Exemplare aus der Sammlung der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft sind jedoch in Göttingen nicht vorhanden.

Eine weitgehende Übereinstimmung mit rezenten Arten der *F. fusca*-Gruppe, wie sie mehrfach vermutet wurde, konnten wir nicht feststellen. Es bestehen vielmehr Beziehungen sowohl zur *F. fusca*- wie zur *F. rufa*-Gruppe. Der von MAYR (1868) und WHEELER (1915) aufgrund reichen Materials festgestellte sehr ausgeprägte Polymorphismus von *F. flori* deutet eher auf die *F. rufa*-Gruppe hin. Auch der relativ massive Körperbau und der breite Kopf könnten an einige Arten der *F. rufa*-Gruppe erinnern. Andererseits zeigen das Propodeumprofil (Abb. 6) und der Petiolus (Abb. 7) Ähnlichkeiten mit mehreren Arten der *F. fusca*-Gruppe.

Auf dieser Basis ist eine phylogenetisch relevante Gruppenzuordnung nicht möglich. Erschwerend kommt hinzu, daß an unserem fossilen Exemplar wichtige Merkmale nicht beobachtbar sind.

Dies gilt z. B. für die zur Trennung der beiden genannten Gruppen üblicherweise verwendeten Merkmale, wie die Dicke des Geißelgliedes und die Länge der letzten zwei Kiefertasterglieder. Auch die bei beiden Gruppen wichtige Chaetotaxie ist leider hier fast nicht zu sehen. Nur über dem rechten Scapus sind einige Borsten sichtbar (Abb. 4), aber das ganze Tegument scheint so gestaucht und von Impuritäten bedeckt zu sein, daß die Unterscheidung zwischen realen Strukturen und Artefaktbildungen zum Teil schwierig ist. An der mittleren Tibia (Abb. 5) sind überhaupt keine Borsten sichtbar.

Von großer Bedeutung sind jedoch die einwandfrei erkennbaren Mikroskulpturen der Körperoberfläche, denn hierbei lassen sich charakteristische Besonderheiten feststellen, die von der Ausbildung bei *F. fusca* (und weiteren Arten) abweichen – somit eine Identität ausschließen. Diese Mikroskulpturen werden hier erstmals an einer fossilen Ameise demonstriert. Überhaupt wurde dieses Merkmal bisher nur einmal, von FRANCOEUR (1969) als taxonomisches Merkmal in der *F. fusca*-Gruppe Nordamerikas benutzt. Unsere REM-Aufnahmen (Abb. 8–11) demonstrieren die intraspezifische Variabilität an verschiedenen Körperstellen des fossilen Exemplares (*F. flori*).

Der Augenabdruck (Abb. 8) läßt erkennen, daß zwischen den Ommatidien keine Borsten standen. Abb. 12 zeigt die für Formicinae typische Ultrastruktur des Drüsengebiets am letzten Urit.

Die einzelnen Zellelemente, die das polygonale Tegument-Muster bilden, sind unter stärkerer Vergrößerung (ab 600 x) deutlich erkennbar (Abb. 13); sie erweisen sich als auffallend breit und überlappen sich weit. Um den taxonomischen Wert dieses Merkmals zu verstehen, stellten wir entsprechende Aufnahmen von rezenten Ameisen her. Wir wählten hierzu einen repräsentativen Satz von solchen Arten der *fusca*-Gruppe, die als nahe Verwandte in Frage kommen könnten, aus:

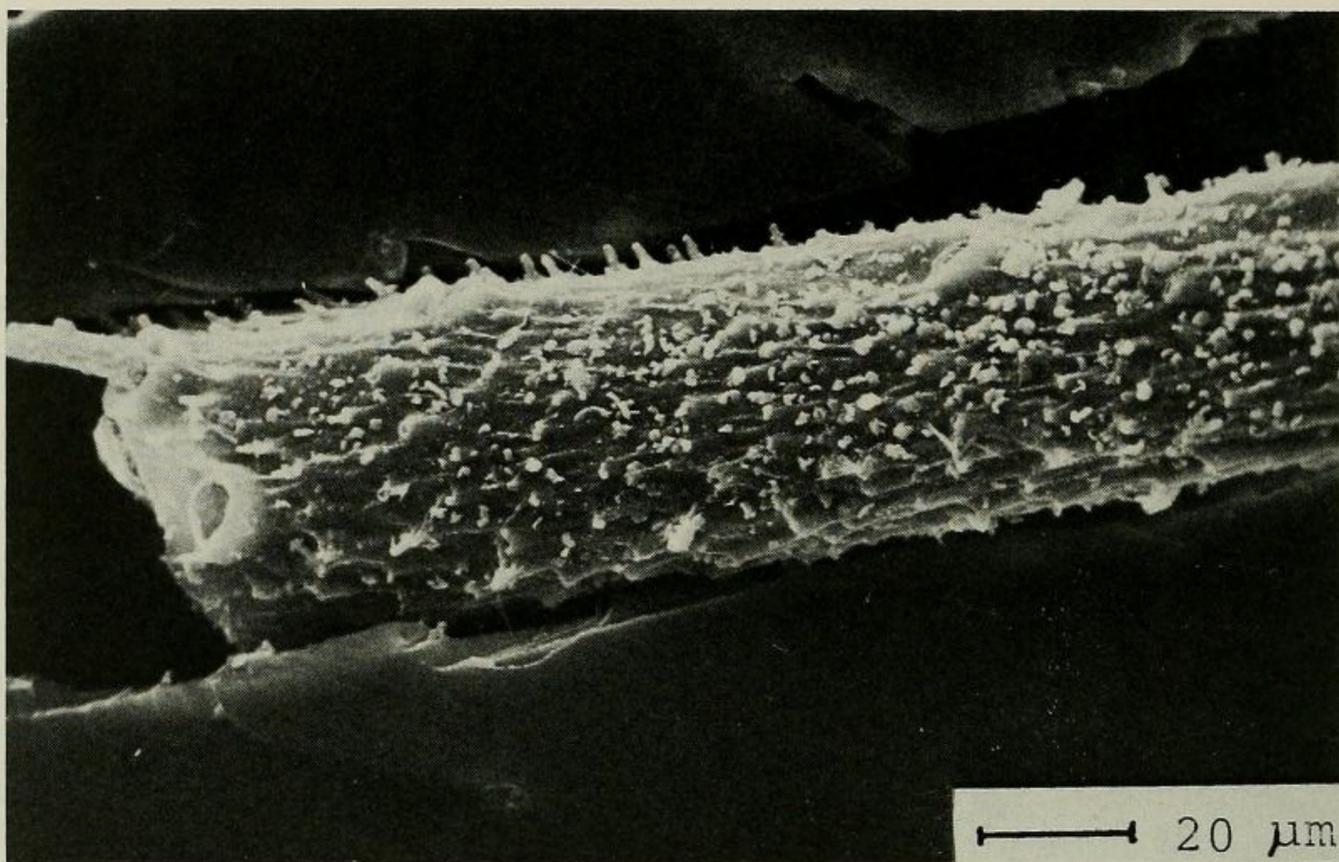


Abb. 4.

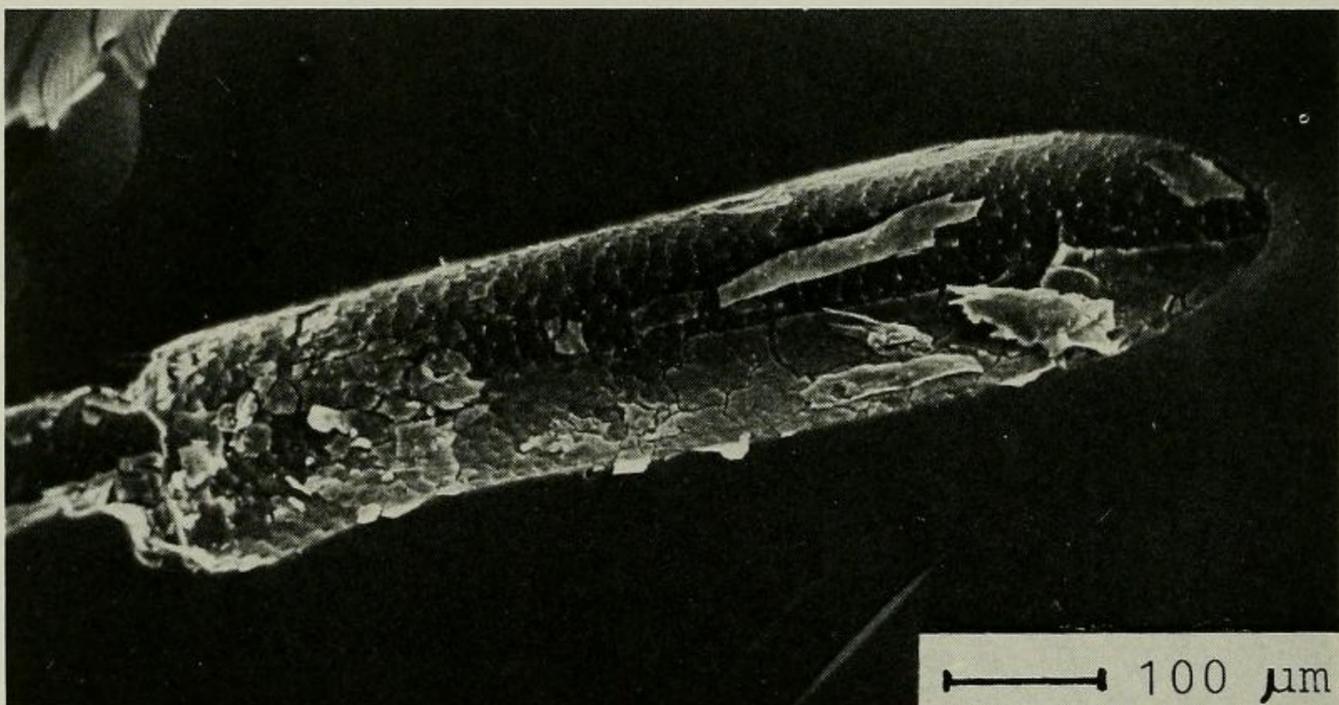


Abb. 5.

Abb. 4–5. *Formica flori* MAYR. Teil des rechten Scapus (Positiv) und der rechten Mitteltibia (Negativ).

Liste der untersuchten Arten von *Formica*:

1. *Formica brunneonitida* DLUSSKY
2. *Formica canadensis* SANTSCHI
3. *Formica cinerea* MAYR
4. *Formica cunicularia* LATREILLE
5. *Formica fusca* LINNAEUS
6. *Formica gagates* LATREILLE
7. *Formica japonica* MOTSCHOUJSKY
8. *Formica kozlovi* DLUSSKY
9. *Formica lemani* BONDROIT
10. *Formica transcaucasica* NASSONOW
11. *Formica*, n. sp. aus Bhutan (mit *transcaucasica* verwandt).

Alle untersuchten Arten unterscheiden sich voneinander deutlich in Bezug auf ihre Mikroskulptur. Dies gilt auch für *F. flori*: In allen Bereichen, die an unserem Fossil sichtbar sind, weicht die Skulptur deutlich von den anderen Arten ab. Lediglich *F. gagates* weist in Bezug auf ebenfalls stark komprimierte „Scuten“ (s. CALS & BROUSSE-GAURY, 1978) und die fehlende Lateraltrennung der Scuten gewisse Ähnlichkeiten auf (vgl. Abb. 14–17 mit Abb. 8+13), jedoch weicht *F. flori* durch die einzigartig zahnförmige mittlere Ausstülpung ihrer Tegument-Einheiten von allen Arten ab, so daß keine Verwechslungsmöglichkeit besteht. Die „Scuten“ von *F. gagates* zeigen zwar eine konvexe Krümmung, aber keine Ausstülpung. Alle anderen Arten weisen eine gewöhnliche polygonale oder schuppenförmige Struktur auf.

### 5. Schlußfolgerungen

Auf Grund unserer Mikroskulptur-Untersuchungen konnte keine deutliche Ähnlichkeit oder gar Übereinstimmung zwischen *F. flori* und einer repräsentativen Auswahl von 11 vermutlich verwandten rezenten Arten festgestellt werden. *F. flori* unterscheidet sich von rezenten Arten der *F. fusca*-Gruppe mindestens so stark wie diese Arten untereinander. Auf Grund dieser Resultate und der schon in der Literatur vorhandenen, aber unterschätzten Information über den starken Polymorphismus dieser Spezies sind wir der Ansicht, daß die vermutete sehr enge Verwandtschaft zwischen *F. flori* und *F. fusca* nicht besteht. Eher könnte man vielleicht *F. flori* als Mitglied der Stammgruppe der gesamten *F. fusca*-Gruppe oder jener Gruppen, die auch heute noch deutlichen Polymorphismus aufweisen (z. B. *rufa*-Gruppe, *exsecta*-Gruppe) ansehen. Aber das läßt sich derzeit nicht konkretisieren.

Der zweite bekannte ähnliche Fall in der Literatur – *Lasius schiefferdeckeri* MAYR als praktisch identisch mit der rezenten Art *L. alienus* beschrieben – ist schon von WILSON (1955) erörtert und als unzutreffend erwiesen worden. Mit dem Fall von *Formica flori* ist das letzte Indiz der „stagnierenden Ameisenevolution seit der Oligozänzeit“ entkräftet worden.

---

Legenden für die Abbildungen 6–17 (auf den folgenden Seiten):

- Abb. 6–7. *Formica flori* MAYR, Negativ. Mikroskulpturen auf Propodeum (6) und Petiolus (7).
- Abb. 8–9. *Formica flori* MAYR, Negativ. Komplexauge und Mikroskulpturen der Wange (8) sowie zwischen Stirn und Auge (9); rechter paariger Ocellus (9, rechts oben).
- Abb. 10–11. *Formica flori* MAYR. Mikroskulpturen des Pronotum (10) und an der Grenze zwischen erstem und zweitem Gastralsegment (11).
- Abb. 12–13. *Formica flori* MAYR. Mikroskulpturen auf dem letzten Urosternit (12) und am Propodeum (13).
- Abb. 14–15. Mikroskulpturen auf Wange und Auge bei *Formica gagates* LATREILLE (14) und *Formica fusca* LINNAEUS (15).
- Abb. 16–17. Mikroskulpturen des Pronotum bei *Formica gagates* LATREILLE (16) und *Formica fusca* LINNAEUS (17).

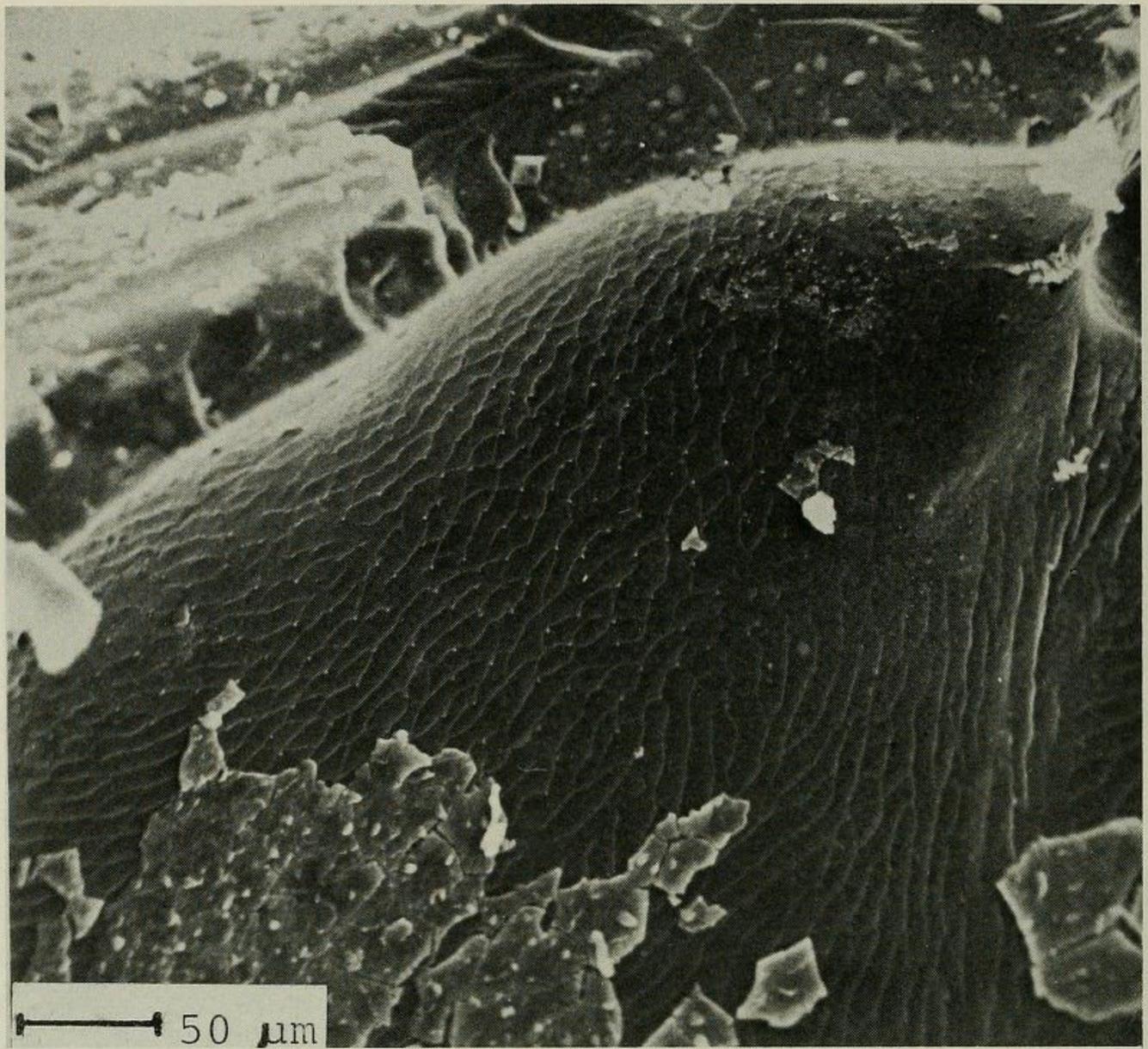


Abb. 6.

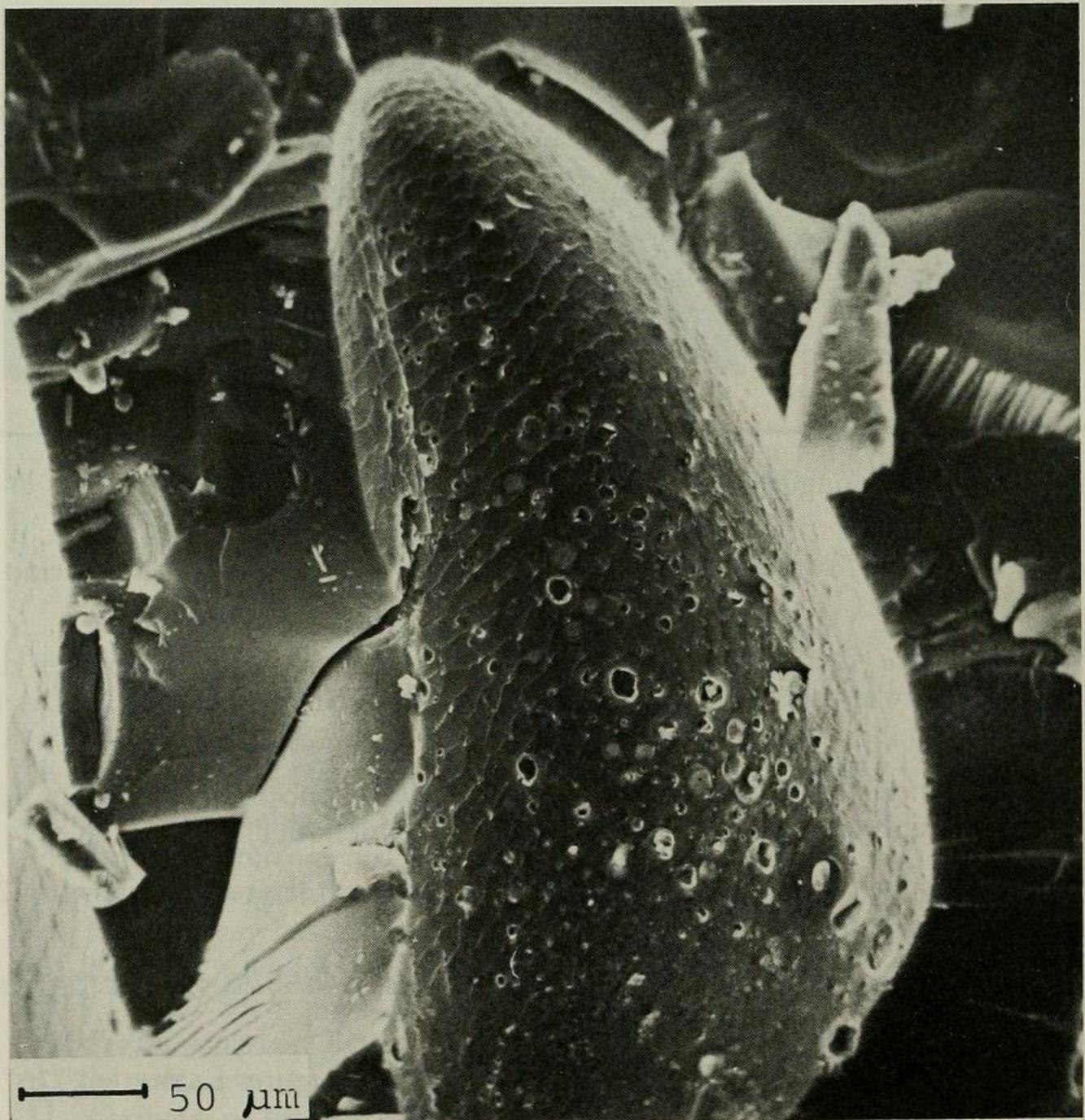


Abb. 7.

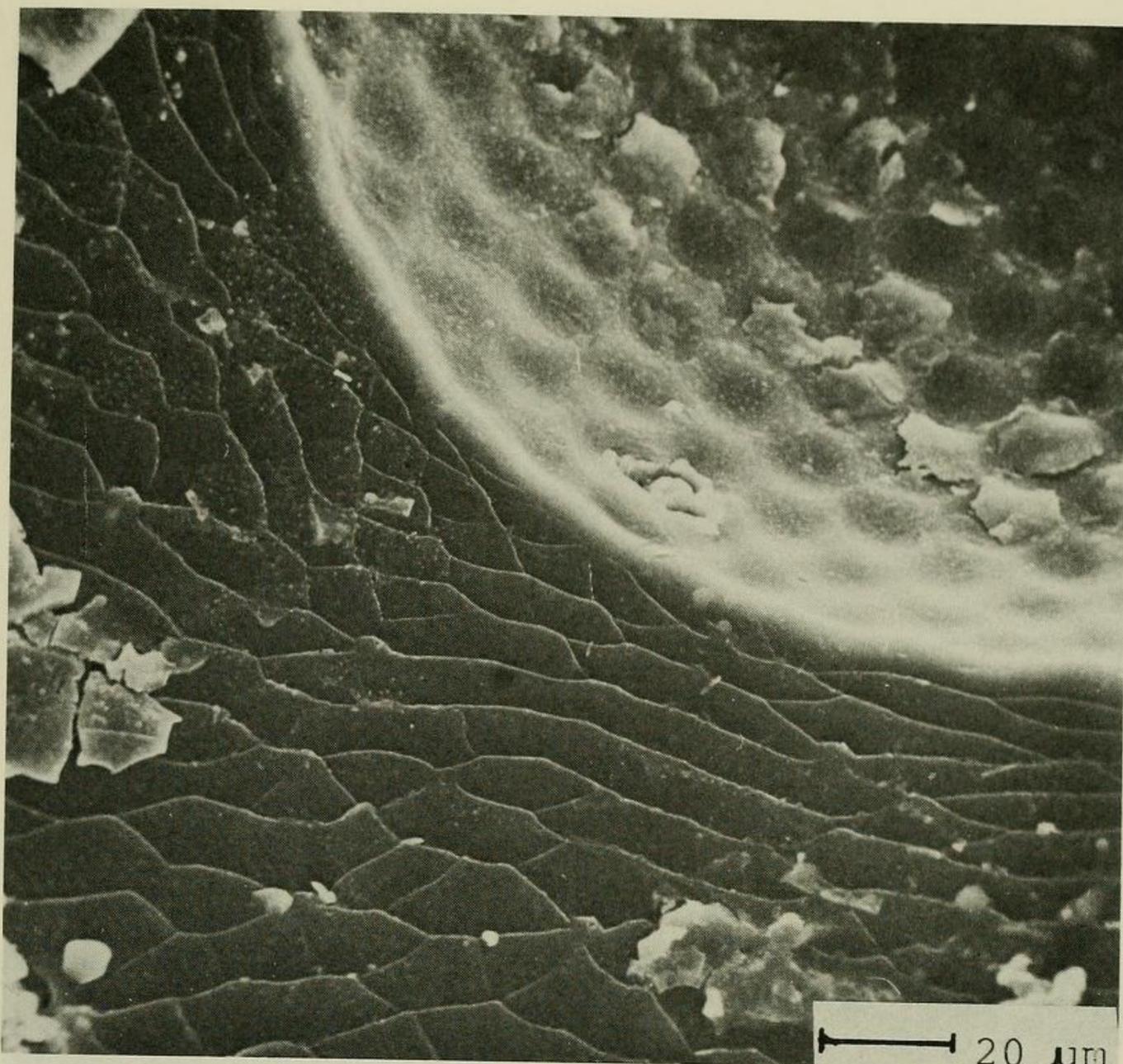


Abb. 8.

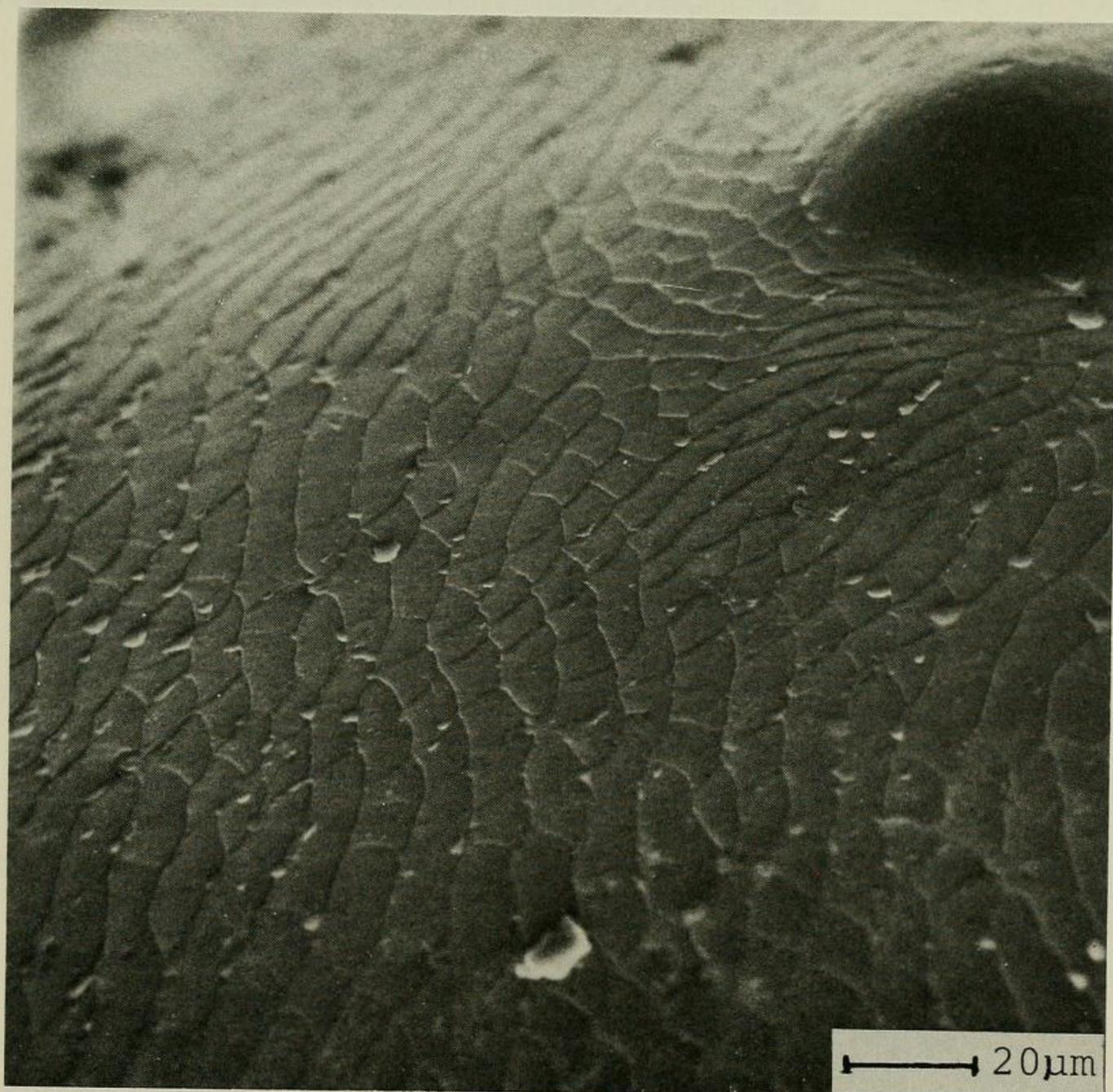


Abb. 9.

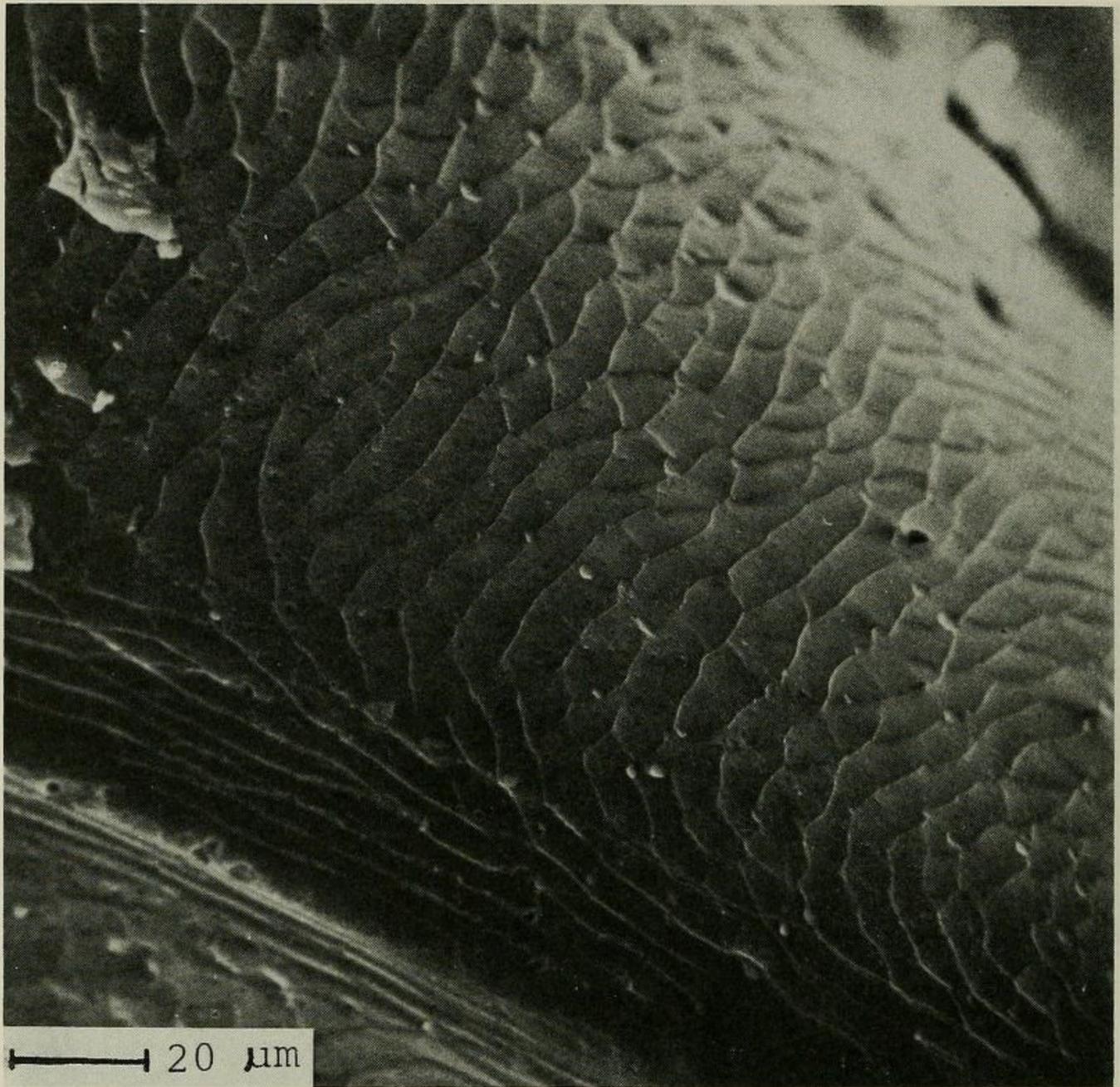


Abb. 10.

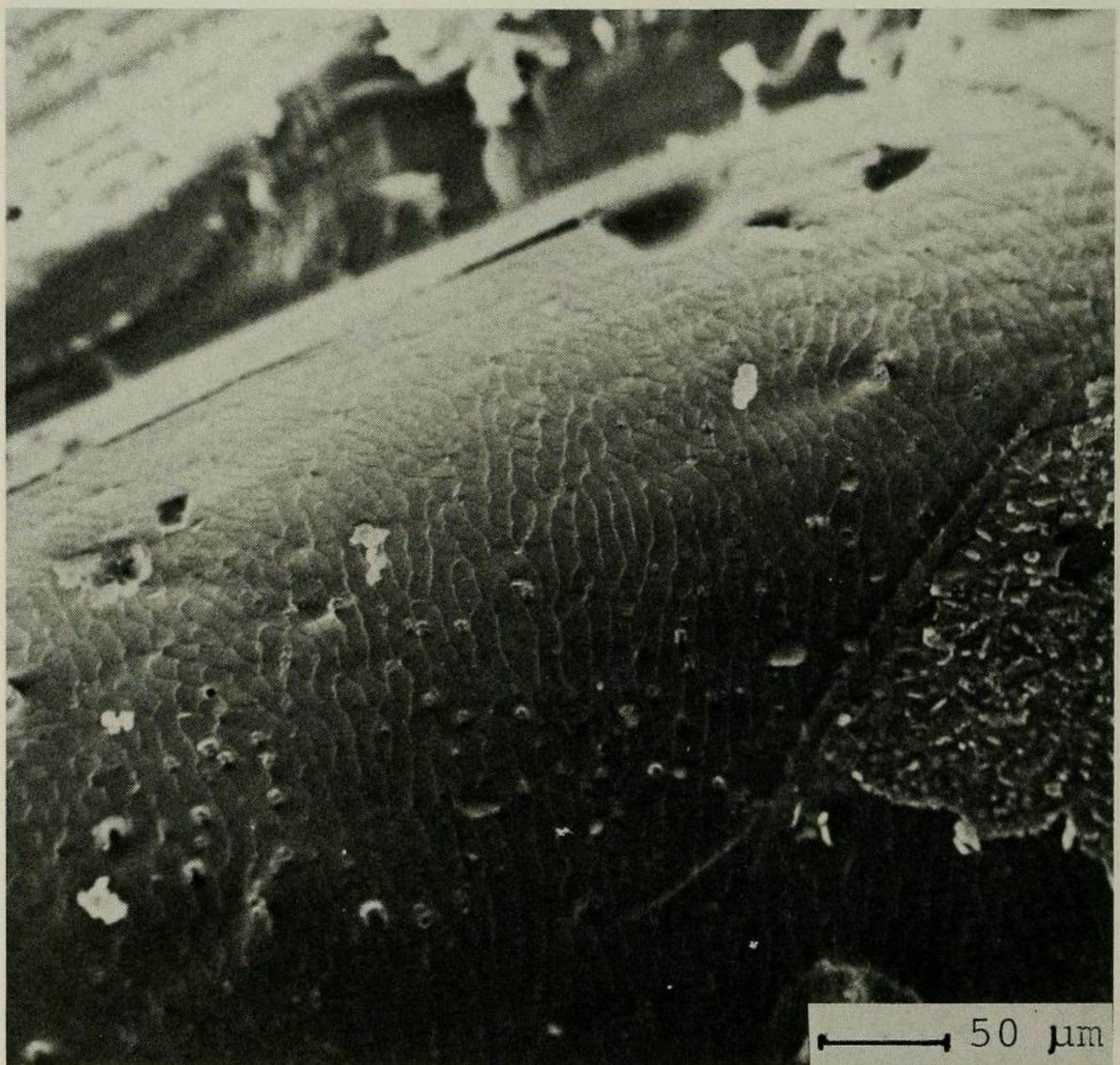


Abb. 11.

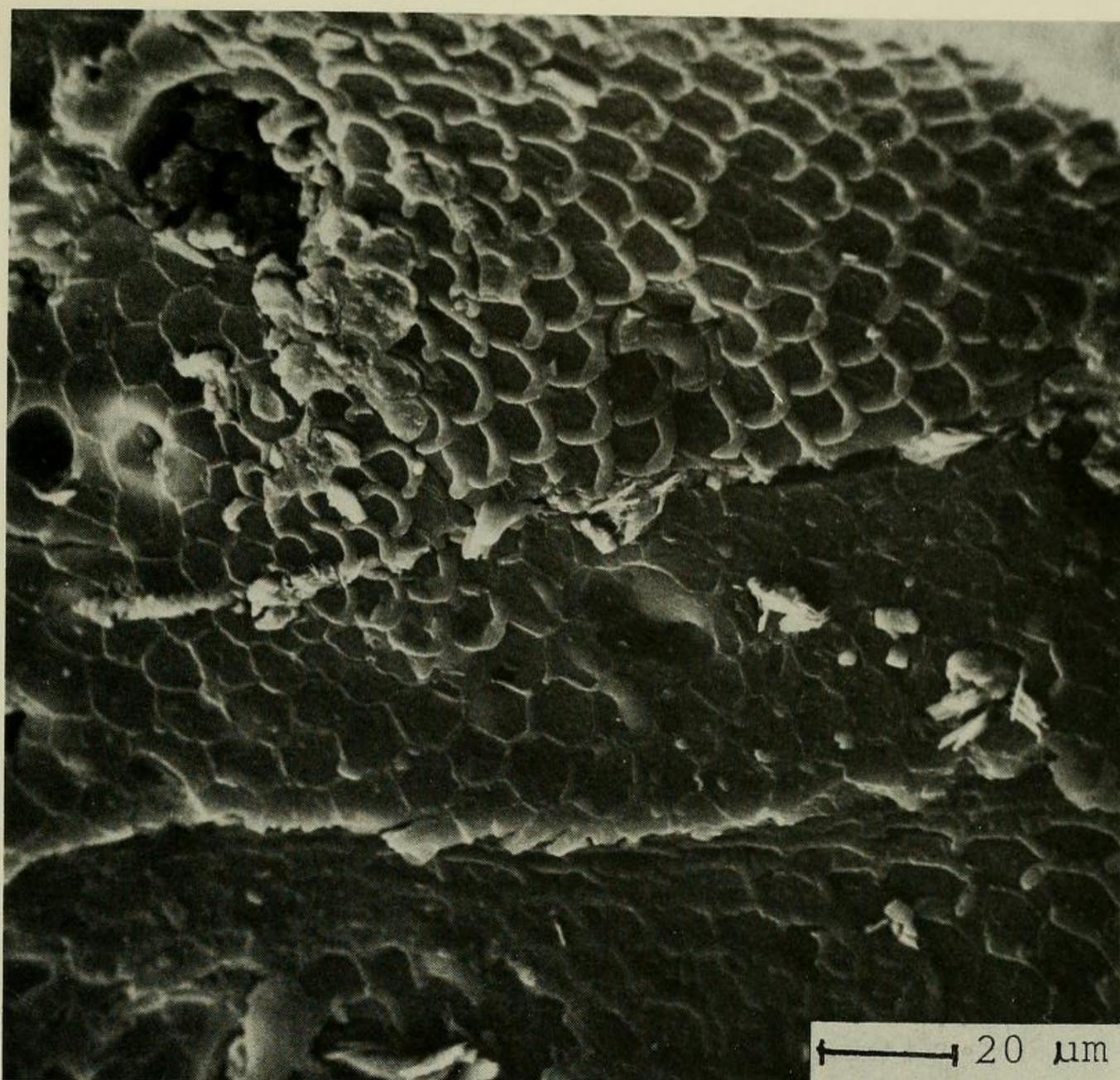


Abb. 12.

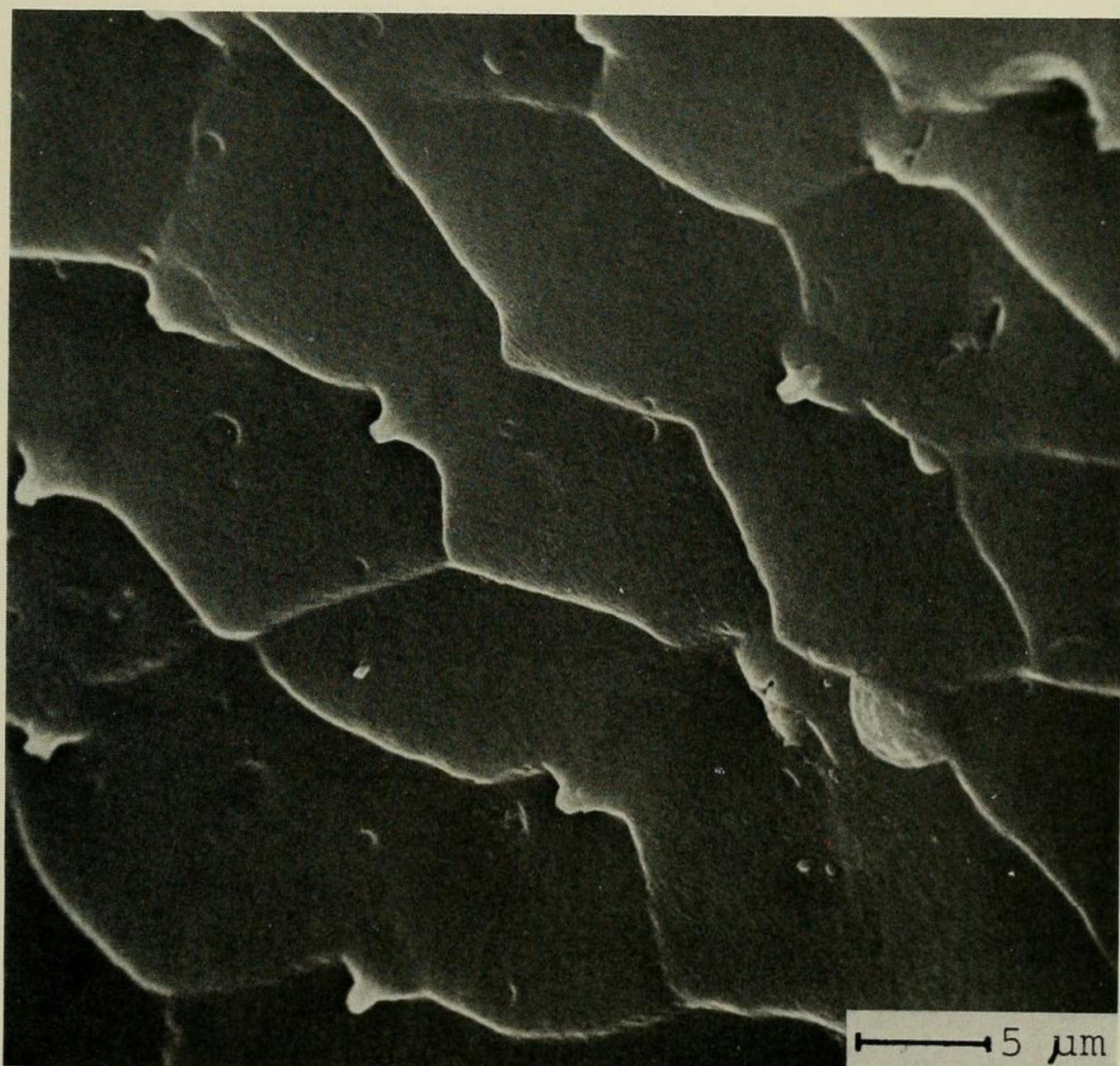


Abb. 13.

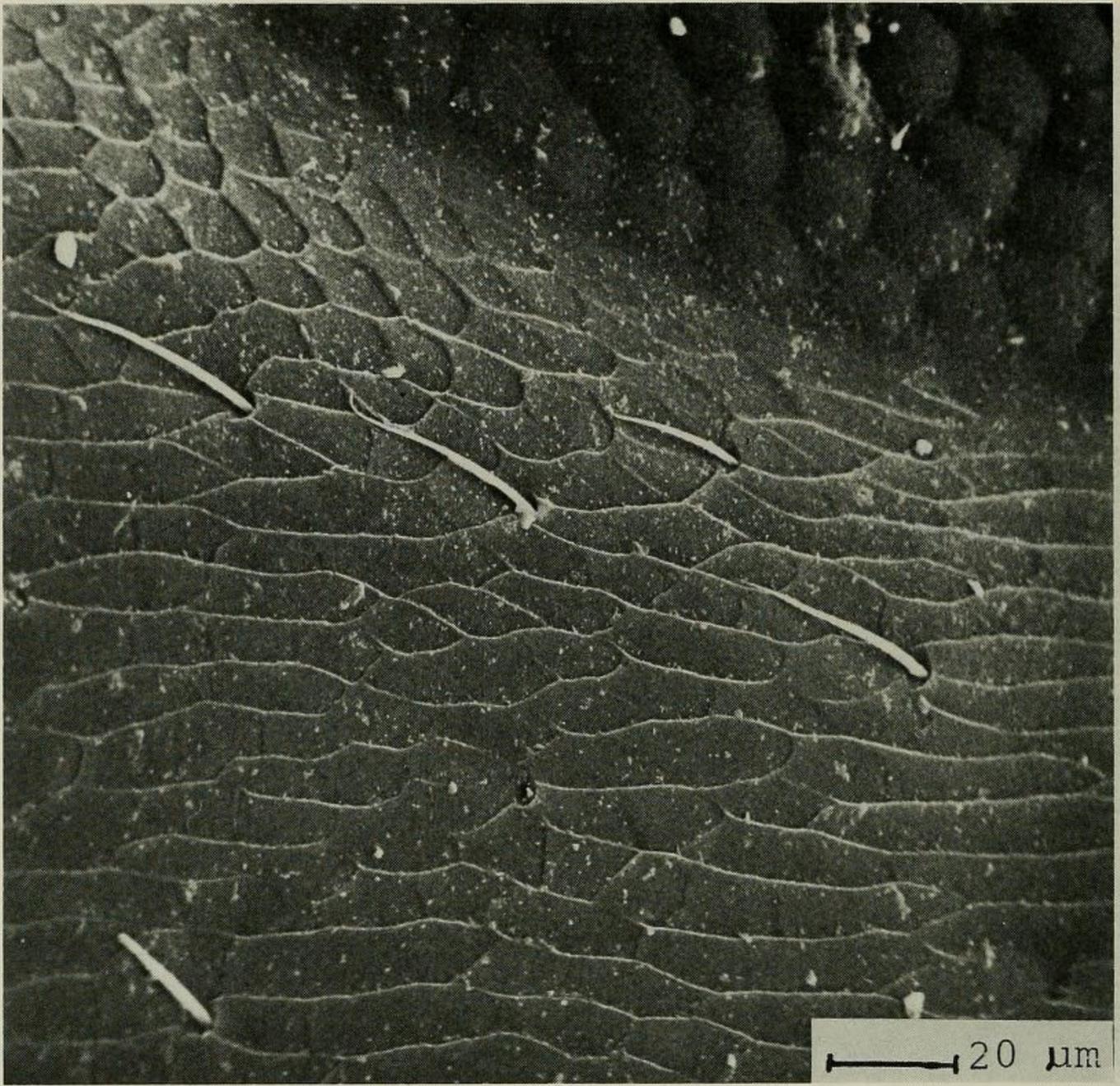


Abb. 14.

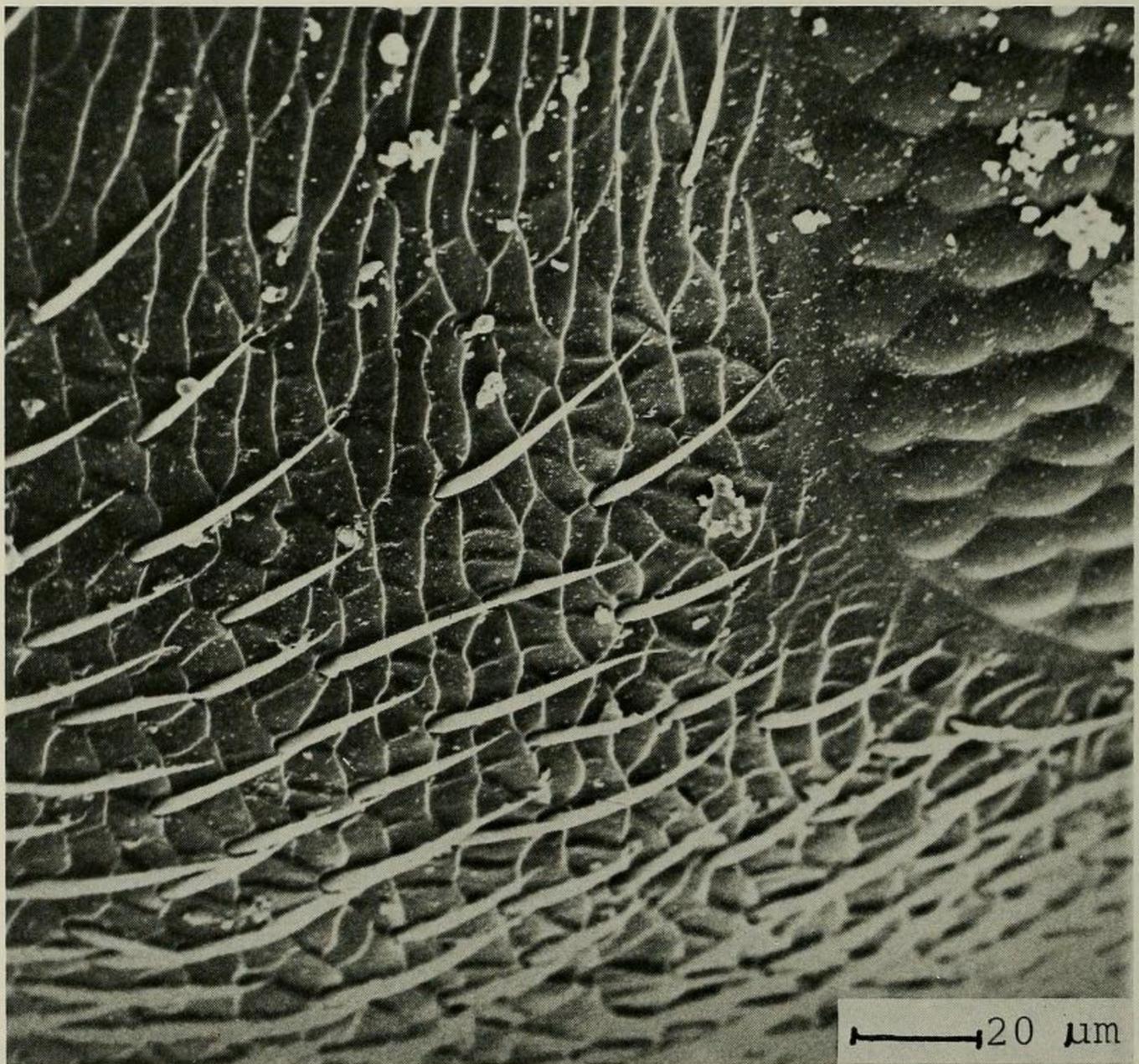


Abb. 15.

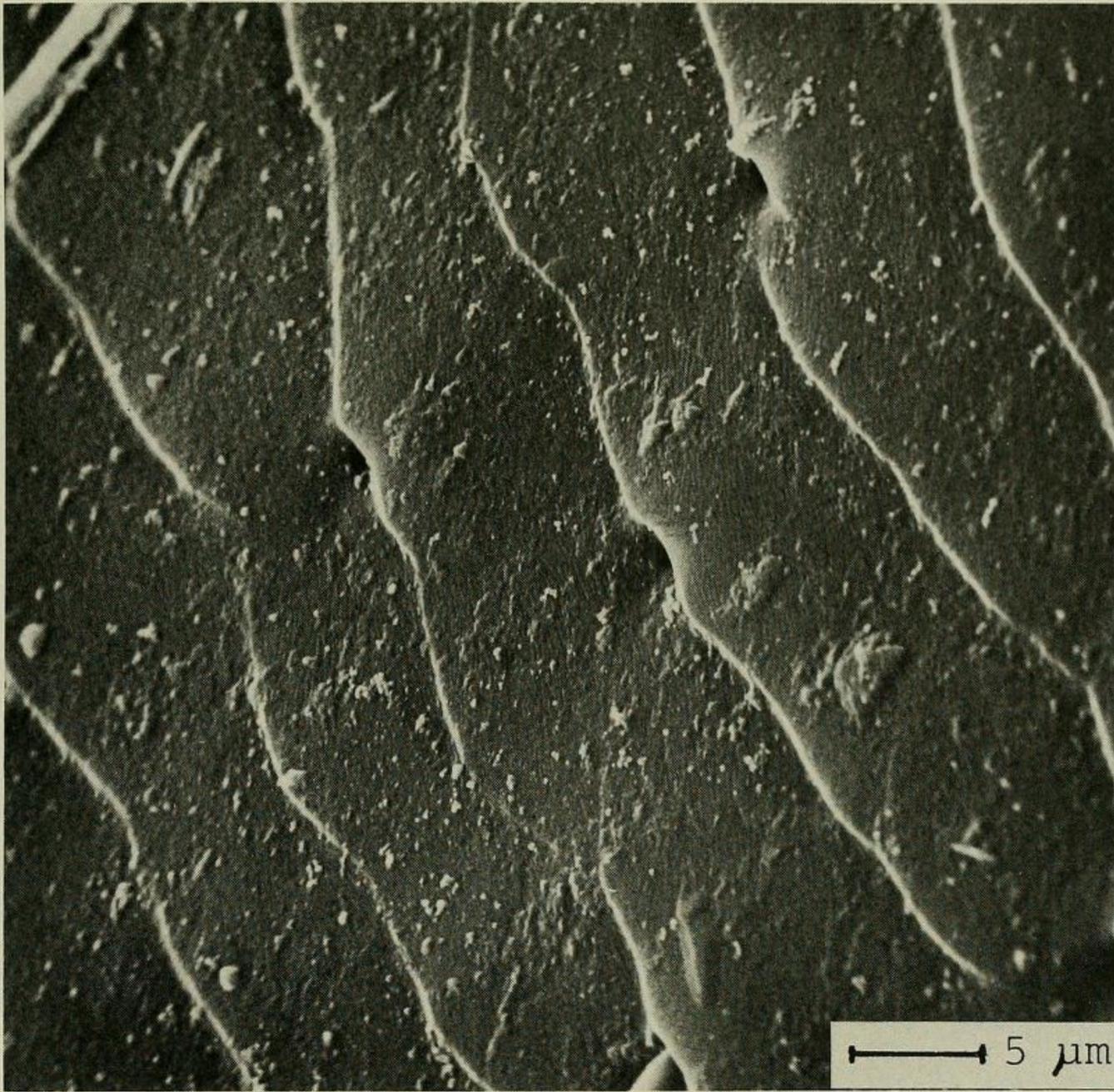


Abb. 16.

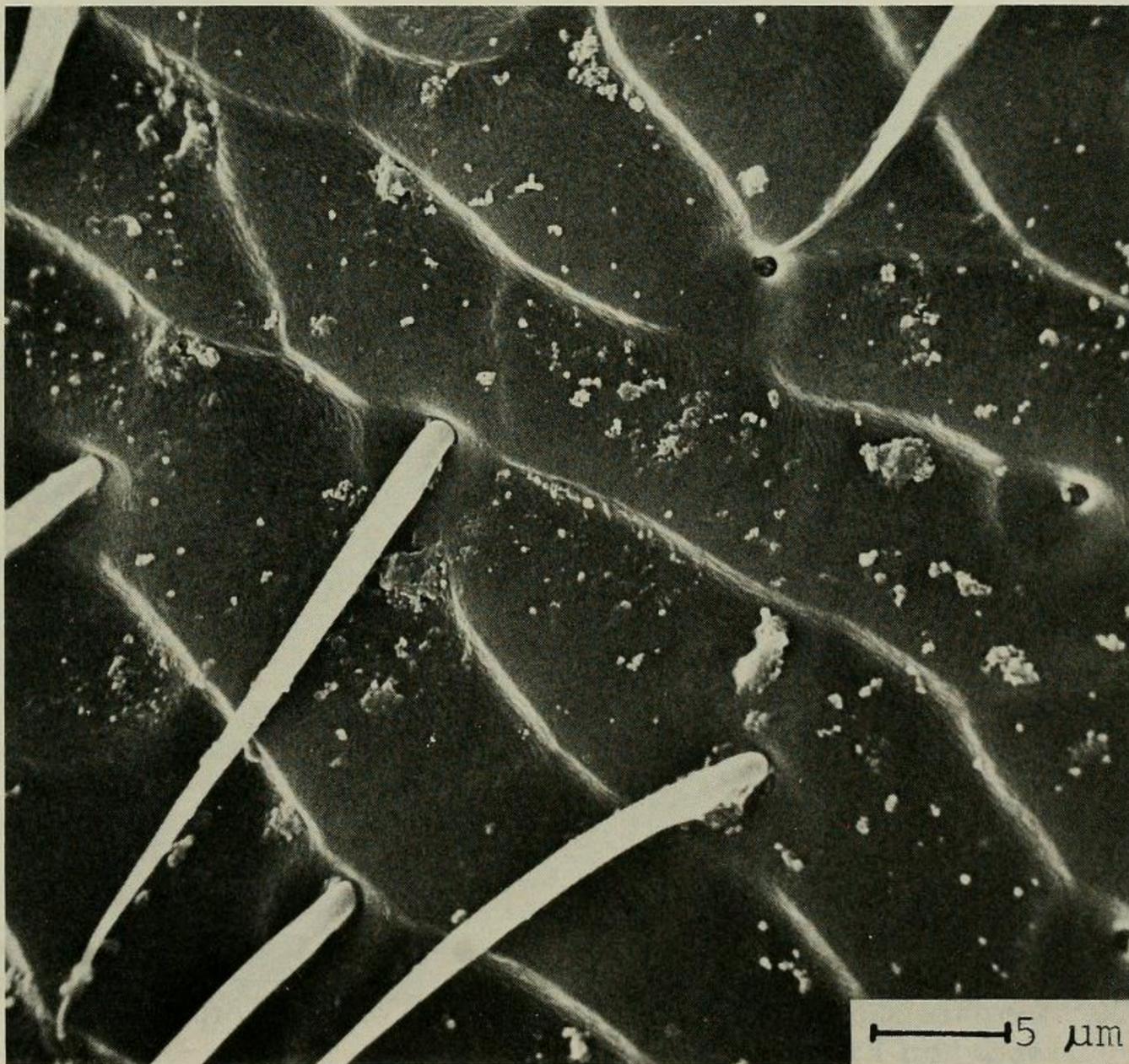


Abb. 17.

## 6. Mineralische Ausfüllung des Ameisen-Einschlusses

Bei der Untersuchung der Ameise mit dem Raster-Elektronenmikroskop fielen zahlreiche Kriställchen von offensichtlich kubischer Symmetrie auf (Kubo-Oktaeder) (Abb. 19). Schon früher wurde eine Mineralbildung auf Rissen in baltischem Bernstein beobachtet, die als Pyrit interpretiert wurde, ein klarer Beweis dafür konnte jedoch bisher nicht erbracht werden (SCHLEE und GLÖCKNER, 1978; SCHLÜTER und STÜRMER, 1982; SCHLEE, 1986). Im vorliegenden Fall wurden die Kriställchen zusätzlich mit der energiedispersiven Sonde des REM untersucht (Abb. 18). Die Bestimmung liefert als einzig nachweisbare Komponenten die Elemente Eisen und Schwefel. Nach der Symmetrie der Kristalle zu schließen liegt das Eisensulfid offenbar in der kubischen Modifikation, als Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), vor.

Neben Pyrit fand sich noch ein weiterer gut ausgebildeter Kristall von länglicher, meißelartig zugespitzter Form. Da die chemische Zusammensetzung dieses Kristalls identisch ist mit derjenigen des Pyrits, nehmen wir an, daß es sich hierbei um die orthorhombische Modifikation von  $\text{FeS}_2$  handelt, nämlich um Markasit (Abb. 20). Sowohl Pyrit wie Markasit können in Sedimenten authigen entstehen. Die eisensulfidhaltigen Lösungen drangen vermutlich über Risse im Bernstein in den Fossilhohlraum ein.

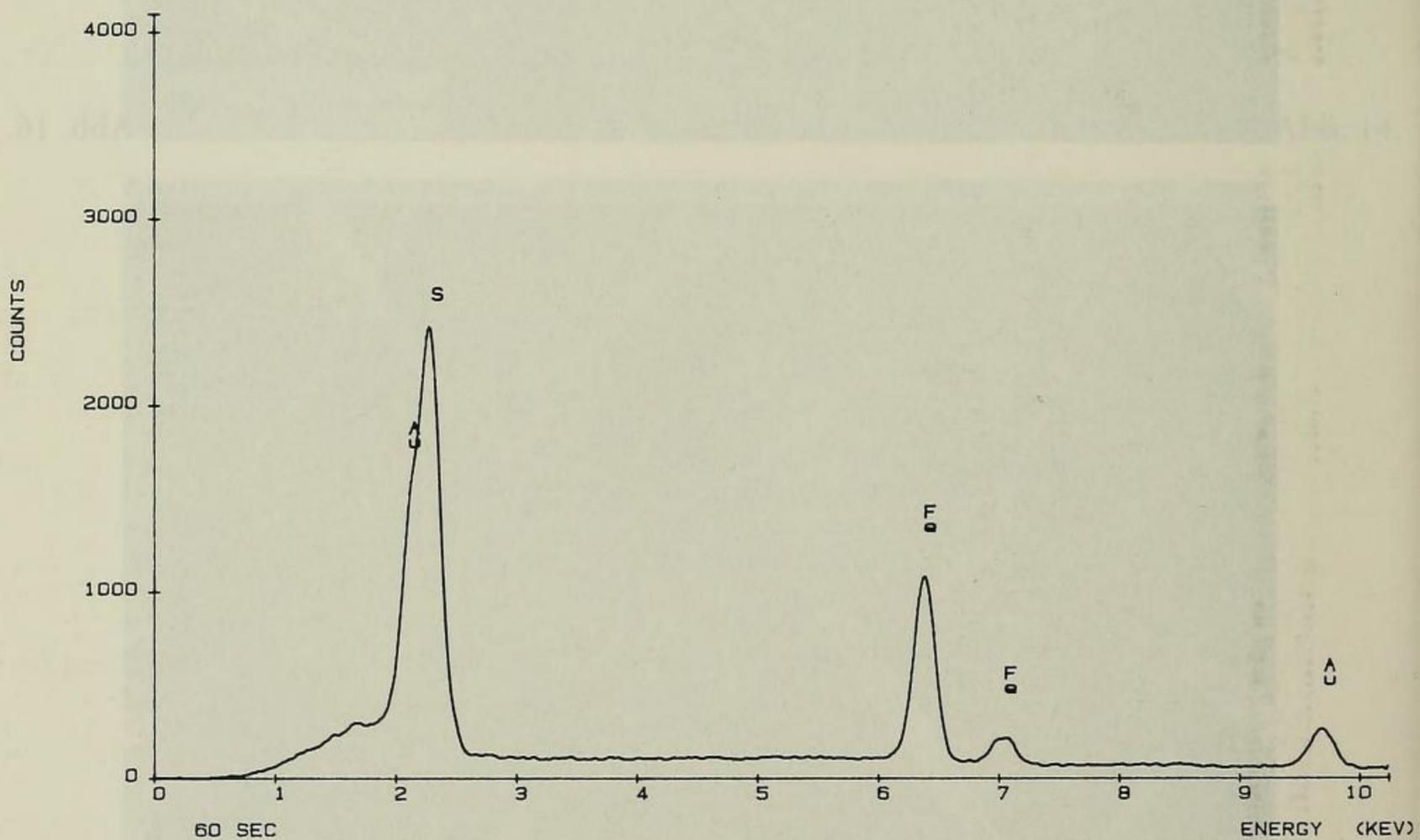


Abb. 18. Qualitativ-chemische Analyse des Pyrits (aus dem *Formica flori*-Körper) mit der energiedispersiven Sonde des REM (EDS). Der Schwefel-Peak wird teilweise vom Gold-Peak überlagert (Goldbedampfung des Präparats).

Abb. 19–20. Pyritkristalle (19) und Markasitkristall (20) von der Körperoberfläche des *Formica flori*-Exemplars.

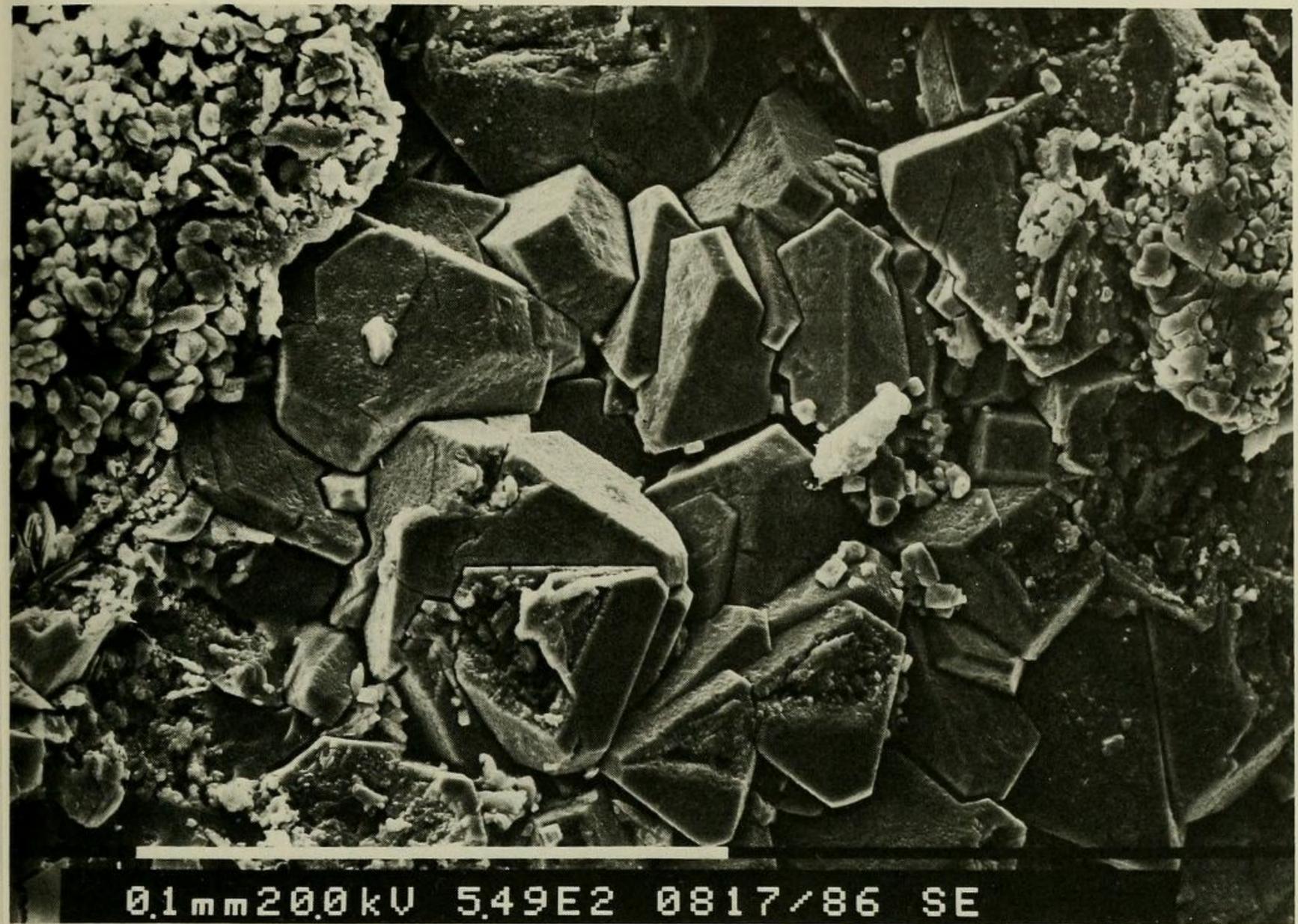


Abb. 19.



Abb. 20.

## 7. Dank

Herr Prof. R. Guggenheim und seine Assistenten G. Luönd und R. Duggelin vom Raster-elektronenmikroskopie-Zentrum der Universität Basel sind in mehreren Phasen dieser Arbeit sehr behilflich gewesen. Dr. D. Schlee und Dr. G. Bloos danken wir für die wissenschaftliche Beratung und Überarbeitung des Textes.

## 8. Literatur

- CALS, P. & BROUSSE GAURY, P. (1978): Constitution et fonction des scutes et scutons, structures uni- et pluricellulaires du tégument des Arthropodes, définies chez des Blattes, *Periplaneta americana* (L.) et *Leucophaea maderae* (F.) (Insectes Dictyoptères). — C. R. Acad. Sc. Paris, D, **287**: 623–626; Paris.
- CROWSON, R. A. (1970): Classification and Biology. IX+350 S.; London (Heinemann).
- FRANCOEUR, A. (1969): Révision taxonomique des espèces néarctiques du groupe *fusca*, genre *Formica* (Formicidae, Hymenoptera). — Mém. Soc. Entomol. Québec, **3**: 1–316; Ste-Foy (Québec).
- MAYR, E. (1942): Systematics and the Origin of Species. — Columbia Univ. Press, 334 S.; New York.
- MAYR, G. (1968): Die Ameisen des baltischen Bernsteins. — Beitr. Naturk. Preuss, **1**: IV+108, 5 Taf.; Königsberg.
- MIERZEJEWSKI, P. (1976): On application of scanning electron microscope to the study of organic inclusions from the Baltic amber. — Rocznik Pol. Tow. Geol., **46**: 291–295, 4 Taf.; Krakow.
- SCHLEE, D. (1986): Der Bernsteinwald. — Katalog der ‚Mineralientage München 1986‘: 65–80; München/Oberaching.
- SCHLEE, D. & GLÖCKNER, W. (1978): Bernstein. — Stuttgarter Beitr. Naturk., C, **8**: 1–72, 16 Taf.; Stuttgart.
- SCHLÜTER, T. & STÜRMER, W. (1982): X-ray examination of fossil insects in Cretaceous amber of N.W.-France. — Annls. Soc. Ent. Fr. (N. S.), **18**: 527–529; Paris.
- WHEELER, W. M. (1915): The ants of the Baltic amber. — Schrift. phys.-ökonom. Ges. Königsberg, **55**: 1–142; Leipzig & Berlin.
- WILSON, E. O. (1955): A monographic revision of the ant genus *Lasius*. Bull. Mus. comp. Zool., **113**: 1–201, 2 Taf.; Harvard.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Cesare Baroni Urbani, Zoologisches Institut der Universität, Rheinsprung 9, CH-4051 Basel, Schweiz.

Prof. Dr. Stefan Graeser, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Bernoullistraße 30, CH-4056 Basel, und: Naturhistorisches Museum, Augustinergasse 2, CH-4001 Basel, Schweiz.