

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

INSTYTUT FIZYKI

LABORATORIUM
FIZYKI FAZY SKONDENSOWANEJ

Ćwiczenie 2

Charakteryzacja kryształów
metodą trawienia chemicznego

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metody trawienia chemicznego w zastosowaniu do ujawniania obrazów struktur badanych powierzchni (powierzchni kryształów) oraz nabycia umiejętności interpretacji powstałych w ten sposób figur trawienia.

Wstęp

CHARAKTERYZACJA KRYSZTAŁÓW METODĄ TRAWIENIA CHEMICZNEGO

Rzeźba powierzchni kryształów jest nazywana ich **mikromorfologią**.

Mikromorfologią powierzchni kryształów jest określona przez **strukturę wewnętrzną** kryształów oraz przez **środowisko**, w którym kryształy rosną, rozpuszczają się, są przechowywane lub poddane działaniu. Trawienie chemiczne ujawnia bogatą mikromorfologię a zawarte w niej informacje są odbiciem zarówno wpływów strukturalnych jak i warunków trawienia.

Trawienie jest rodzajem rozpuszczania, które ujawnia mikromorfologię. Przy **polerowaniu** powierzchnia wytrawiona pozostaje gładka. Topogramy trawienia to obrazy powstałe po wytrawieniu kryształów. Na topogramach trawienia powierzchni wzrostowych lub powierzchni otrzymanych po **przecięciu i rozłupaniu** kryształów wyróżnić można:

- **stopnie rozpuszczania**
- **jamki trawienia**
- **rowki trawienia**

Analiza mikromorfologii powierzchni trawionych kryształów dostarcza informacji o **kierunkach periodycznych łańcuchów wiązań** struktury kryształu, **mechanizmie i przebiegu wzrostu** kryształów oraz o **mechanizmach tworzenia i ujawniania** oraz **lokalizacji i geometrii** różnorodnych **defektów** struktury.

Trawieniem chemicznym można **wykryć, zidentyfikować i zlokalizować**:

- dyslokacje,
- zgrupowania defektów punktowych,
- pasma wzrostu,
- granice sektorów,
- granice ziaren,
- obecność i granice różnych faz,
- obszary naprężeń mechanicznych.

Ponadto wykrywamy różnego typu struktury: pasową, sektorową, złącza p-n, heterozłącza oraz domeny ferroelektryczne. Zmiany strukturalne w kryształach wywołane działaniem różnego rodzaju promieniowania np. światła laserowego, promieniowania jądrowego, czy różnego typu uszkodzenia mechaniczne również są zapisywane w kryształach i mogą być ujawnione i zarejestrowane techniką trawienia.

Kształt jamki trawienia umożliwia zidentyfikowanie ścian kryształów. Kierunki stopni rozpuszczania zwykle biegną wzdłuż kierunków silnych wiązań w strukturze kryształu tzw. periodycznych łańcuchów wiązań. Różne ściany kryształu ujawniają różną projekcję tych kierunków na daną płaszczyznę stąd kształt jamki trawienia jest wizytówką danej ściany umożliwiającą jej identyfikację. Jednak samo zarodkowanie jamki trawienia jest uwarunkowane i najczęściej związane z określonymi defektami w strukturze. Stąd lokalizacja jamki ujawnia umiejscowienie defektów.

Na topogramach trawienia zaobserwować można różne typy jamki trawienia. Piramidalne, dyslokacyjne jamki trawienia ujawniają miejsca wyjść liniowych defektów sieci

tj. dyslokacji na powierzchnię kryształu. Jamki te ujawniają lokalizację linii dyslokacyjnych przebijających badaną powierzchnię. Zwykle rozróżniamy jamki centryczne gdy dyslokacje biegą prostopadle lub prawie prostopadle do powierzchni oraz jamki acentryczne gdy nachylenie linii dyslokacyjnych do powierzchni jest duże. Jamki centryczne wykazują centryczne usytuowanie swoich wierzchołków względem geometrycznych konturów, a jamki acentryczne mają wierzchołki wyraźnie acentryczne, odchylone od centrów geometrycznych. Jamki płaskodenne powstają w miejscach zgrupowań defektów punktowych lub miejscach przypadkowych. Jeśli ich lokalizacja nie jest chaotyczna, przypadkowa np. lokalizacja w określonych sektorach wzrostu kryształu dowodzi to selektywnego, silnego wychwytu domieszek przez wybrane ściany w procesie wzrostu kryształu.

Analiza orientacji jamek trawienia na całej ścianie umożliwia ocenę monokrystaliczności próbek. W monokryształach boki wszystkich jamek są równoległe do siebie i do kierunków periodycznych łańcuchów wiązań, w bliźniakach lub polikryształach widoczne są granice obszarów o różnych orientacjach krystalograficznych np. granice bliźniaków czy granice ziaren.

Lewe- i prawe formy kryształów enancjomorficznych, których struktura wewnętrzna jest wzajemnym odbiciem zwierciadlanym mogą być rozróżnione po uzyskaniu tzw. chiralnych jamek trawienia. Istnienie takich jamek jest prostą konsekwencją wpływu struktury wewnętrznej kryształu na mikromorfologię powierzchni, w tym także na kształt jamek trawienia.

Polarność struktury można ujawnić na ścianach kryształu o przeciwnej orientacji krystalograficznej. Oddziaływanie takich polarnych powierzchni ze środowiskiem np. podczas procesu rozpuszczania ujawnia pewne różnice zwykle w nachyleniu ścian jamek lub ich tarasowości. Pozwalają one rozróżnić i zidentyfikować takie polarne powierzchnie.

Granice sektorów wzrostu są obszarami kryształu wyrosłymi na tej samej ścianie, a pasma wzrostu lokalizują chwilowe położenie frontu wzrostu. Trawienie chemiczne jest wystarczająco czułą metodą by ujawnić naprężenia wewnętrzne sieci zlokalizowane w obszarach styku dwu sektorów jak również te powstałe w miejscach frontu wzrostu wskutek niejednorodnego wbudowania domieszek podczas krótkotrwałych zakłóceń na froncie wzrostu podczas przesuwania ściany kryształu w trakcie jego wzrostu.

Pasma wzrostu ujawniają lokalizację ścian we wcześniejszych etapach tworzenia kryształu. Są to linie równoległe do krawędzi kryształu. Pasma wzrostu ujawnić można jako rowki trawienia lub szeregi jamek trawienia. Rowki trawienia w miejscach pasm wzrostu lub granic sektorów wzrostu generowane są w miejscach naprężeń sieci powstałych wskutek zakłóceń stałych sieci dzięki nierównomiernemu wychwytowi domieszek podczas fluktuacji lub gwałtownych zmian prędkości wzrostu. Gdy tworzenie pasm wzrostu jest wynikiem silniejszych zmian chwilowych warunków krystalizacji wtedy na froncie wzrostu wychwytywane są inkluzje a z nich generowane dyslokacje. Wtedy linie pasm wzrostu są ujawniane jako szeregi dyslokacyjnych jamek trawienia.

W każdym przypadku rozkładu charakterystycznego jamek trawienia, czy rowków trawienia uzyskujemy informacje o mikrostrukturze kryształu, lokalizacji określonych typów defektów, źródłach tych defektów i ogólnie o doskonałości strukturalnej. Ocena gęstości dyslokacji jest standardową metodą przydatności kryształu do określonych zastosowań w technice i nauce.

Ważne informacje o przebiegu wzrostu kryształu uzyskać można poprzez wprowadzenie do struktury kryształu, ujawnienie oraz analizę prążki indukowane. Metoda wprowadzania indukowanych prążków jest metodą znaczników. Polega ona na okresowym zakłócaniu parametrów wzrostu, podczas krystalizacji. Tworzone w tym czasie lokalne zakłócenia struktury w rosnącym kryształce są następnie ujawniane podczas trawienia kryształów w postaci indukowanych prążków. Indukowane prążki są pasmami wzrostu i

podobnie jak słoje wzrostu w przeciętych drzewach lokalizują chwilowy front wzrostu więc z nich odczytać można całą historię przebiegu procesu krystalizacji w znanych momentach i przedziałach czasowych.

Przebieg ćwiczenia

A. Jamki trawienia i struktura wewnętrzna kryształu, jamki trawienia i defekty struktury

I. Określanie orientacji krystalograficznej z kształtu figur trawienia

- i. Wytrawione kryształy należące do **układu regularnego** (Nad, Si, Ge, ZnTe, NaClO₃, NaBrO₃, alun potasowe glinowy) umieść na stoliku mikroskopu metalograficznego i dokonaj obserwacji mikroskopowych obrazów trawienia na powierzchniach wzrostowych oraz na ścianach łupliwości.
- ii. Ustal **kształt jamek trawienia**, ich symetrię oraz **orientację ściany kryształu** (patrz przykładowe **topogramy trawienia** na rycinach w **Załączniku I**).
- iii. Korzystając z **nasadki rysunkowej, przerysuj obrazy** wytworzone na powierzchniach (1 00), (111) i (110) kryształów i zarys konturów kryształów. Przy pomocy **kamery wideo** sprzężonej z komputerem **zarejestruj** charakterystyczne obrazy mikromorfologii powierzchni trawionych kryształów.
- iv. Oceń **monokrystaliczność** próbek w oparciu o analizę **orientacji jamek trawienia** na danej ścianie. Sprawdź czy boki jamki są równoległe do siebie na całej powierzchni kryształu, jeśli tak to jest to monokryształ. W bliźniakach lub polikryształach powinny ujawnić się granice obszarów o różnych orientacjach krystalograficznych.
- v. Dokonaj obserwacji i analizy mikromorfologii powierzchni trawionych innych kryształów.

Określ **kształt jamek trawienia** i ustal **orientację ścian kryształów** należących do różnych **układów krystalograficznych**:

- kryształów heksagonalnych **KLiSO₄** i **LiJO₃**,
- kryształów trygonalnych **kwarcu (SiO₂)**, **gipsu (CaCO₃)**,
- kryształów tetragonalnych **KH₂PO₄ (KDP)**, **NiSO₄ .6H₂O** i **HgJ₂**,
- kryształów rombówych **Ca(COOH)₂** i **NaCdCOOH**,
- kryształów jednoskośnych **sacharozy**,
- kryształów trój skośnych **K₂Cr₂O₇ (KBC)**.

Porównaj kształt jamki trawienia na powierzchniach o tej samej orientacji krystalograficznej (100) kryształów o różnej klasie symetrii i różnej strukturze wewnętrznej. Ustal ogólne prawidłowości w obserwowanych obrazach.

Zanalizuj przykładowe **topogramy trawienia** zamieszczone w **Załączniku I** i przewidywany kształt jamki dla kryształów z **różnych układów krystalograficznych i różnych klas symetrii**.

Porównaj kształt jamki z własnych obserwacji z kształtem jamki ze schematu teoretycznego opartego o cechy symetrii.

II. Analiza różnych typów jamek trawienia **oraz** ich charakterystycznych rozkładów na powierzchni kryształu

- i. Dokonaj obserwacji i zlokalizuj różne **typy jamek trawienia**:
 - **piramidalne, dyslokacyjne jamki trawienia** centryczne i acentryczne,
 - **jamki płaskodenne** na zgrupowaniach defektów punktowych i mikroinkluzjach.

ii. Na powierzchniach wzrostowych oraz powierzchniach łupliwości wskaż przykłady:

- rozkładu jamek **równomiernego, przypadkowego**,
 - ułożenia jamek w **szeregi**
 - w miejscach granic nisko- i wysokokątowych, na granicach ziaren,
 - wzdłuż linii dyslokacyjnych biegnących w płaszczyźnie obserwacji.
 - wzdłuż pasm wzrostu.
 - zgrupowań jamek **wokół inkluzji**,
 - zgrupowań w obszarze miejsc uszkodzeń mechanicznych kryształu, np. w miejscach zarysowań powierzchni, nakłuciu twardym ostrzem lub odcisku penetratora diamentowego z nasadki do pomiarów twardości kryształów. Takimi miejscami uszkodzeń mechanicznych są również pęknięcia.
- iii. Przeprowadź **test** na wykrywanie **miejsc uszkodzeń mechanicznych**.

Najpierw delikatnie **nakłuj igłą** oraz **zarysuj** wybrany kryształ, następnie wytraw go we właściwym odczynniku. **Wskaż miejsca**, w których dokonano **generacji dyslokacji**.

III. Określenie gęstości dyslokacji w kryształach

Na kilku wybranych wytrawionych próbkach różnych kryształów określ ilość dyslokacyjnych jamek trawienia **N** na jednostkę powierzchni.

Gęstość dyslokacji - g określ ze wzoru:

$$g = N/S, \quad (1)$$

gdzie pole powierzchni widzenia - $S = \pi r^2$ (2)

zaś **r** jest promieniem koła, który można określić po uprzednim wyskalowaniu odległości z wykorzystaniem mikroskali. Regulacji wielkości pola widzenia **S** w mikroskopie dokonujemy poprzez zmianę otworu przesłony.

IV. Określanie symetrii kryształów

Z **kształtu** i **symetrii** jamek na **różnych ścianach** tego samego kryształu określ jego **klasę symetrii**. Zrób odpowiedni rysunek.

V. Zależność morfologii jamek trawienia od rodzaju wytrawiacza

- i. Dla ściany (001) kryształu **NaCl** ustal kształt i orientację jamek trawienia po działaniu na kryształ:
 - metanolem
 - kwasem octowym.
- ii. Dla ściany (100) kryształu **NaClO₃** określ kształt jamek po wytrawieniu dwoma różnymi wytrawiaczami:
 - kwasem mrówkowym
 - kwasem octowym.
- iii. Dla ściany (001) kryształu **KBC** określ kształt jamek po wytrawieniu:
 - wodą
 - kwasem mrówkowym.

VI. Ujawnianie kierunków polarnych w kryształach

Przeprowadź trawienie w wodzie ścian (001) i (00⁻¹) kryształów **KBC**. Porównaj wygląd jamek trawienia otrzymanych na tych powierzchniach. Zwróć uwagę na różnice w nachyleniu ścian jamek i ich tarasowości.

VII. Testy na ujawnianie dyslokacji przez piramidalne jamki trawienia

- i. Przeprowadzić **dwukrotne trawienie** ściany (001) kryształu **KBC** najpierw w wodzie przez kilka sekund, a później w **innym wytrawiaczu** np. kwasie mrówkowym. Zanalizuj położenie starych i nowych jamek trawienia i wskaż miejsca wyjść dyslokacji.
- ii. Przeprowadź **kilkakrotne trawienie** tej samej ściany wybranego kryształu w jednym i tym samym wytrawiaczu. Prześledź ewolucję obrazu trawienia pod kątem zmian wielkości i lokalizacji jamek.
- iii. Porównaj i przerysuj **rozkład przestrzenny** jamek trawienia uzyskany na obu połowach **rozłupanego kryształu** (np. **KBC**, **Si**, **gipsu** lub **NiSO₄ · 6H₂O**). Sprawdź identyczność rozkładu jamek na obu przeciwnych powierzchniach. Dla dyslokacyjnych jamek trawienia uzyskuje się **obrazy zwierciadłowe**.
- iv. Delikatnie nakłuj igłą oraz zarysuj kryształ a następnie ujawnij obraz trawienia. Wskaż miejsca, w których dokonano **generacji dyslokacji**.

VIII. Ujawnianie chiralnej natury struktury wewnętrznej kryształu

- i. Określ metodą optyczną skrętność kryształów chloranu sodowego.
- ii. Wybierz lewy i prawy kryształ i poddaj je krótkotrwałemu trawieniu w kwasie mrówkowym. Ustal czy **kształt** uzyskanych **jamek** na powierzchniach (100) (lub innych ale o tej samej orientacji) jest wzajemnym odbiciem zwierciadlanym.

IX. Określanie związku pomiędzy centrami wzrostu kryształów i dyslokacjami

- i. Znajdź na powierzchni kryształu **wzgórki wzrostu** lub **spirale wzrostu**.
- ii. Poddaj kryształ lekkiemu trawieniu.
- iii. Wskaż jamki odpowiadające tym dyslokacjom, które są źródłem wzgórek wzrostu.
- iv. Wykonaj schematyczny rysunek wzgórka wzrostu i lokalizacji jamek dyslokacyjnych odpowiedzialnych za generację wzgórka

B. Rowki trawienia i defekty struktury wewnętrznej kryształu

X. Badanie geometrii dyslokacji wzrostowych, płaszczyzny lokalizacji dyslokacji i ich kierunki

- i. Ujawnianie i geometria **dyslokacyjnych rowków trawienia**
 - Rozłup kryształ KBC wzdłuż płaszczyzny (100) tak aby płaszczyzna łupliwości przecinała środek kryształu.
 - Przeprowadź delikatne trawienie otrzymanych powierzchni w HCOOH. Zanalizuj otrzymane topogramy trawienia pod kątem **obecności, kształtu i kierunków linii dyslokacyjnych** biegnących w badanej płaszczyźnie. Lokalizację tak usytuowanych dyslokacji ujawniają
 - **dyslokacyjne rowki trawienia.**
 - Wskaż przykłady **dyslokacyjnych rowków trawienia** na topogramach.
 - Określ ich **kierunki** w różnych **sektorach wzrostu**.
 - Zmierz kąty jakie tworzą **linie dyslokacyjne** z dobrze **zdefiniowanymi kierunkami odniesienia** w kryształach tj. z **kierunkami pasm wzrostu**. Wskaż **preferowane kierunki dyslokacji wzrostowych** w poszczególnych **sektorach**. Jak **biegną dyslokacje** po dojściu do **granic sektorów** ? Czy wchodzi one do sąsiednich sektorów bez załamania ? Jeśli tak to jakie są ich **nowe kierunki**?

ii. Określanie kąta nachylenia linii dyslokacyjnej do powierzchni kryształu z acentryczności jamek piramidalnych

- Nachylenie linii dyslokacyjnych określić można również z pomiarów acentryczności jamek piramidalnych. W tym przypadku określamy kierunki dyslokacji przecinających daną powierzchnię.
- Wybierz próbkę wytrawionego kryształu Nad lub KBC z dobrze wykształconymi, izolowanymi piramidalnymi jamkami trawienia.
- Korzystając z mikroskopu zaopatrzonego w wyskalowane pokrętko regulacji przesuwu pionowego obiektywu, wyskalowany stolik krzyżowy oraz okular mikrometryczny wyznacz dla kilku jamek trawienia kąt nachylenia linii dyslokacji do powierzchni kryształu.
- Kąt nachylenia α wyznaczamy ze wzoru:
$$\operatorname{tg} \alpha = h/a, \quad (3)$$
gdzie h - głębokość jamki, a - acentryczność jamki.
Głębokość jamki h wyznaczamy jako różnicę ustawienia ostrego wierzchołka i podstawy jamki (1 działka skali = $2\mu\text{m}$). Acentryczność a jest odległością pomiędzy środkiem konturu jamki i jej wierzchołkiem mierzonym w rzucie na ścianę.

XI. Analiza pasm wzrostu i granic sektorów wzrostu

- Przeprowadź krótkie trawienie powierzchni (100) **KBC**, otrzymanej przez rozłupanie kryształu, w HCOOH .
- Znajdź na wytrawionej powierzchni granice sektorów wzrostu i pasma wzrostu i przerysuj widziany obraz.
Rysuj obraz rowków trawienia reprezentujących wyłącznie pasma wzrostu i granice sektorów, nie rysuj natomiast jamek trawienia.
- Określ **kierunki pasm wzrostu**.
- W oparciu o kształt granic sektorów wskaź sąsiadujące ściany kryształu, których względna prędkość wzrostu była stała w czasie oraz te sąsiadujące ściany, które zmieniły swą prędkość podczas wzrostu.
- Określ **bezwzględną prędkość wzrostu ścian R_{hkl}** z pomiarów odległości dl sąsiadujących pasm wzrostu w znanym czasie wzrostu dt w danym sektorze wzrostu korzystając z zależności:

$$R_{hkl} = dl/dt \quad (4)$$

przyjmując $dt = 0,5h$ dla **indukowanych pasm wzrostu**.

Zanalizuj tylko te kryształy, w których zastosowano metodę **indukowanych prążków**, dla których dokładnie znamy chwile zakłóceń i okresy stacjonarnego wzrostu w znanych przedziałach czasowych dt .

- Określ **względna prędkość wzrostu sąsiadujących ścian R_{w21}** z pomiarów kątów ψ_1 i ψ_2 pomiędzy granicą sektorów 1 / 2 i pasmami wzrostu w sektorze 1 i 2 korzystając z zależności:

$$R_{w21} = \sin(\psi_1)/\sin(\psi_2). \quad (5)$$

C. **Badania mikrostruktury meteorytów**

XII. **Ujawnienie i analiza figur Widmanstattena w meteorycie żelaznym**

i. **Dobrze wypolerowaną, płaskorównoległą płytkę meteorytu żelaznego wytraw w kwasie azotowym.**

- ii. Zanalizuj utworzony topogram trawienia. Jest to obraz figur Widmanstattena ujawniających minerał kamacyt, w którym pewna część węzłów sieci w strukturze żelaza jest obsadzona przez atomy niklu. W kamacycie zwykle na 8 atomów żelaza przypada 1 atom niklu.
- iii. Oceń monokrystaliczność meteorytu i oszacuj wielkość kryształitów kamacytu.

Zakres obowiązującego materiału

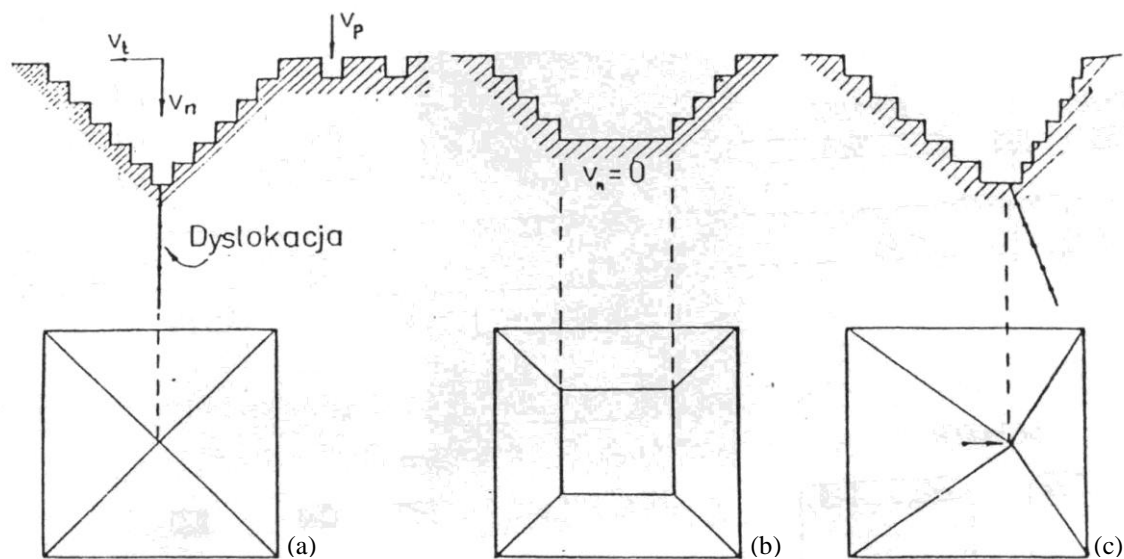
1. Defekty kryształów

2. Metody ujawniania i obserwacji dyslokacji
3. Sektory wzrostu i pasma wzrostu w kryształach
4. Trawienie kryształów
 - zarys teorii tworzenia jamek trawienia i rowków trawienia
 - zastosowanie metody trawienia chemicznego w badaniu kryształów (orientowanie kryształów, ujawnianie dyslokacji)
 - zastosowanie trawienia chemicznego do ujawniania sektorów wzrostu i pasm wzrostu.

Literatura

1. K. Sangwal: Etching of crystals, Amsterdam 1987
2. R.B. Heimann: Rastvorienije kristallov, Moskwa 1979
3. C. Wert, R. Thomson: Fizyka ciała stałego, Warszawa 1974
4. M. Szurgot: Praca doktorska, Łódź 1987
5. M. Szurgot: Crystal Research & Technology **25** (1990) 71-79
6. M. Szurgot: Crystal Research & Technology **25** (1990) 285- 296
7. M. Szurgot: Crystal Research & Technology **28** (1993) 511-518
8. M. Szurgot: Crystal Research & Technology **30** (1995) 621-628

Dodatek



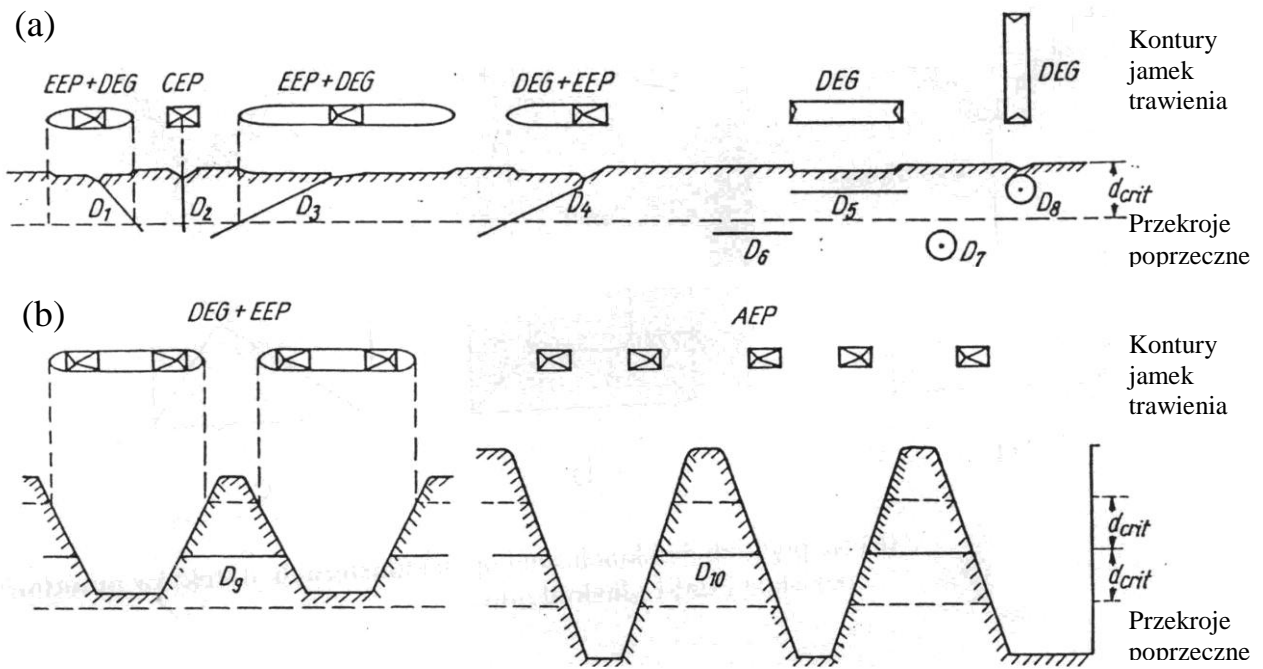
R

Rys. 1. Tworzenie jamek trawienia na defektach sieci krystalicznej. Górne rysunki pokazują przekroje poprzeczne, zaś dolne kontury jamek trawienia. Symbolami V_n , V_p i V_t oznaczono odpowiednio:

- prędkość rozpuszczania wzdłuż linii dyslokacyjnej
- prędkość powierzchniowego rozpuszczania
- styczną prędkość rozpuszczania

Kształty jamek:

- a) **piramidalne centryczne** – na **dyslokacjach** biegnących normalnie do powierzchni trawionej kryształu
- b) **płaskodenne** – na płytkich defektach sieci (np. na **klastrach defektów punktowych**)
- c) **piramidalne acentryczne** – na **dyslokacjach** biegnących **skośnie** do powierzchni kryształu



Rys. 2. Powstawanie **różnych obrazów dyslokacji** po trawieniu powierzchni:

- a) płaskiej
- b) pofalowanej

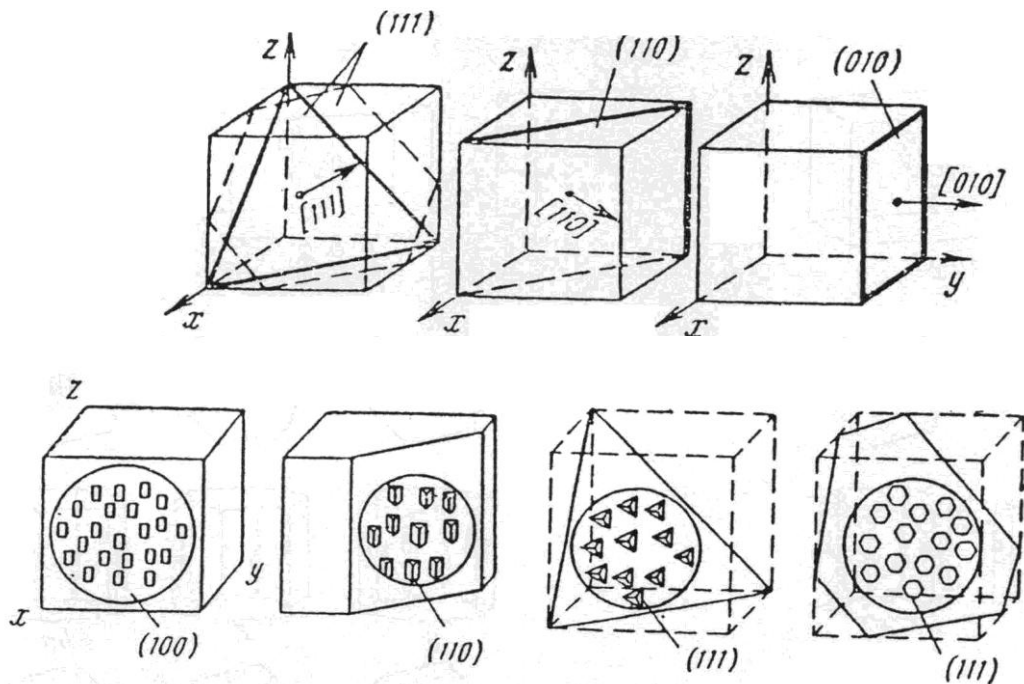
DEG – dyslokacyjny rowek trawienia

EEP, CEP – odpowiednio **acentryczne** i **centryczne** jamki trawienia

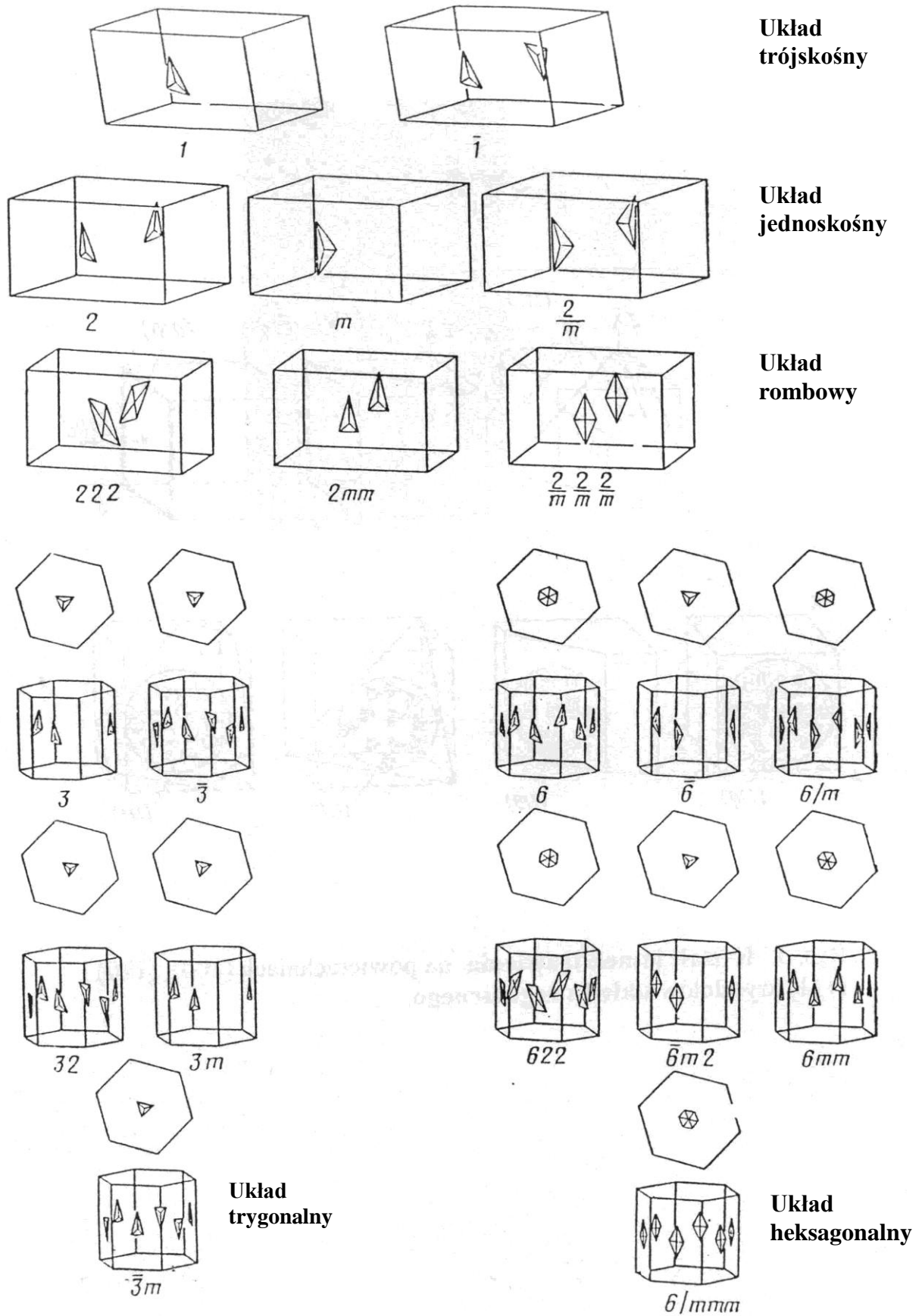
AEP – szereg jamek trawienia

D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₈, D₉, D₁₀ – dyslokacje różnie położone względem płaszczyzny trawienia

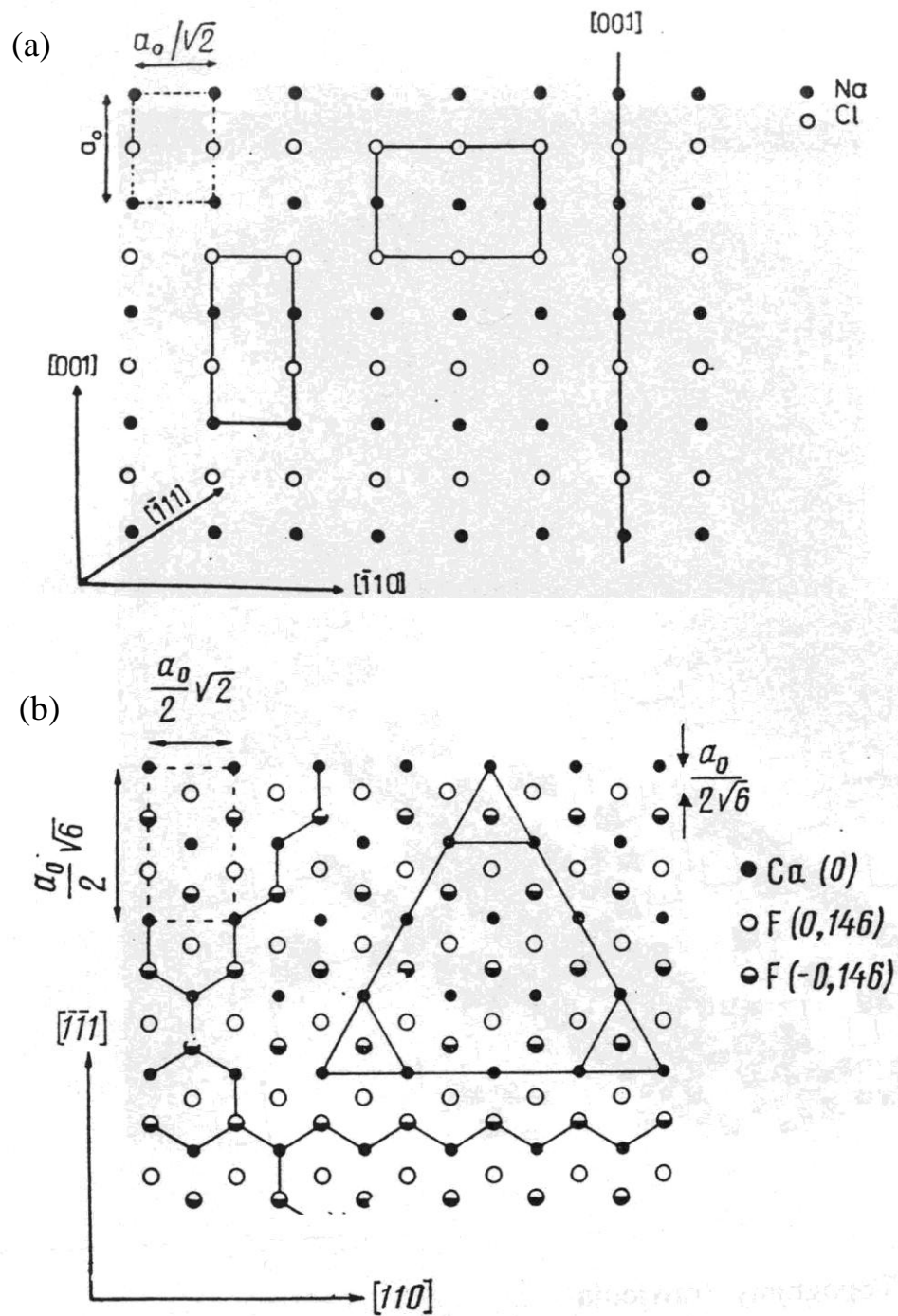
D₆, D₇ – dyslokacje nieujawnione



Rys. 3. **Kształty jamek trawienia** na powierzchniach **(100)**, **(110)** i **(111)** kryształów układu regularnego

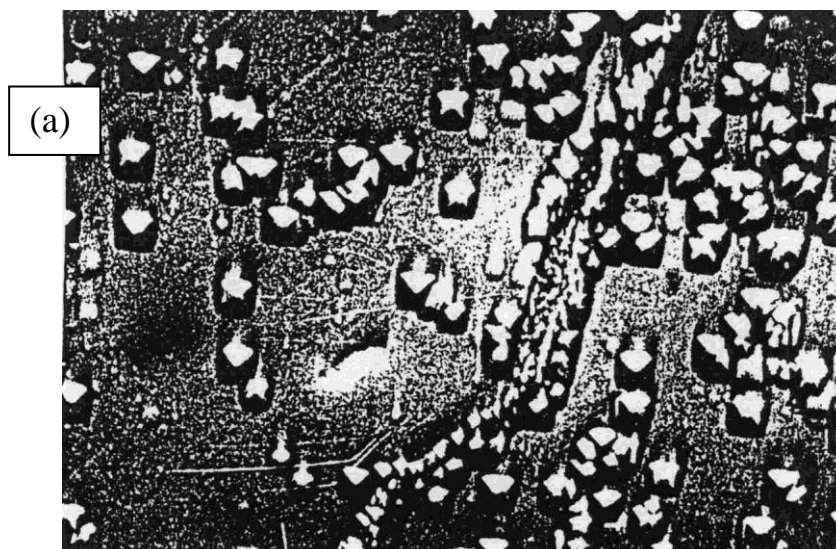


Rys. 4. **Kształty jamek trawienia** na powierzchniach kryształów różnych klas **różnych** układów krystalograficznych



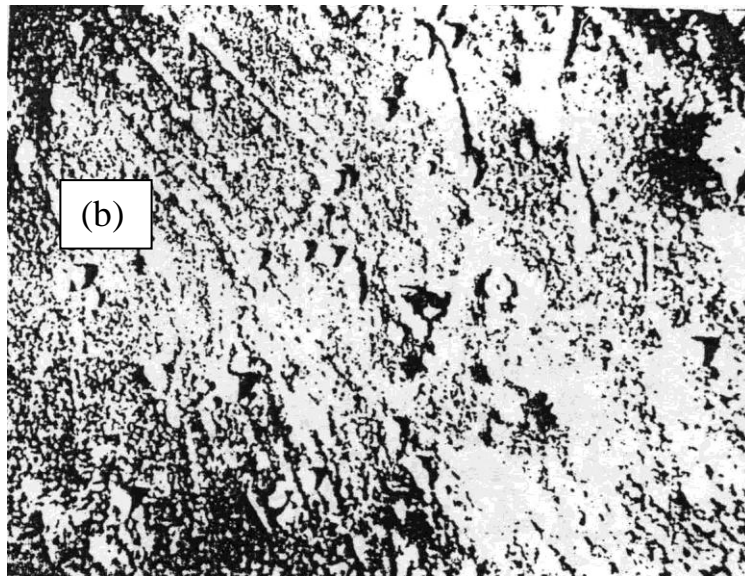
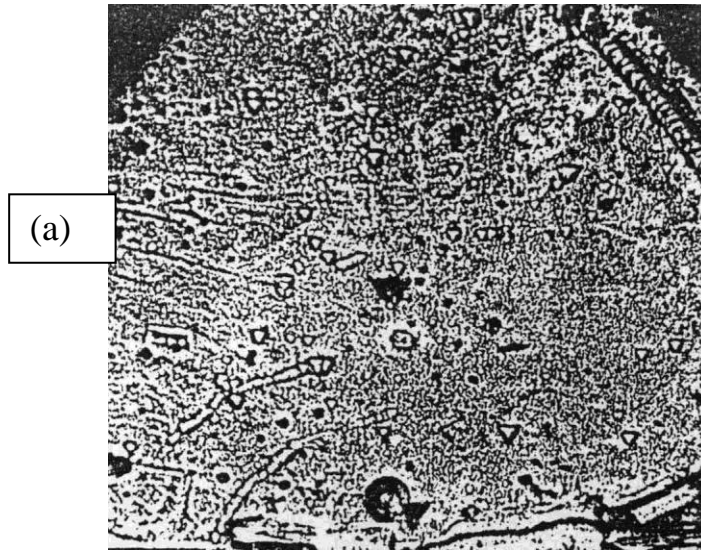
Rys. 5. Współzależność pomiędzy **morfologią jamek trawienia** i **strukturą wewnętrzną kryształów**. Rysunki pokazują kierunki **periodycznych łańcuchów wiązań** struktury, widzane od strony danych powierzchni i **geometrię jamek trawienia**:

- a) ściana (110) kryształu NaCl
- b) ściana (111) kryształu fluorytu CaF₂

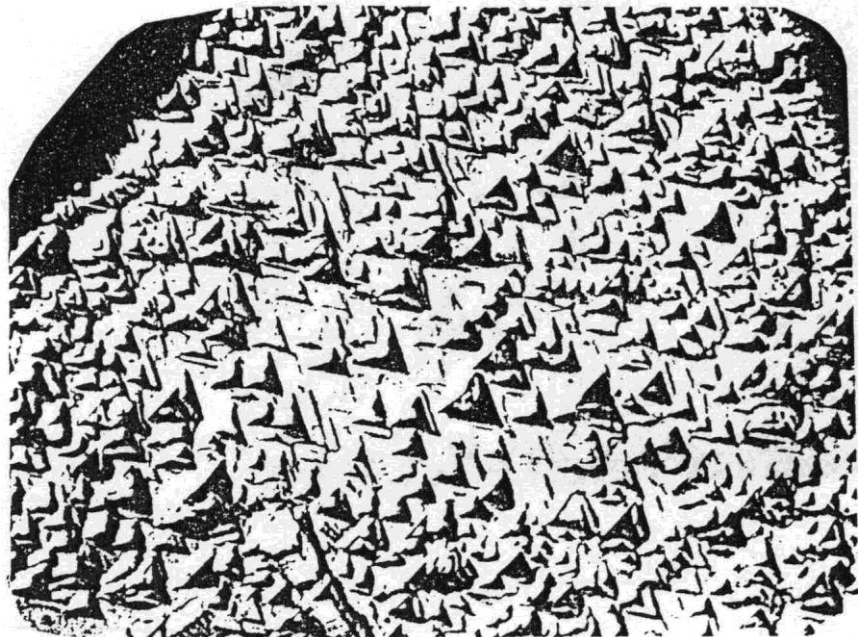
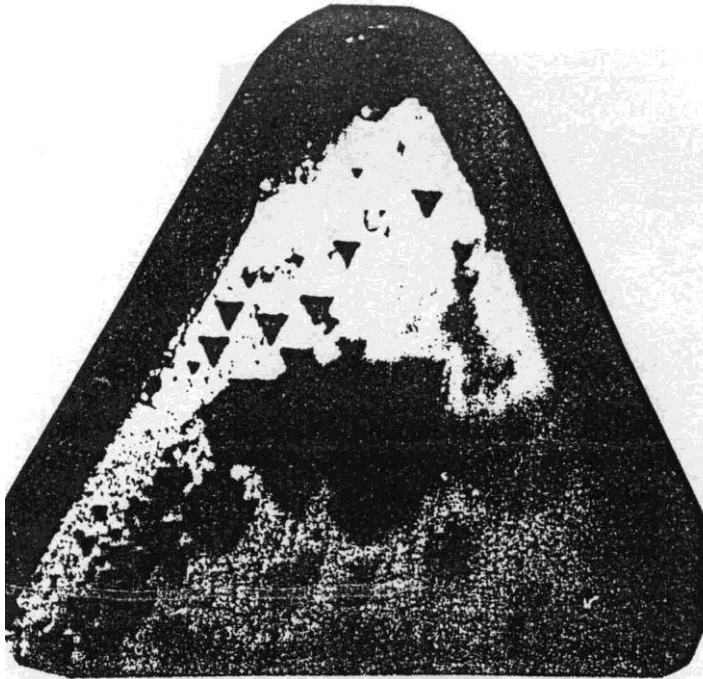


Rys. 6. Topogramy trawienia:

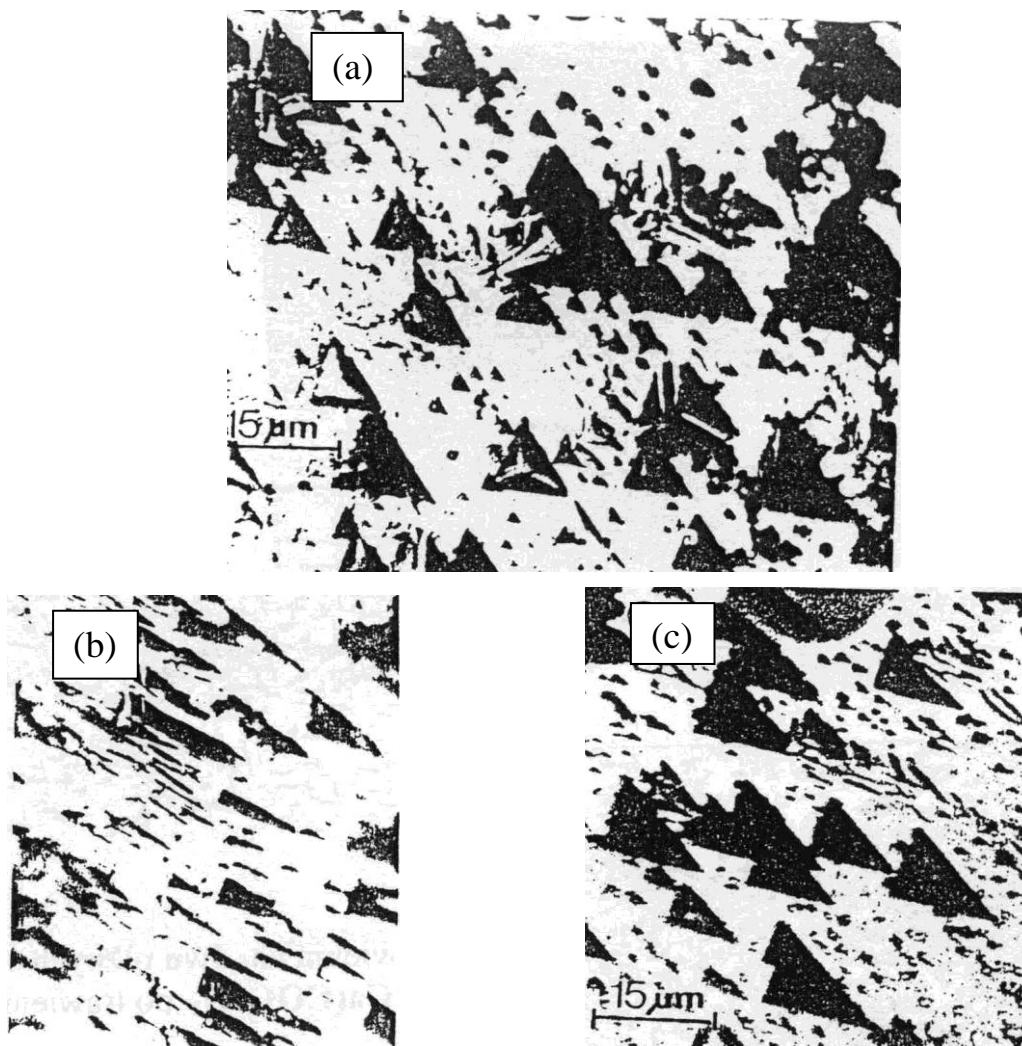
- a) ścian (100) kryształów NaCl (klasa symetrii $m\bar{3}m$) – (wytrawiacz: metanol z chlorkiem kadmu)
- b) ścian (001) kryształów sześciowodnego siarczanu niklu $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (układ tetragonalny, klasa symetrii 422) – (wytrawiacz: kwas mrówkowy)



Rys. 7. Trójkątne jamki trawienia na ścianach (111) kryształów układu regularnego:
a) germanu **Ge**
b) krzemu **Si**

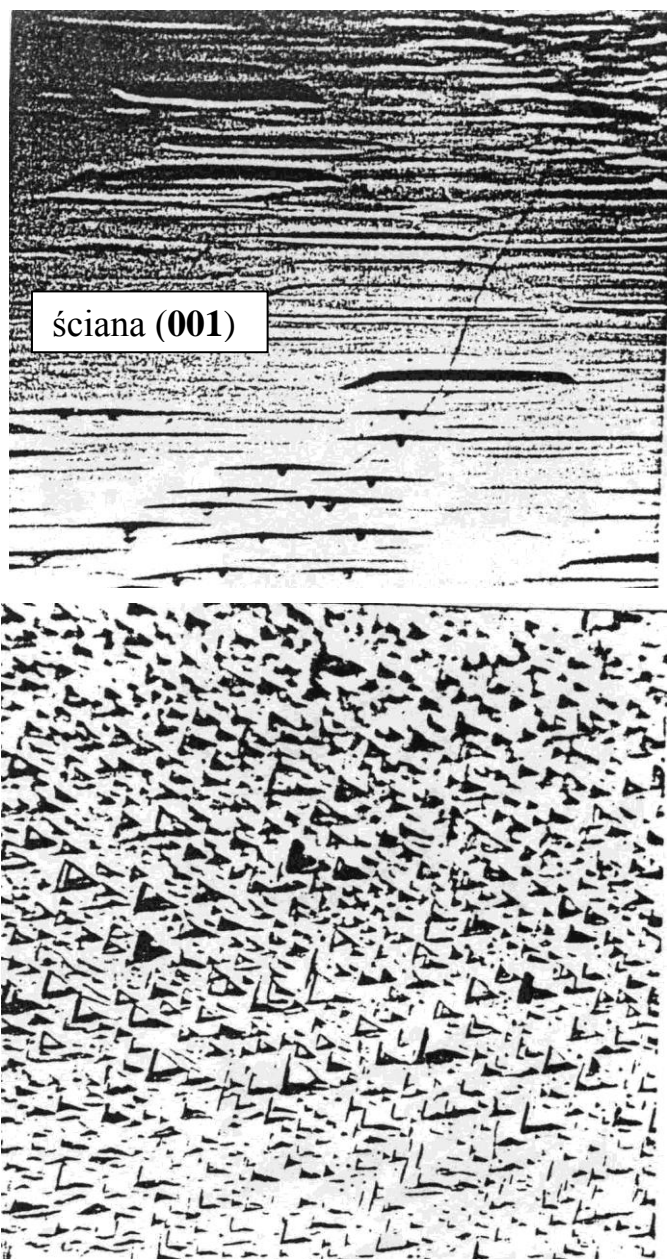


Rys. 8. Trójkątne jamki trawienia na ścianach (111) (ściany tellurowe) kryształów tellurku cynku **ZnTe** (klasa $\bar{4}3m$). Górne i dolne obrazy uzyskano stosując różne wytrawiacze

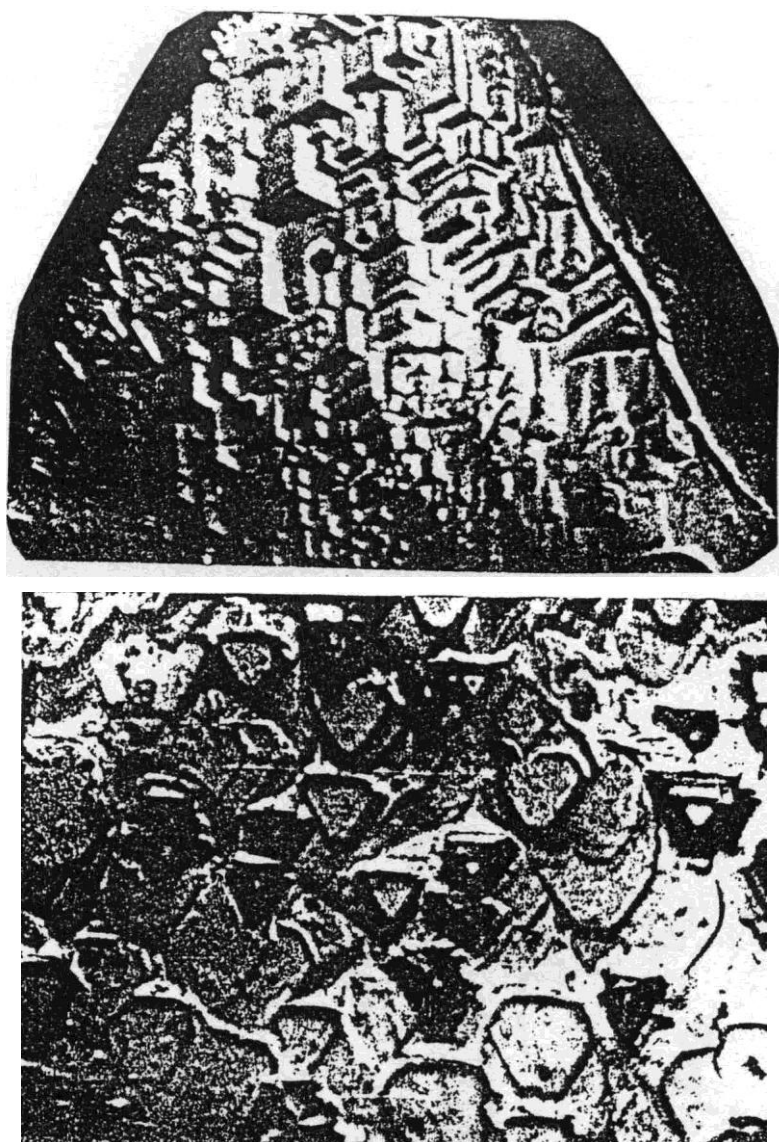


Rys. 9. Wpływ **kąta odchylenia** ściany kryształów **ZnTe** od powierzchni **(111)** na kształt jamek trawienia:

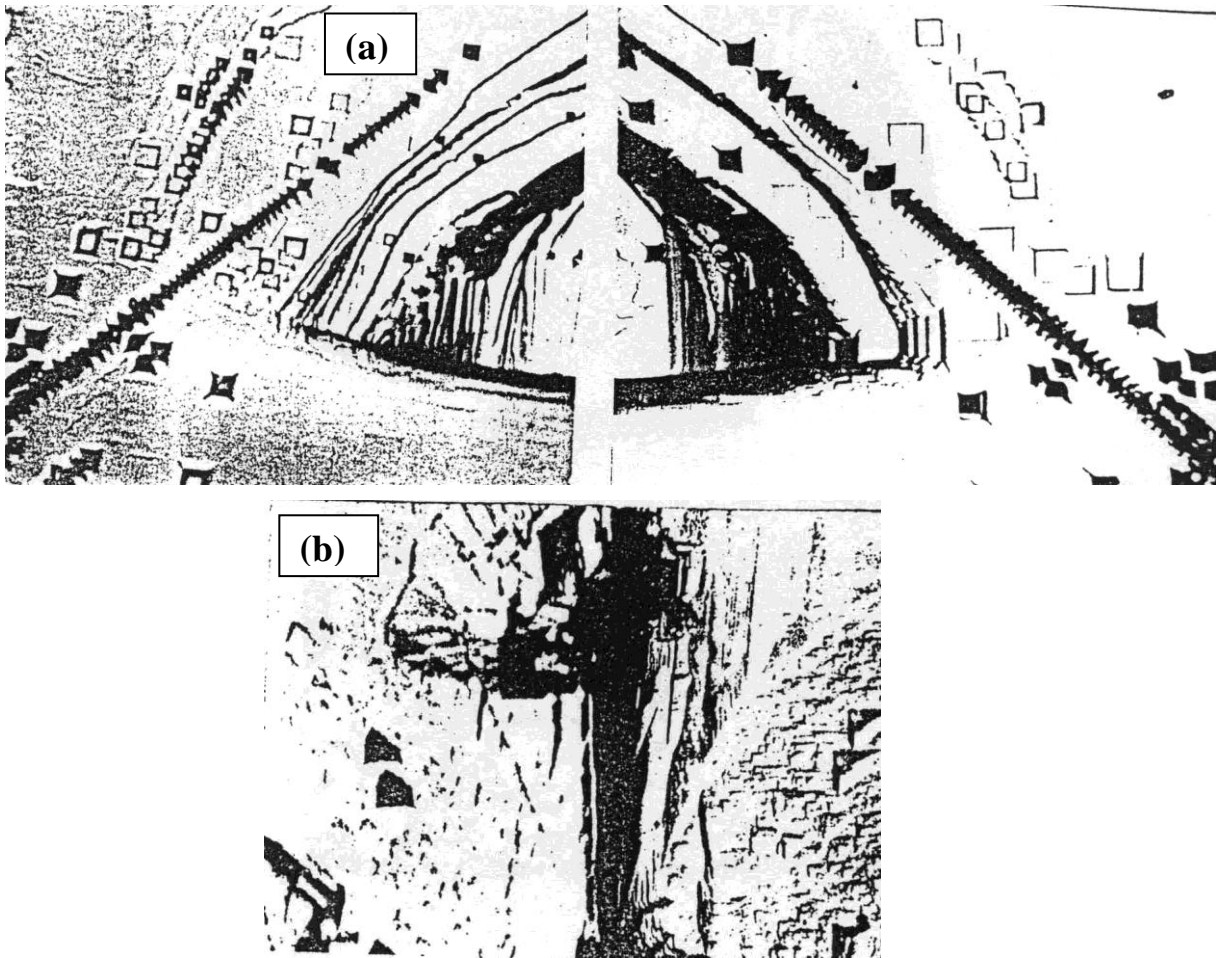
- a) ściana **(111)**
- b) ściana odchylona od orientacji **(111)**
- c) ściana odchylona od orientacji **(111)**



Rys.10. Kształty figur trawienia na dwóch różnych ścianach kryształów mrówczanu wapniowego $\text{Ca}(\text{COOH})_2$ po trawieniu w kwasie mrówkowym



Rys.11. Kształt wzgórków wzrostu i jamek trawienia na ścianie **(111)** kryształów alunu potasowego $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (klasa $m\bar{3}$), (wytrawiacz – H_2O)

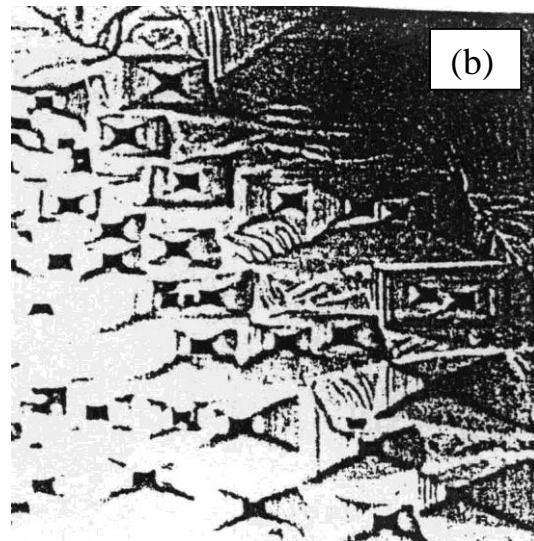
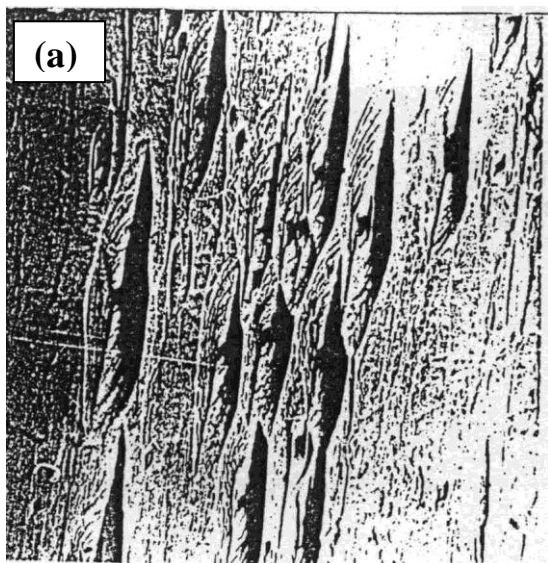


Rys.12. **Zwierciadlane obrazy** dyslokacyjnych jamek trawienia, otrzymane po trawieniu przeciwległych ścian (001) i (00 $\bar{1}$) kryształów:

a) $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (układ tetragonalny, klasa 422)

b) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (KBC) (układ trójskośny, klasa $\bar{1}$)

Wytrawiacz - HCOOH

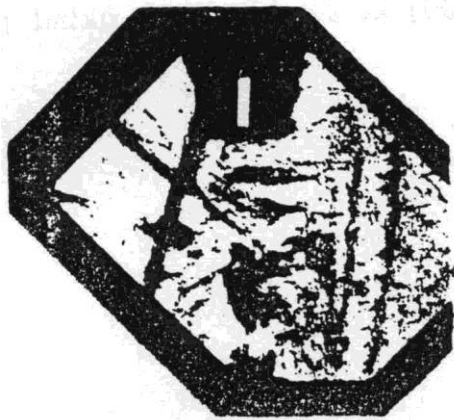
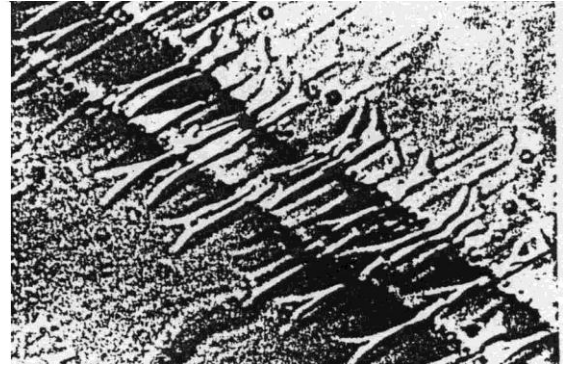
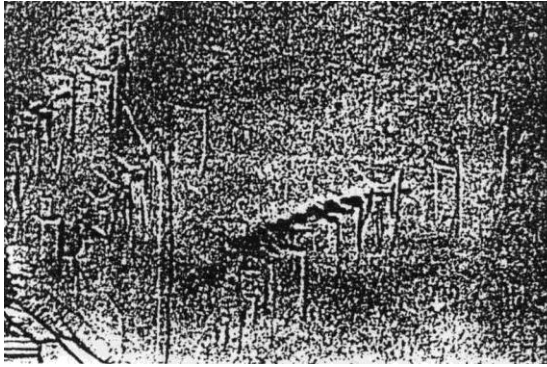


Rys.13. Topogramy uzyskane po **dwukrotnym trawieniu** – najpierw w wodzie, a później w kwasie mrówkowym

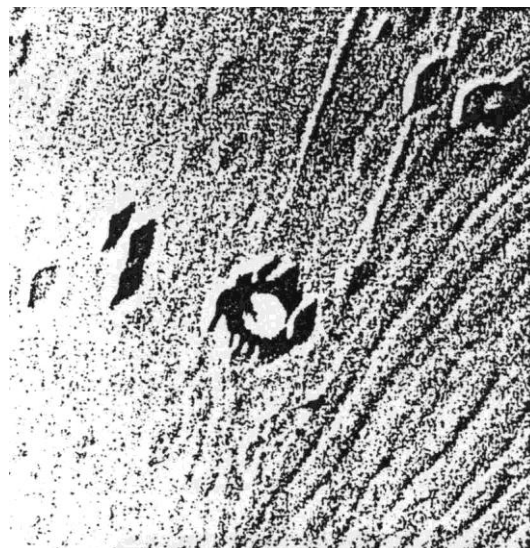
a) ściana **(100)** kryształu **KDP** układ tetragonalny

b) ściana **(100)** kryształu **DKDP** układ jednoskośny

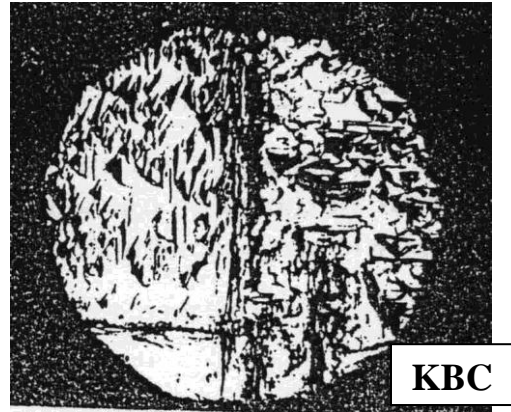
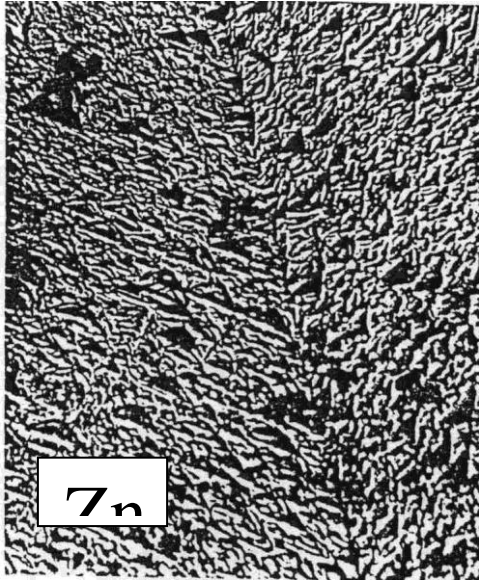
Zwróćmy uwagę na umiejscowienie małych, głębokich czarnych jamek (po trawieniu w **HCOOH**) w **środkach jamek większych** uzyskanych po pierwszym trawieniu w wodzie. Jest to dowód na **preferowane zarodkowanie jamek na dyslokacjach**.



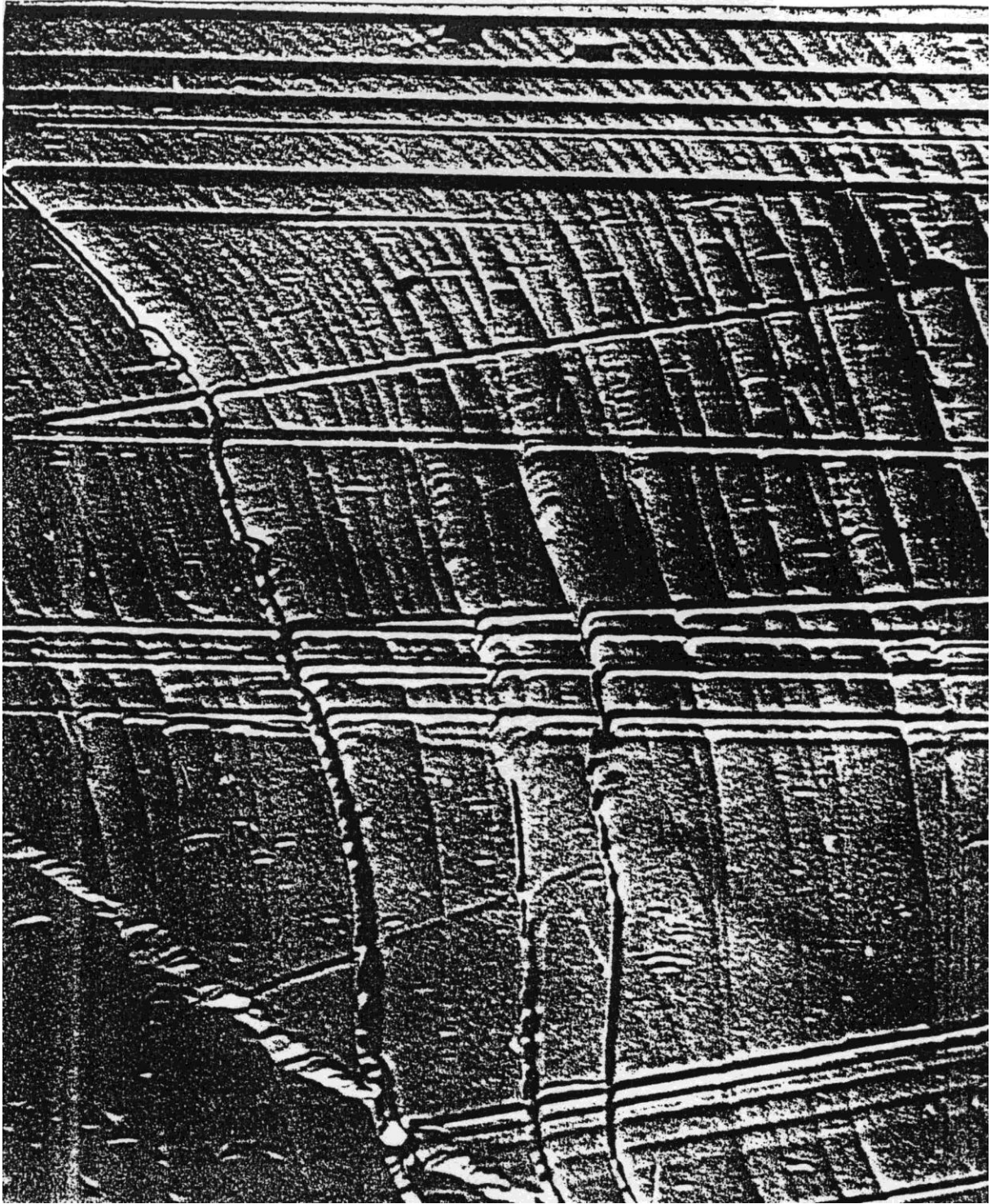
Rys.14. Topogramy trawienia ukazujące **generację dyslokacji przez inkluzje**. Dyslokacje ujawnione są przez jamki trawienia, **inkluzje** jako ciemne kropki lub duże ciemne obszary widoczne są w głębi kryształu **KBC**, pod jego powierzchnią.



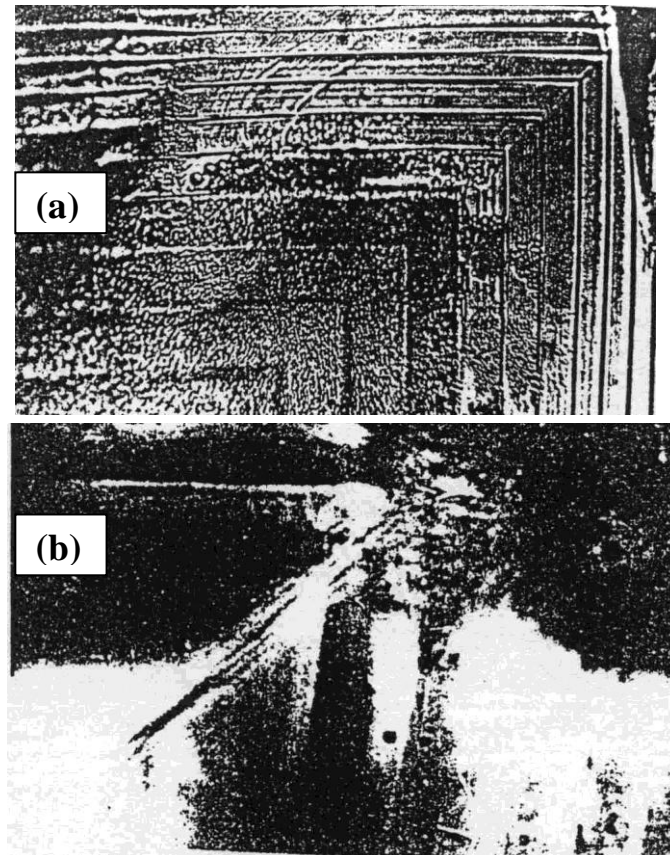
Rys.15. **Generacja dyslokacji po uszkodzeniu mechanicznym kryształu KDP**. Zwróćmy uwagę na liczne jamki trawienia rozłożone kółkiem w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca nakłucia igłą.



Rys.16. Granice bliźniaków w kryształach

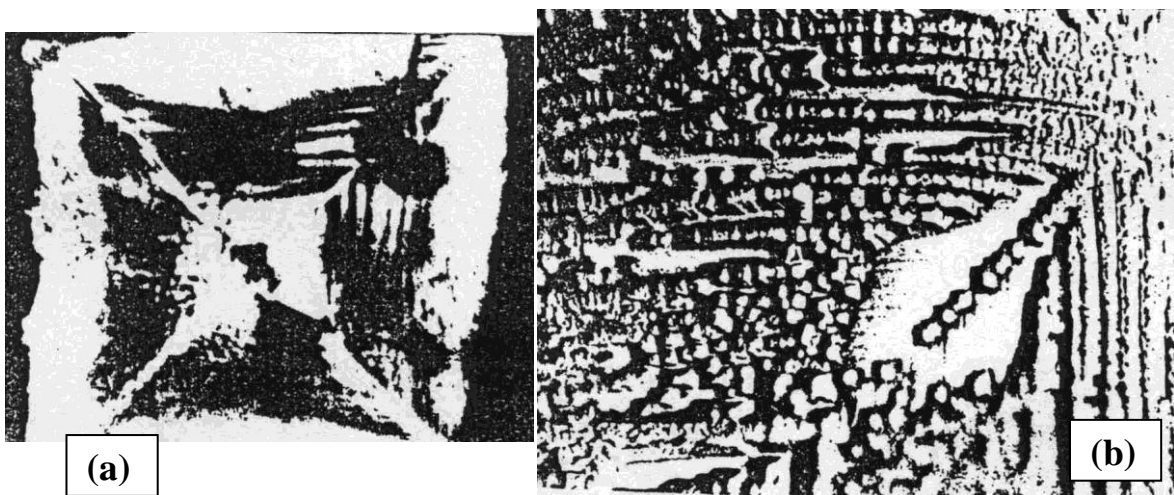


Rys.17. Dyslokacyjne rowki trawienia na ścianie($\bar{1}00$) kryształu KBC w sektorze $(0\bar{1}1)$



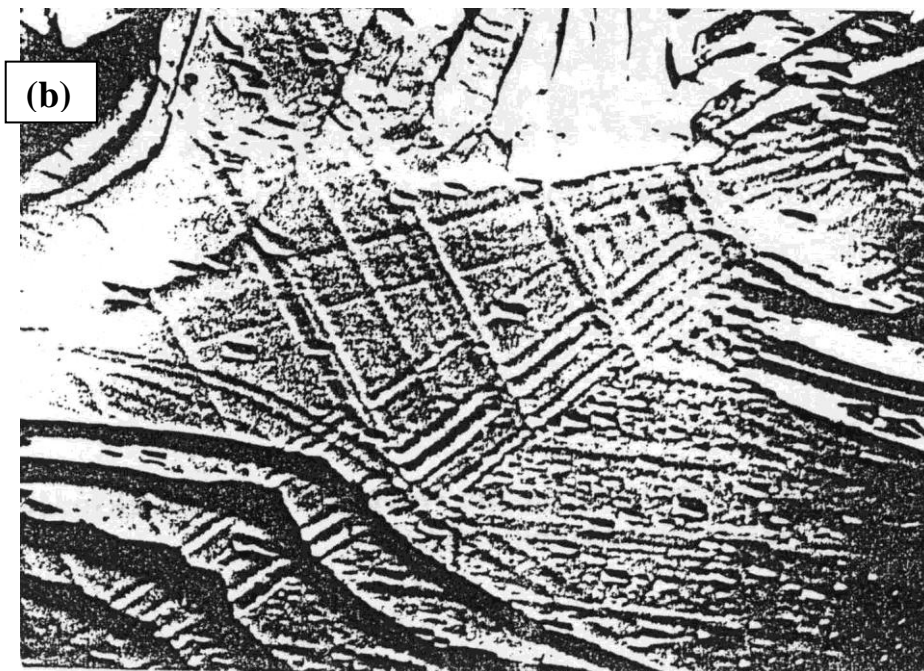
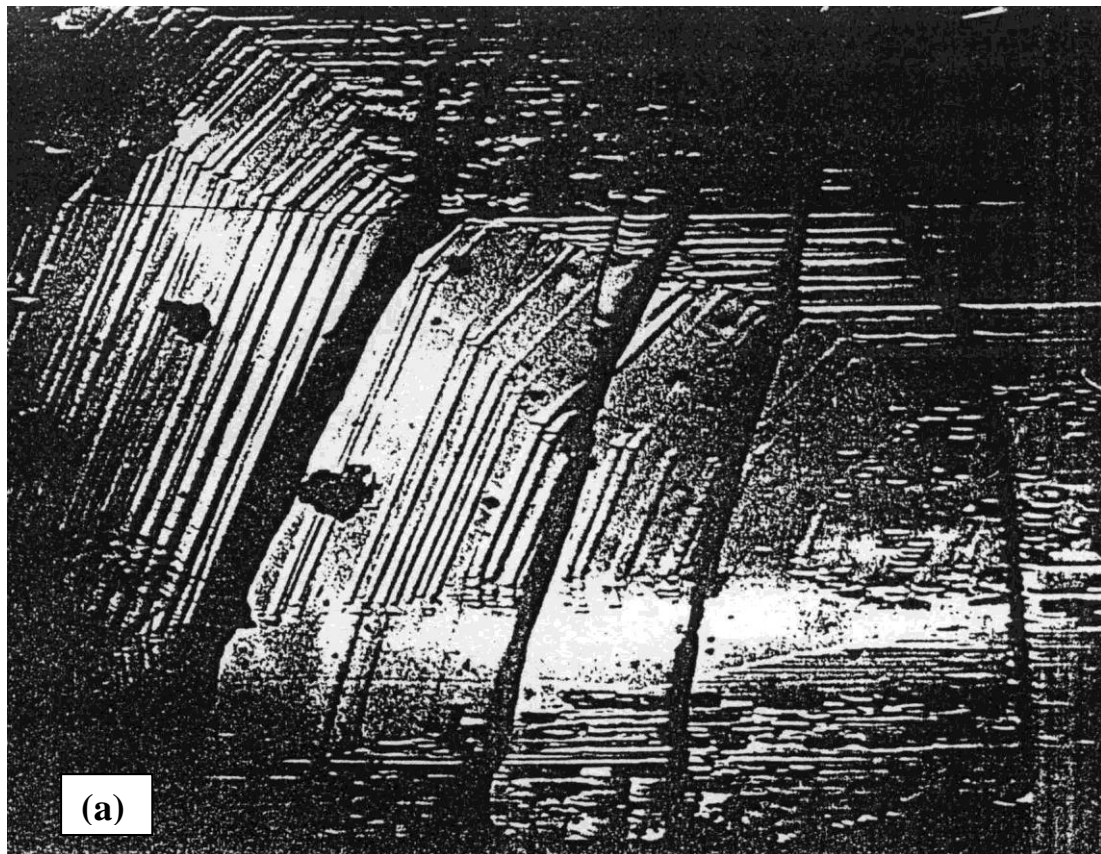
Rys.18. **Pasma wzrostu** w kryształach salmiaku NH_4Cl (klasa $m\bar{3}m$)

- a) topogram trawienia
- b) obraz **naprężeń sieci** w miejscach pasm wzrostu widziany w mikroskopie polaryzacyjnym



Rys.19. **Sektory wzrostu, pasma wzrostu i granice sektorów** w kryształach salmiaku

- a) obraz w mikroskopie polaryzacyjnym
- b) topogram trawienia ściany (100)



Rys.20. Sektory wzrostu, pasma wzrostu, granice sektorów wzrostu i dyslokacje w kryształach KBC

- a) topogram trawienia ściany ($\bar{1}00$)
- b) topogram trawienia ściany (010)



Rys.21. **Indukowane pasma wzrostu** w kryształach **KBC** – topogram trawienia ściany **(010)**



Rys.22. **Figury Widmanstättena** w meteorycie żelaznym – topogram trawienia ujawnia minerał **kamacyt**