

Metodyka bezpośredniego ujawniania dyslokacji na przykładzie miedzi i fosforu galu

1. WPROWADZENIE

Ujawnianie dyslokacji metodami trawienia jest stosowane szeroko przy badaniach czystych metali i półprzewodników. Najczęściej przeprowadza się je w celu:

- umiejscowienia dyslokacji w postaci jamki trawiennej, co umożliwia badanie wywołanego naprężeniem i temperaturą ruchu dyslokacji [1, 2, 3, 4];
- określenia roli dyslokacji w procesie trawienia, co umożliwia badanie mechanizmu rozpuszczania [5, 6, 7];
- wyznaczenia gęstości dyslokacji na określonych płaszczyznach badanego materiału, co w wielu przypadkach stanowi kryterium oceny jego jakości [8, 9].

Przeprowadzenie wymienionych powyżej badań pozwala na określenie wpływu błędów struktury na własności fizyczne metali i półprzewodników. Znajomość ruchu dyslokacji i mechanizmu odkształcenia ułatwia interpretację zjawisk zachodzących w trakcie dyfuzji domieszek /np. generacji dyslokacji/.

Określenie roli dyslokacji w procesie trawienia /wyparowania/ umożliwia także właściwą interpretację wyników uzyskiwanych w procesie epitaksji. Z rozkładu gęstości dyslokacji można natomiast wnioskować o warunkach procesu wzrostu monokryształu.

Widać stąd, że problem ujawnienia dyslokacji jest ważny. Rzetelność wyników i tym samym możliwość sformułowania poprawnych wniosków zależy w głównej mierze od metodyki ujawniania dyslokacji, zarówno otoczonych atmosferą domieszki /tzw. dyslokacji zanieczyszczonych/ jak i dyslokacji czystych.

Celem pracy było przedstawienie metodyki ujawniania dyslokacji, zapewniającej otrzymanie rzeczywistej struktury dyslokacyjnej oraz zwrócenie uwagi na te elementy metodyki, które są w głównej mierze odpowiedzialne za uzyskanie takiej struktury.

2. PROCESY ZACHODZĄCE W CZASIE TRAWIENIA W MATERIAŁACH Z LINIOWYMI BŁĘDAMI STRUKTURY

Zjawiska zachodzące w trakcie wyparowania /w czym zawarty jest również proces trawienia/ są bardzo skomplikowane. Wielu autorów starało się je opisać w sposób ilościowy, podając wzory na prędkość parowania. Wzory te posiadają jednak wiele współczynników i wielkości fizycznych, których pomiar jest nie tylko trudny, ale

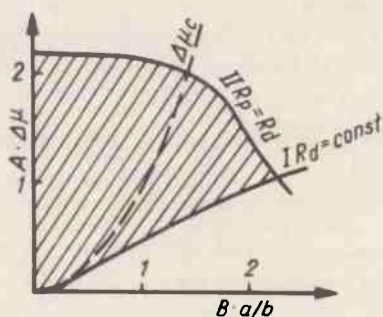
również obarczony dużym błędem, w związku z tym autorzy niniejszej pracy nie uważają za celowe analizowanie tego zjawiska posługując się jego opisem matematycznym.

Podane zostaną natomiast zwięźle warunki sprzyjające ujawnieniu dyslokacji oraz przedstawione będą te problemy, które pozwalają na wyciągnięcie maksymalnych korzyści z ujawnionej struktury dyslokacyjnej metodami trawienia.

Istnieją dwa zasadnicze etapy rozpuszczania metali. Pierwszy związany jest z zarodkowaniem progów w źródłach, o drugi z ich ruchem ze źródła, przez usunięcie atomów z progów do otaczającego ośrodka. Rozpuszczanie jest zazwyczaj procesem skomplikowanym, który na początku jest związany z utlenieniem powierzchni, a następnie z rozpuszczeniem tlenków. Zarodkowanie na płaszczyznach niegęstego upakowania nie jest oczywiście konieczne, ponieważ progi są zawsze obecne dzięki naturze powierzchni. Jest ono natomiast niezbędne dla płaszczyzn gęstego upakowania /np dla sieci Al płaszczyznami gęstego upakowania są płaszczyzny /111/ i /100/. Płaszczyzna /110/ może być uważana za graniczną pomiędzy płaszczyznami gęstego i niegęstego upakowania/.

Na płaszczyznach gęstego upakowania progi mogą powstać w tych obszarach, gdzie dyslokacja przebija powierzchnię, przy czym należy rozróżnić dwa typy dyslokacji:
 1/ o składowej wektora Burgersa normalnej do powierzchni przebicia;
 2/ o składowej wektora Burgersa równoległej do płaszczyzny przebicia.

Zarodkowanie może również wystąpić na obszarach "wysepek", krawędzi itp. Prace teoretyczne Cabrery [6] oraz Cabrery i Levina [7] sugerują, że w zależności od stopnia nienasylenia atomami rozpuszczanymi, aktywność wymienionych obszarów jest różna. Można to przedstawić ogólnie za pomocą wykresu jak na rys. 1.



Rys. 1. Obszar warunków trawienia, dla których dyslokacja o wektorze Burgersa b zostanie ujawniona

R_d - prędkość parowania /trawienia/ w obszarze dyslokacji, R_p - prędkość parowania /trawienia/ powierzchni $\Delta\mu_c$ - wartość krytyczna $\Delta\mu$, a - wysokość progów na powierzchni, A i B - współczynniki zależne od temperatury $\Delta\mu$ - różnica potencjału chemicznego molekuli trawionej i środka trawiącego

Dla niskiego nienasylenia progi są wytwarzane przez dyslokacje, które posiadają składowe wektora Burgersa prostopadłe do powierzchni /dyslokacje śrubowe/. Progi te rozwinięte są w formie spirali. Odległość między progami spirali zmniejsza się ze spadkiem nienasylenia, aż do momentu powstania jamki.

Dla ujawnienia dyslokacji krawędziowej wymagane jest jeszcze mniejsze nienasylenie. Mechanizm zjawiska jest podobny, jak w przypadku dyslokacji śrubowej.

Dopiero przy najmniejszym nienasyleniu powinny działać jako źródła progów obszary "wysepek", krawędzi itp.

Po zarodkowaniu próg będzie się poruszał po powierzchni z szybkością zależną od prędkości usuwania atomów z niego do roztworu. Dla ujawnienia progów, to jest umożliwienia jego obserwacji pod mikroskopem, konieczne jest, aby ilość zarodków w jednym miejscu była duża. Dlatego do odczynnika trawiącego należy dodać substancji hamującej ruch progów w pewnej odległości od źródła.

Opisane wyżej procesy są słuszne dla płaszczyzn gęsto upakowanych. Orientacja krystalograficzna trawionej powierzchni jest tutaj bardzo ważna, jamki powinny mieć kształt zależny od symetrii krystalograficznej powierzchni trawionej, tj. dla sieci Al kwadratowe jamki dla płaszczyzny /100/, trójkątne dla /111/ i prostokątne dla /110/.

Energię materiału w obszarze dyslokacji można podzielić na dwie części - energię odkształcenia, która rozciąga się na kryształ oraz energię rdzenia dyslokacji. Wartość energii rdzenia wynosi około 0,1 energii odkształcenia. Wynika stąd, że dodatkowa energia sprzyjająca zarodkowaniu progów jest zawarta w atomach znajdujących się w progach. Energia rdzenia jest porównywalna z energią odkształcenia zawartą w obszarze cylindra o promieniu 100 Å, którego osią jest linia dyslokacyjna. Dlatego obydwa rodzaje energii muszą być rozpatrywane przy powstawaniu progów.

W chwili obecnej określenie energii rdzenia jest niemożliwe, co z kolei nie pozwala na określenie energii potrzebnej do zarodkowania progów na dyslokacjach krawędziowych i śrubowych. Można jednakże spodziewać się różnych wielkości jamek dla tych dyslokacji.

Z prac Cotrella [10] wynika, że zanieczyszczenia znajdujące się w kryształach gromadzą się wokół dyslokacji. Obecność ich musi mieć oczywiście wpływ na energię rdzenia i energię odkształcenia w bezpośrednim pobliżu dyslokacji. Dodatkowa energia atomów w obszarze dyslokacji będzie się prawdopodobnie obniżać ze względu na obecność zanieczyszczeń. Stąd jamki trawione przy tak "zanieczyszczonych" dyslokacjach będą różne od jamek występujących przy czystych dyslokacjach.

Przy obecności zanieczyszczeń o koncentracji pozwalającej na ich segregację przy linii dyslokacyjnej, dyslokacje można uważać za liniowe źródło zanieczyszczeń. Odczynniki, które atakują te zanieczyszczenia z większą aktywnością, niż cały kryształ, powinny tam tworzyć jamki.

Proces ten nie ma nic wspólnego z zarodkowaniem progów; jamki tak powstałe powinny tworzyć się na wszystkich płaszczyznach krystalograficznych, a ich kształt nie jest związany z kształtem krystalograficznym: ten ostatni przybierają dopiero po dłuższym trawieniu.

Należy zwrócić tutaj uwagę, że już stosunkowo niska koncentracja zanieczyszczeń może wywołać to zjawisko.

Przeprowadzona dyskusja sugeruje, że w przypadku czystych dyslokacji:

- a/ jamki trawienne mogą być rozwijane przy dyslokacjach w miejscach, gdzie przecinają one powierzchnie płaszczyzn gęstego ułożenia;
- b/ dla wyraźnego ujawnienia jamek konieczne jest dodanie do roztworu reagentów, których działanie polega na wstrzymaniu ruchu progów,

- c/ kształt jamek powinien być "krystalograficzny";
- d/ należy się spodziewać różnicy w wielkości ujawnionych jamek pomiędzy dyslokacją śrubową i krawędziową. Różnica ta zależy od odczynnika trawiącego;
- e/ jamki czystych dyslokacji mogą różnić się wielkością od jamek ujawnionych na dyslokacjach z atmosferami.

W przypadku dyslokacji zanieczyszczonych:

- a/ atmosfera może spowodować, że obszar wokół dyslokacji będzie chemicznie bardziej aktywny, co sprzyja zarodkowaniu w tych miejscach. W tym przypadku tworzenie się jamek jest możliwe tylko przy dyslokacjach zanieczyszczonych, nawet na płaszczyznach gęstego upakowania;
- b/ przy koncentracji zanieczyszczeń umożliwiającej ich segregację na linii dyslokacyjnej, dyslokacja stanowi liniowe źródło zanieczyszczeń. Dla odpowiednio dobranych reagentów jamki powinny tworzyć się na wszystkich ściankach kryształu. Kształt ich nie jest funkcją krystalografii powierzchni trawionej.

Przedstawiona tutaj dyskusja jest bardzo spekulatywna. Jednak zarysowany model niewątpliwie służył wielu autorom do opracowania odczynników ujawniających dyslokacje.

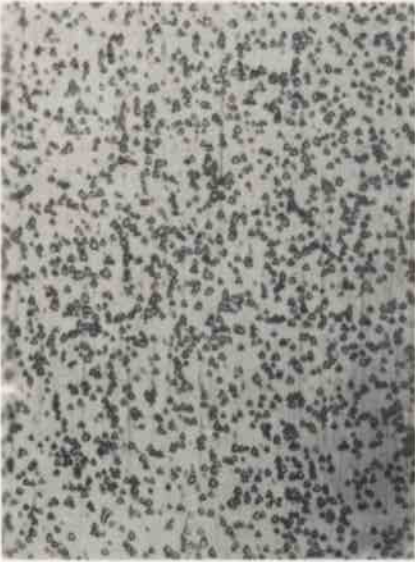
3. METODYKA UJAWNIANIA DYSLOKACJI W METALACH NA PRZYKŁADZIE MIEDZI

Do badań użyto monokryształów miedzi o czystości 99,97%, wyciągniętych metodą Bridgmana w kierunkach $/111/$ i $/100/$. Badanie przeprowadzono na płaszczyznach niskowskaźnikowych. Ponieważ metodyka dla wszystkich płaszczyzn jest identyczna, opisana zostanie jedynie dla płaszczyzny $/111/$. Problem przygotowania próbek jest bardzo ważny z punktu widzenia rzetelności otrzymywanych wyników i dlatego zostanie omówiony bardziej szczegółowo.

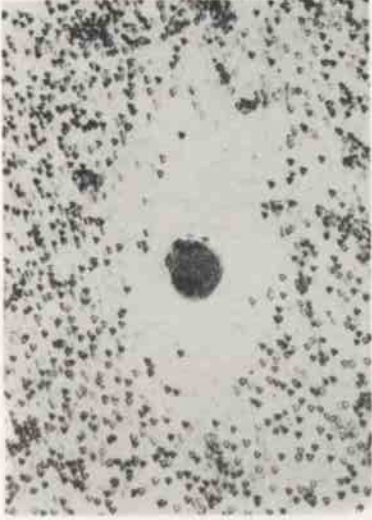
Można wyróżnić dwa etapy przygotowania próbek: pierwszy to pobranie materiału z miejsca będącego przedmiotem badania, drugi - przygotowanie powierzchni do trawienia.

Mechaniczne wycinanie próbki wywołuje rozciągnięcie się na dużą głębokość odkształcenie plastyczne, zależne od parametrów skrawania i dlatego należy go, o ile to możliwe, unikać. Bardzo dobre wyniki daje cięcie za pomocą kwasów, opisane przez Younga i Wilsona [11]. Dobrych wyników uzyskuje się również przy cięciu elektroiskrowym, jednak gładkość powierzchni jest w tym przypadku mniejsza. Wadą obu metod jest to, że kształty próbek muszą być nieskomplikowane, dlatego tymi metodami nie można np. otrzymać próbek do prób rozciągania i zmęczenia. Cięcie przeprowadza się oczywiście wzdłuż określonej płaszczyzny krystalograficznej. Wymagana dokładność orientacji zależna jest od kierunku krystalograficznego płaszczyzny i od stosowanej mieszanki trawiącej. I tak np. dla płaszczyzny $/111/$ wynosi ona $3-4^\circ$, dla płaszczyzny $/100/$ - $3-5^\circ$, a dla płaszczyzny $/110/$ $\sim 6^\circ$. Próbki do badań wycięto mechanicznie piłą diamentową, uzyskując orientację badanych płaszczyzn $/111/$, $/110/$ i $/100/$.

Po wycięciu próbki, polerowano ją chemicznie w przesyconym roztworze CuCl_2 , rozpuszczonym w stężonym HCl . Powierzchnia próbek tak otrzymanych nie pozwala na ujawnienie dyslokacji przez trawienie, prawdopodobnie wskutek dużego zanieczyszczenia badanej miedzi. Dlatego próbki polerowano mechanicznie na pastach diamentowych o gradacji od 7 do $0,25\mu\text{m}$, następnie elektrolitycznie usunięto warstwę zgniecioną, wywołaną polerowaniem mechanicznym.



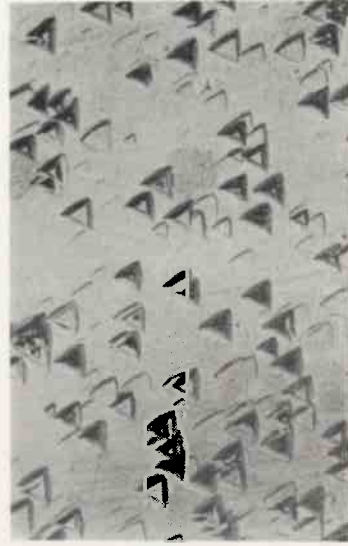
Rys. 2. - Dyslokacje ujawnione na powierzchni badanej bezpośrednio po polerowaniu mechanicznym /Cu/



Rys. 4. - Obszar po trawieniu w sąsiedztwie wydzielenia /Cu/



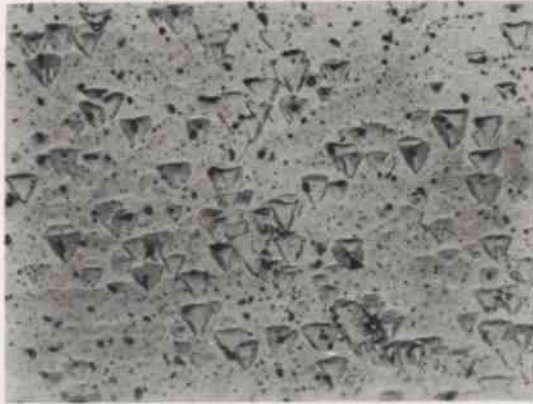
Rys. 5. - Płaskie jamki odpowiadające dyslokacjom z atmosferą zanieczyszczeń w Cu



Rys. 6. Jamki dyslokacyjne o kształcie ostrostupa odpowiadające dyslokacjom "czystym" oraz płaskie jamki odpowiadającym dyslokacjom "zanieczyszczonym" w Cu



Rys. 7. - Jamki dyslokacyjne w GaP odpowiadające dyslokacjom czystym.
Widoczna różnica w wielkości pomiędzy jamkami



Rys. 8. Dyslokacje w GaP ujawnione na powierzchni niedokładnie umytej



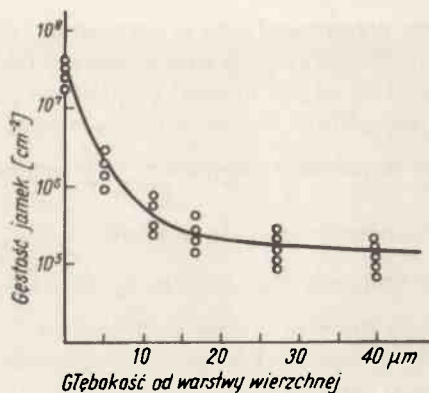
Rys. 9. Jamki w GaP ujawnione bezpośrednio po polerowaniu mechanicznym

Polerowanie elektrolityczne przeprowadzono w roztworach: 60 części kwasu ortofosforowego 65-procentowego i 40 części wody destylowanej, lub 40 części kwasu ortofosforowego 65-procentowego i 60 części alkoholu etylowego /co proponował Rhodin [12], nie podając składu elektrolitu/. W przypadku polerowania w pierwszym roztworze parametry prądowe były następujące: napięcie $\sim 1,5$ V gęstość prądowa $\sim 0,1 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$

Przy polerowaniu w drugim roztworze napięcie wynosiło $\sim 1,5$ V, a gęstość prądowa $\sim 0,02 \frac{\text{A}}{\text{cm}^2}$. Przed trawieniem powierzchnię myto zgodnie z zaleceniami Younga i współczynników [13] w silnym strumieniu wody destylowanej, następnie zanurzono ją przez minutę w 10-procentowym roztworze kwasu ortofosforowego. Potem próbkę myto w strumieniu wody destylowanej przez 5 minut i ponownie zanurzono w roztworze przez minutę. Po tej operacji próbkę ponownie myto w strumieniu wody destylowanej przez 4 minuty i suszono w strumieniu ciepłego powietrza. Operacje te zapewniały bardzo dobrą czystość powierzchni, dzięki usunięciu jonów fosforanowych, które absorbowały się na powierzchni próbki po polerowaniu elektrolitycznym.

Tak przygotowane próbki trawiono mieszankami podanymi przez Younga [14] i Livingstona [15]. Uzyskane wyniki nie były zadowalające, w związku z tym zmodyfikowano nieznacznie skład mieszanek trawiących. Dla płaszczyzn /111/ stosowano następującą mieszankę: $1 \text{ cm}^3 \text{ Br}_2$, 15 cm^3 kwasu octowego lodowatego, 50 cm^3 kwasu solnego stężonego i 90 cm^3 wody destylowanej. Czas trawienia wynosił 6 - 8 sek. Dla płaszczyzny /110/ mieszanka miało skład: 60 g $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 120 ml NH_4OH /13 molowego/, 3g NH_4Cl 130 ml H_2O ; czas trawienia ~ 3 sek. Dla płaszczyzny /100/ użyto mieszanki: 40 g FeCl_3 i 250 ml HBr /6,8 molowego/; czas trawienia ~ 5 sek.

Dla określenia wpływu zgniotu i grubości odkształconej warstwy wierzchniowej wywołanej polerowaniem mechanicznym próbki, trawiono ją przed polerowaniem elektrolitycznym /uzyskaną strukturę dyslokacyjną przedstawiono na rys. 2/. Następnie za pomocą polerowania elektrolitycznego zdejmowano warstwy wierzchnie o grubości $5 \mu\text{m}$, stosując jako elektrolit kwas ortofosforowy w alkoholu etylowym. Po każdorazowym zdjęciu warstwy przez polerowanie, próbkę trawiono i zliczano dyslokacje. Z obserwacji jamek dyslokacyjnych i wyników badań podanych w literaturze należy sądzić, że zwiększona ilość jamek jest wynikiem generacji półpełtli dyslokacyjnych, wywołanych polerowaniem mechanicznym. Zależność ilości jamek od odległości od powierzchni ilustruje rys. 3, z którego wynika, że polerowanie mechaniczne powoduje zwiększenie gęstości jamek 150-200 razy, co prawdopodobnie związane jest ze zwiększeniem gęstości dyslokacji o połowę mniejszą. Wpływ wydzielań pochodzących z zanieczyszczenia miedzi powstałego w czasie wzrostu przedstawiono na rys. 4. Przy dużych wydzielinach nie zaobserwowano jamek dyslokacyjnych. Powodem tego jest prawdopodobnie przesunięcie warunków trawienia poza obszar zakresowany, zaznaczony na rys. 3. Jak widać obszar wpływu wydzielenia jest duży. Jest oczywiste, że dyslokacje występują wokół zanieczyszczenia, a brak jamek należy tłumaczyć niedoskonałością metody ujawniania dyslokacji.



Rys. 3. Zależność pomiędzy gęstością jamek a odległością od warstwy wierzchniej uzyskana dla miedzi po polerowaniu mechanicznym

Sprawdzenie wniosków podanych w teoretycznej części artykułu było trudne do przeprowadzenia ze względu na zbyt duże zanieczyszczenie materiału badanego oraz dużą gęstość dyslokacji. Pomimo to uzyskano wyniki, które potwierdziły niektóre sugestie przedstawione wcześniej.

Naszym zdaniem łatwo rozróżnić dyslokacje z atmosferą od dyslokacji czystych. Pierwsze z nich ujawnione są w postaci płaskich jamek, drugie natomiast w postaci jamek o kształcie piramidy ze ściętym dnem /pokazano to na rys. 5 i 6 /. Rozróżnienie dyslokacji o charakterze śrubowym od dyslokacji o charakterze krawędziowym było trudne ze względu na dużą gęstość dyslokacji i związanym z tym zachodzeniem obszarów „wpływów” dyslokacji na siebie.

Na wielkość jamki pewnie wpływ może mieć kąt pomiędzy linią dyslokacyjną a obserwowaną powierzchnią dla dyslokacji o tym samym wektorze Burgersa. Decydujący wpływ na wielkość jamki ma kąt wektora Burgersa względem linii dyslokacyjnej, co potwierdzają obserwacje podane w badaniach nad rozprzestrzenieniem się dyslokacji w funkcji naprężania i temperatury [1, 2, 3, 4].

Przy stosowaniu mieszanki i opisanej wcześniej metodyki wielkość jamki maleje wraz ze zmniejszeniem się kąta między wektorem Burgersa a linią dyslokacyjną. Największe jamki otrzymuje się dla dyslokacji krawędziowych $\alpha = 90^\circ$ a najmniejsze dla dyslokacji śrubowych $\alpha = 0^\circ$. Bezwzględna wielkość jamek zależy od czasu trawienia.

4. UJAWNIENIE DYSLOKACJI W PÓŁPRZEWODNIKACH NA PRZYKŁADZIE FOSFORU GALU

Fosforek galu został wytypowany do badań z tego względu, że ilość publikacji dotyczących metodyki ujawniania dyslokacji w GaP jest mała, a opis jej bardzo uproszczony. Opracowanie metodyki trawienia jest konieczne ze względu na potrzebę zrealizowania własnej technologii otrzymania GaP.

Próbki do badań zostały wycięte piłą diamentową z monokryształu wyciąganego w kierunku $\langle 111 \rangle$. Ujawnienie dyslokacji przeprowadzono jedynie na płaszczyźnie $\langle 111 \rangle$. Przed trawieniem próbki polerowano mechanicznie pastami diamentowymi

o końcowej gradacji $0,25 \mu\text{m}$ poczym myto w silnym strumieniu wody destylowanej i polerowano chemicznie w roztworze 5-procentowego Br_2 w CH_3OH , zdejmując warstwę ok. $40 \mu\text{m}$, a następnie ponownie myto w wodzie destylowanej celem usunięcia bromków galu i fosforu. Płukanie przeprowadzono tylko w wodzie destylowanej, aby uniknąć tworzeniu się soli przy trawieniu powierzchni badanej.

Dokładnie umytą płaszczyznę /111/ trawiono w mieszance zaproponowanej przez Clarka i współpracowników [16], tzn. 20 ml HCl, 10 ml HNO_3 i $0,25 \text{ ml Br}_2$ /mieszankę tę można stosować po 20 min. od chwili jej sporządzenia, jej czas starzenia się wynosi 4-5 godz. Struktury dyslokacyjne uzyskane po trawieniu pokazano na rys.7.

Po niedokładnym umyciu powierzchni uzyskano obraz struktury dyslokacyjnej jak na rys. 8. Wyraźnie widać na nim, że oprócz jamek dyslokacyjnych widoczne są czarne punkty równomiernie rozłożone na powierzchni.

Stosowano również mieszanki zaproponowane przez Abrahamsa i Buiocchi [17], Richardsa i Crockera [18], Reisslera [19], jednak nie uzyskano tak dobrych wyników jak w przypadku mieszanki Clarka [16].

Wpływ polerowania mechanicznego jest podobny, jak w przypadku miedzi, gęstość jamek trawiennych wzrasta o około dwa rzędy wielkości /rys. 9/. Wpływu zanieczyszczeń na trawienie nie ustalono, ponieważ badany materiał miał dużą czystość.

Pomimo że fosforek galu krystalizuje w innej sieci, niż miedź /sieć typu diamentu/, kształt krystalograficzny jamek trawiennych w płaszczyznach /111/ jest taki sam. Jamki dyslokacyjne dla płaszczyzn /100/ i /110/ mają kształt różny od odpowiadających płaszczyzn miedzi.

Określenie wektora Burgersa z wielkości jamki dyslokacyjnej nie było możliwe. Można natomiast wysnuć wniosek podobny, jak w przypadku miedzi, że wielkość jamki maleje wraz ze zmniejszaniem się kąta pomiędzy wektorem Burgersa a linią dyslokacyjną. Na rysunku 7 wyraźnie widać jamki o różnej wielkości, co wynika prawdopodobnie z różnic między wektorami Burgersa ujawnionych dyslokacji.

5. OMÓWIENIE REZULTATÓW BADAŃ

Z teoretycznych rozważań Cabrery [6] oraz z danych przedstawionych w rozdziale drugim tej pracy, wynika, że wielkość jamki trawiennej zależy od energii rdzenia dyslokacji. Energia rdzenia dyslokacji. Energia rdzenia jest funkcją wektora Burgersa: im wyższa ta energia, tym wielkość jamki trawiennej jest większa [6]. Ponieważ energia dyslokacji krawędziowej jest większa od energii dyslokacji śrubowej, jamki trawienne ujawnione w miejscach przebicia dyslokacji z płaszczyzną, będą większe dla dyslokacji krawędziowej. Dla dyslokacji o tej samej wielkości bezwzględnej wektora Burgersa dyslokacje mieszane powinny być ujawniane w postaci jamek o wielkości pośredniej pomiędzy jamkami odpowiadającymi dyslokacjom krawędziowym i śrubowym. Różnice w wielkości jamek po trawieniu obserwowano bardzo często, zarówno w miedzi, jak i w fosforku galu /rys. 6 i 7/. W przeprowadzonych badaniach nieskorelowano wektora Burgersa z wielkością jamki. Teoretycznie jest to możliwe do przeprowadzenia poprzez badanie kinematyki ruchu półpełti dyslokacyjnych. Z zachowania się końców półpełti w określonych warunkach naprężenia i temperatury można uzyskać zależność: wielkość jamki - wektor Burgersa. Technika przeprowadzenia takich badań można znaleźć w pracach [1, 2, 3, 4].

Zanieczyszczenia albo celowo wprowadzone do materiału domieszki, które tworzą wokół dyslokacji nasycone lub nienasycone atmosfery, zmieniają w zasadniczy sposób warunki trawienia w obszarach, w których występują. Kinetyka rozpuszczania materiału jest w tym przypadku inna niż dla czystych dyslokacji. W rezultacie występowania wokół dyslokacji atmosfery, do energii rdzenia sprzyjającej powstawaniu jamek dodaje się potencjał chemiczny, który potęguje rozpuszczanie się materiału w obszarze występowania atmosfery.

Szybkość rozpuszczania w tych warunkach jest większa wzdłuż promienia atmosfery, w związku z czym jamki trawienne są płaskie, można przeto rozróżnić dyslokacje z atmosferami od dyslokacji czystych. Zgrupowanie dyslokacji z atmosferami pokazano na rys. 5 /strukturę taką obserwowano często w badanych monokryształach miedzi/. W przypadku występowania defektów struktury typu wakans-zanieczyszczenie /domieszka/, np. wakans-tlen, otrzymuje się charakterystyczne małe płaskie jamki [20], co zgodne jest z przedstawionymi hipotezami. W tym przypadku wielkość płaskich jamek jest mniejsza od uzyskiwanych dla dyslokacji z atmosferą, ponieważ energia nawet grupy wakansów jest mniejsza niż energia dyslokacji.

Występowanie dużych wydzielen zmienia warunki trawienia do tego stopnia, że w obszarze wydzielenia jamki dyslokacyjne nie występują. Charakterystyczny jest obszar wpływu wydzielenia, który jest równoległy do powierzchni zewnętrznej wydzielenia /rys. 4 /.

Należy dodatkowo zwrócić uwagę na to, że sposób polerowania i przygotowania powierzchni do trawienia ma znaczny wpływ na rzeczywistą strukturę dyslokacyjną oraz jej czytelność przy obserwacji pod mikroskopem. Zgniot mechaniczny wywołuje powstawanie półpełti dyslokacyjnych, deformując obraz struktury dyslokacyjnej. Zabrudzenie powierzchni powoduje pokrycie się jej warstwą tlenku, która uniemożliwia obserwację jamek lub w najlepszym przypadku zmniejsza czytelność uzyskanego obrazu struktury dyslokacyjnej /rys. 8/.

Literatura

1. Johnston W. G., Gilman J. J.: J. Appl. Phys. 30, 129, 1959
2. Stein D. F., Low J. R.: J. Appl. Phys. 31, 362, 1960
3. Choudhuri A. R., Patel J. R., Rubin L. G.: J. Appl. Phys. 33, 2736, 1962
4. Kabler M. N.: Phys. Rev. 131, 54, 1963
5. Burton W. K., Cabrera N., Frank F. C.: Phil. Trans. Roy Soc. 243, 299, 1951
6. Cabrera N.: J. Chim. Phys. 53, 675, 1956
7. Cabrera N., Levine M. N.: Phil. Mag. 1, 450, 1956
8. Pekarek L.: Czechoslovak J. Phys. 18b, 1172, 1968
9. Lizuka T.: J. Electrochem. Soc. 118, 1190, 1971
10. Cottrell A. H.: Dislocations and Plastic Flow. Oxford University Press. Oxford 1953
11. Young F. W. Jr, Wilson R.: Rev. Scient. Instrum. 32, 559, 1961
12. Rhodin T. N.: J. Appl. Phys. 21, 971, 1950
13. Young F. W. Jr, Cathcart J. N., Gwathmey A. T.: Acta Met. 4, 145, 1956
14. Young F. W. Jr: J. Appl. Phys. 32, 192, 1961
15. Livingston J. D.: Acta Met. 10, 229, 1962
16. Clarke R. C., Robertson O. S., Vere A. V.: J. Mat. Science 8, 1349, 1973
17. Buiochi C. J., Abrahams M. S.: J. Appl. Phys. 36, 2853, 1965
18. Richards J. L., Crocker A. J.: J. Appl. Phys. 31, 611, 1960
19. Reissler W.: Z. Angew. Phys. 12, 433, 1960
20. Mayer A.: Sol. State Techn. 2, 38, 1972