

## Badania doskonałości strukturalnej monokryształów SI GaAs

Ocena doskonałości strukturalnej monokryształów półizolacyjnego GaAs /SI GaAs/ jest ważnym problemem z powodu niekorzystnego wpływu defektów strukturalnych na parametry i niezawodność pracy wytwarzanych z tego materiału tranzystorów polowych i układów scalonych.

W przedstawionej pracy badano doskonałość strukturalną monokryształów SI GaAs niedomieszkowanych oraz domieszkowanych In, Cr lub V. Zastosowano nieniszczącą technikę obserwacji obrazów katodoluminescencyjnych w skaningowym mikroskopie elektronowym /SEM CL/ oraz obserwacje w mikroskopie optycznym, po ujawnieniu defektów selektywnym trawieniem chemicznym.

Monokryształy otrzymywano metodą Czochralskiego z hermetyzacją cieczową /LEC/ o kierunku wzrostu  $\langle 100 \rangle$ . Płytki do badań wycinano prostopadle do kierunku wzrostu i polerowano jednostronnie metodą mechaniczno-chemiczną w celu usunięcia warstwy uszkodzonej. Obserwacje obrazów SEMCL wykonywano w temperaturze pokojowej za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego JSM-2, detektorem był fotopowielacz z katodą Si. Stosowano energię wiązki elektronów  $30+40$  keV. Do selektywnego trawienia chemicznego ujawniającego defekty strukturalne stosowano roztwór AB [1]. Obserwacje ujawnionych defektów wykonywano za pomocą mikroskopu optycznego z kontrastem Nomarskiego.

Kolejne zestawy fotografii przedstawiają przykłady obrazów defektów obserwowanych w płytkach z monokryształów SI GaAs niedomieszkowanych oraz domieszkowanych różnymi pierwiastkami.

Na rys. 1 podano zestawienie przykładów obrazów SEMCL /rys. 1a,b,c/ oraz z mikroskopu optycznego /rys. 1d,e,f/, po selektywnym trawieniu w roztworze AB w płytce z niedomieszkowanego monokryształu SI GaAs / $\rho \sim 6,3 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ / przy brzegu /rys. 1a,d/ i w środkowej części płytki /rys. 1b,c,e,f/. /Poziome białe linie są związane z szumami w układzie detekcji promieniowania CL/.

Obydwie techniki ujawniają, że defekty strukturalne występują w kompleksach tworząc tzw. "ścianki komórek", granice niskokątowe oraz w postaci pojedynczych dyslokacji, szczególnie widocznych wewnątrz komórek. Ku środkowi płytki wzrastała wielkość "komórek" i zmniejszała się ilość dyslokacji występujących pojedynczo jak i zgrupowanych w "ściankach komórek". Technika SEMCL ujawnia niejednorodności w strukturze krystalicznej dzięki zmianom w intensywności promieniowania CL, w zależności od koncentracji domieszki, zanieczyszczeń oraz z powodu istnienia defektów strukturalnych. Kompleksy defektów w "ściankach komórek" dają odwrócony kontrast obrazów CL /jasne obszary defektów na ciemnym tle/, pojedyncze dyslokacje wewnątrz komórek dają zwykły kontrast /ciemne obszary na jaśniejszym tle/.

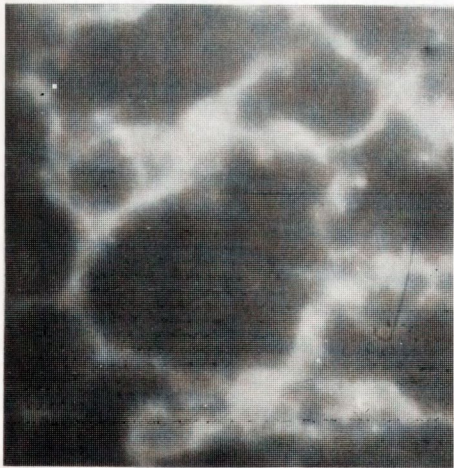
Bardziej subtelne badanie defektów tworzących "ścianki komórek" sugerują, że tworzy je sieć dyslokacji udekorowanych mikrowydzieniami i otoczonych atmosferą zanieczyszczeń oraz defektów punktowych [2,3,4,5]. Odwrócony kontrast obrazów SEMCL w SI GaAs jest wyjaśniany zmianami w nieradiacyjnym czasie życia przez segregację defektów EL2 [4].

Obrazy w mikroskopie optycznym po selektywnym trawieniu pozwalają na ocenę, że "ścianki komórek" są rozległymi obszarami o zmniejszonej szybkości trawienia, z widocznymi subtelnymi zagłębieniami. Pojedyncze dyslokacje wewnątrz "komórek" wytrawiają się w postaci wzniesień o rozciągłości wskazującej na położenie dyslokacji w stosunku do powierzchni.

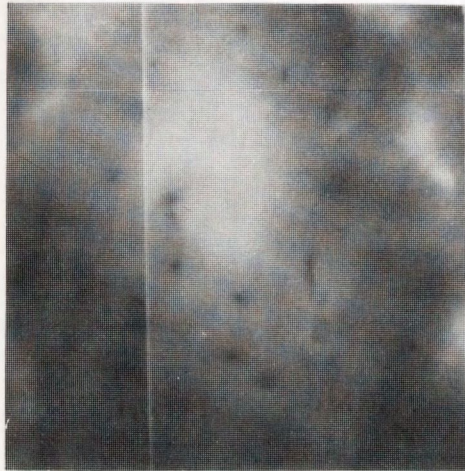
Na rys. 2 podano podobne zestawienie obrazów defektów uzyskiwanych przy badaniu płytki z monokryształu SI GaAs:In / $\rho \sim 3,1 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ /. Zarówno obrazy SEMCL /rys. 2a,b,c/ jak i po selektywnym trawieniu /rys. 2d,e,f/ ujawniają istnienie skupisk defektów w postaci pasm poślizgu o kierunkach  $\langle 110 \rangle$  oraz pojedynczych dyslokacji w środkowej części płytki /rys. 2e,f/ a także między pasmami defektów, przy brzegu płytki /rys. 2a,b,d,e/. Kompleksy defektów w pasmach wytrawiają się w postaci rozległych wzniesień z subtelnymi zagłębieniami oraz tworzą odwrócony kontrast obrazów CL. Pojedynczym dyslokacjom widocznym ze zwykłym kontrastem CL, wytrawiającym się w postaci wzniesień, często towarzyszą płytce jamki trawienia odpowiadające mikrowydzieniom.

Na rys. 3 podano przykłady obrazów mikrostruktury w SI GaAs:Cr. Obserwowano również "komórkowy" rozkład defektów, ścianki "komórek" miały mniej rozbudowaną formę. Odwrócony kontrast obrazów CL miały tylko defekty występujące w "ściankach komórek" przy brzegu płytki /rys. 3a/. Obrazy mikroskopowe po selektywnym trawieniu wskazują, że ścianki komórek w środkowej części płytki tworzą układy pojedynczych dyslokacji /rys. 3e,f/.

Na rys. 4 zestawiono przykłady obrazów obserwowanych defektów strukturalnych w płytce z monokryształu SI GaAs:V / $\rho \sim 2,5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ /. .



a



c



e



b

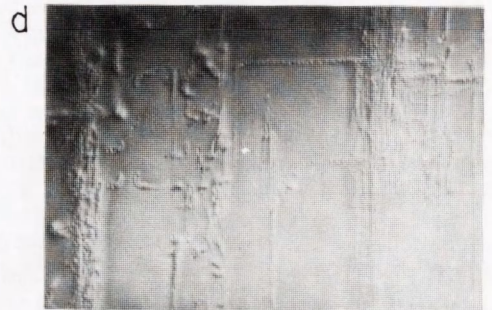
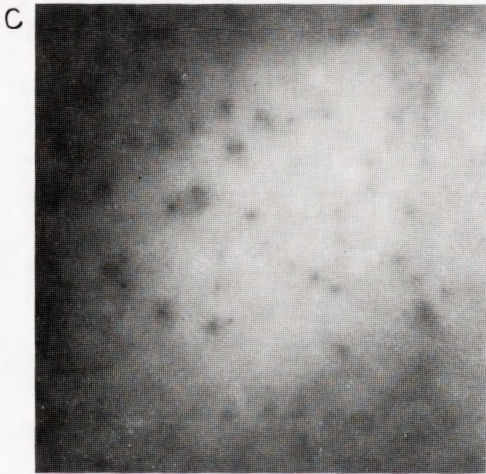
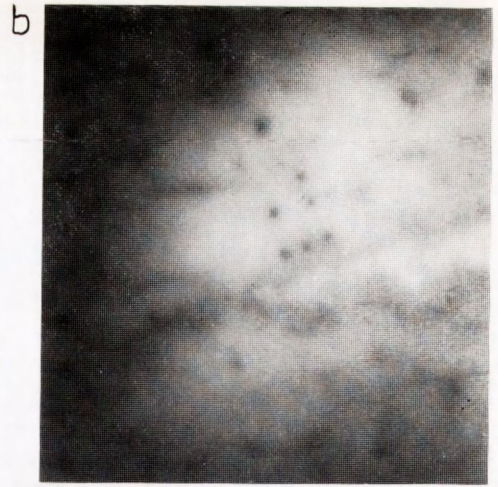
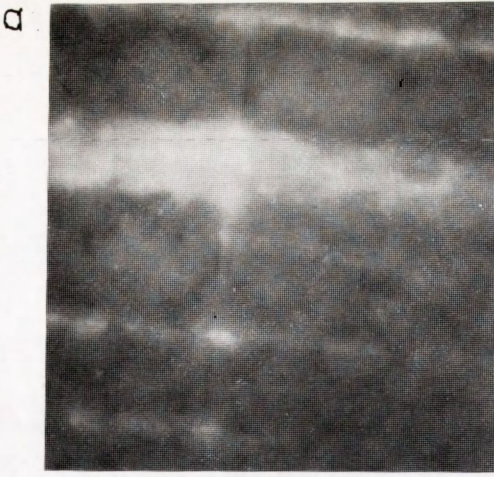


d

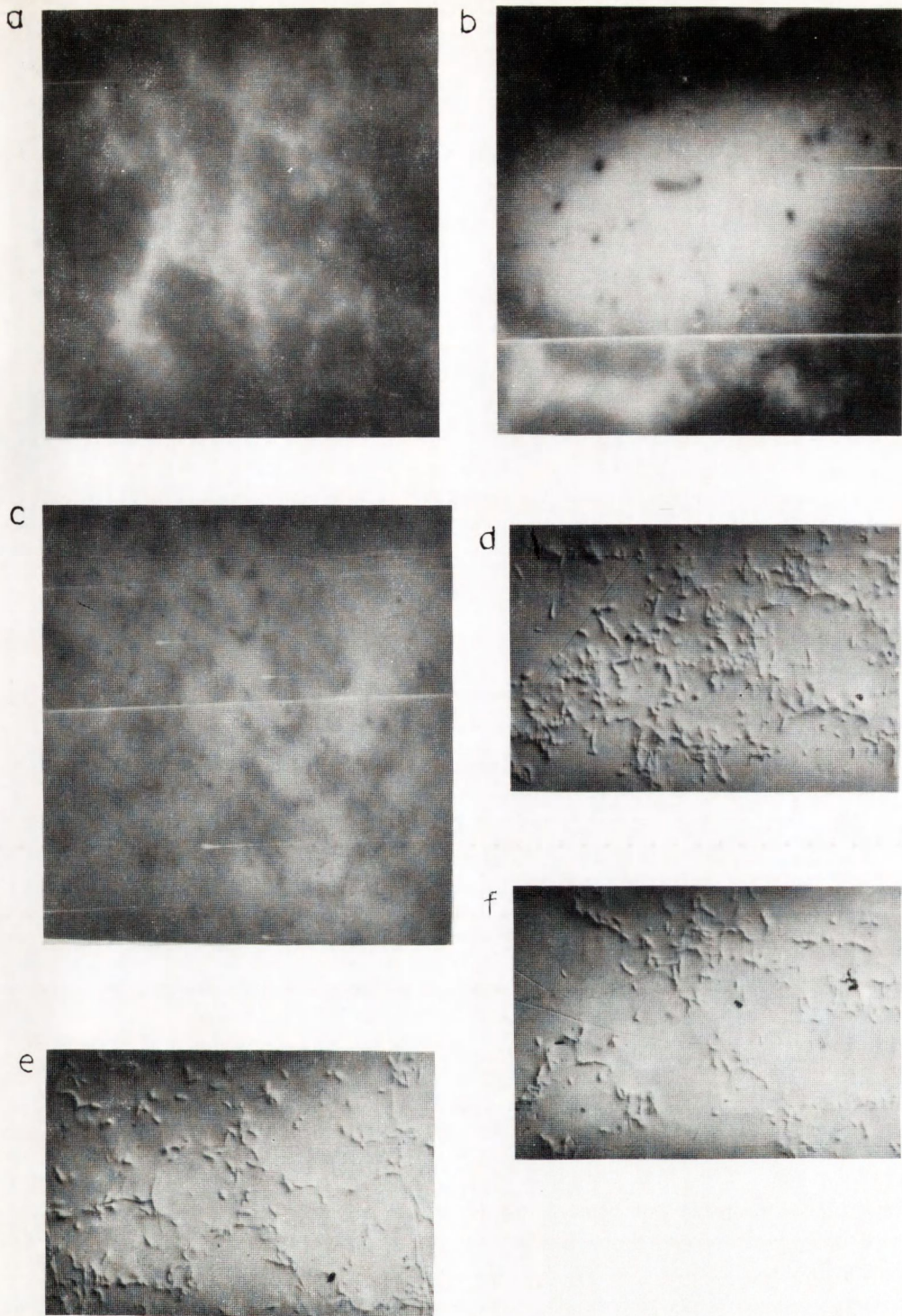


f

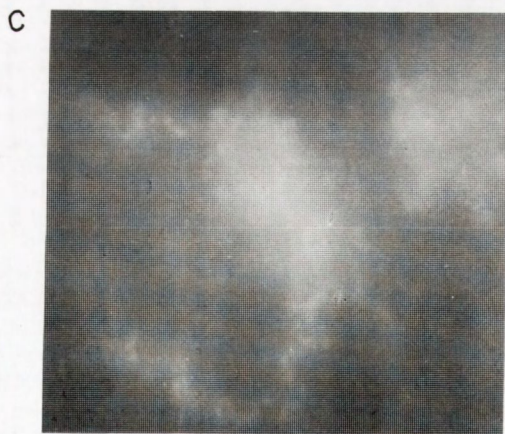
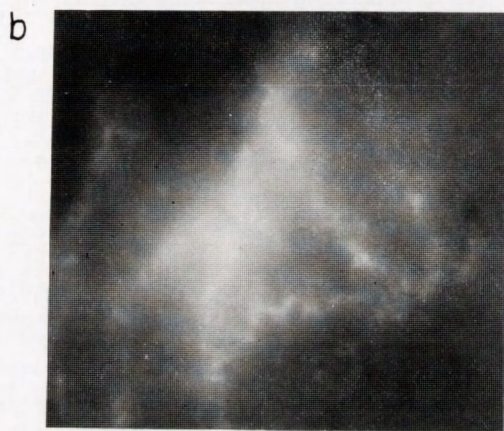
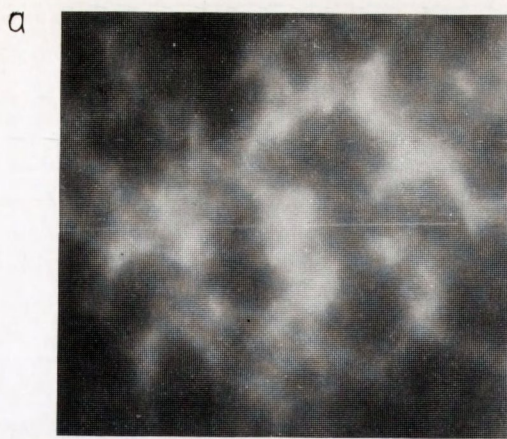
Rys. 1. Przykłady obrazów defektów strukturalnych w płytce niedomieszkowanego monokryształu Si GaAs  
a,b,c - obrazy CL, d,e,f - obrazy w mikroskopie optycznym po selektywnym trawieniu w roztworze AB,  
/a,d - brzeg płytki, b,c,e,f - środkowa część płytki. Naniesione skale odpowiadają 100  $\mu\text{m}$ /



Rys. 2. Przykłady obrazów defektów strukturalnych w płytce z monokryształu SI GaAs:In  
a,b,c - obrazy CL, d,e,f. - obrazy w mikroskopie optycznym po selektywnym trawieniu w roztworze AB /a,b,d,e - obszary brzegowe płytki, c,f - środkowa część płytki. Naniesione skale odpowiadają 100  $\mu\text{m}$ /



Rys. 3. Przykłady obrazów defektów strukturalnych w płytce z monokryształu SI GaAs:Cr  
 a,b,c - obrazy CL, d,e,f - obrazy w mikroskopie optycznym po selektywnym trawieniu w roztworze AB /a,d - brzeg płytki, b,c,e,f - środkowy obszar płytki. Naniesione skale odpowiadają 100  $\mu\text{m}$ /



Rys. 4. Przykłady obrazów defektów strukturalnych w płytce z monokryształu SI GaAs:V  
a,b,c - obrazy CL, d,e,f - obrazy w mikroskopie optycznym po selektywnym trawieniu w roztworze AB /a,d - brzeg płytki, b,c,e,f - obszar środkowy płytki. Naniesione skale odpowiadają 100  $\mu\text{m}$ /

Defekty również były zgrupowane w "ściankach komórek", obrazy CL wykazywały odwrócony kontrast, jednakże stopień zagęszczenia defektów był niższy /w "ściankach komórek" widoczne pojedyncze jasne plamki/. Obrazy po trawieniu wskazują, że skupiska defektów wytrawiają się w postaci szerszych wzniesień z drobnymi zagłębieniami, pojedyncze dyslokacje są widoczne w postaci subtelnych wzniesień, Ogólnie obserwowano niższą wydajność CL.

#### Wnioski:

- zastosowane techniki pozwalają na ujawnianie defektów strukturalnych występujących w monokryształach SI GaAs zarówno niedomieszko- wanych jak i domieszkowanych różnymi pierwiastkami - IN, Cr, V;
- uzyskiwane obrazy pozwalają na ocenę rodzaju oraz rozkładu defektów na powierzchni płytek;
- niska wydajność procesów katodoluminescencyjnych w SI GaAs w temperaturze pokojowej zmusza do stosowania wyższej energii wiązki elektronów /30-40 keV,  $I=10^{-6}$  A/, dlatego obrazy CL w porównaniu do innych materiałów półprzewodnikowych mają niższy kontrast i gorszą zdolność rozdzielczą. Z tego powodu obrazy z nieniszczącej techniki CL są uzupełniane informacjami uzyskiwanymi po selektywnym trawieniu chemicznym. Technika obrazów CL daje informacje nie tylko o rozkładzie dyslokacji ale też o niejednorodnościach rozkładu zanieczyszczeń domieszki i defektów punktowych w postaci obszarów o zwykłym i odwróconym kontraście.

Niniejsza praca była przedstawiona w formie plakatu na "8-th International Summer School Defects in Crystals", Szczyrk 22-29 maja 1988 r.

#### LITERATURA

1. Abrahams M.S., Buiocchi C.J., J. Appl. Phys., vol. 36 /1965/, 2855
2. Weyher J.L., Van de Ven J., J. Cryst. Growth, vol. 78 /1986/, 191
3. Zielińska-Rohozińska E., J. Cryst. Growth, vol. 87 /1988/, 154
4. Brown G.T., Warwick C.A., J. Electrochem. Soc., vol. 133 /1986/, 2576
5. Kamejima T., Shimura F., Matsumoto Y., Watanabe H., Matsui I., Jap. J. Appl. Phys., vol. 21 /1982/, L 721