

## GŁĘBOKIE CENTRA DEFEKTOWE W WARSTWIE CZYNNEJ TRANZYSTORÓW MESFET

<sup>\*</sup>)Paweł Kamiński, Lech Dobrzański, Roman Kozłowski

Przeprowadzono badania głębokich centrów defektowych w warstwie czynnej tranzystorów MESFET, wytwarzanej poprzez bezpośrednią implantację jonów  $\text{Si}^+$  do podłoża z półizolującego GaAs. Określono temperaturowe zależności szybkości emisji elektronów oraz wyznaczono poziomy energetyczne i przekroje czynne na wychwyty. Opracowano metodykę pomiaru rozkładu koncentracji głębokich centrów w warstwach implantowanych.

### WPROWADZENIE

Tranzystor polowy typu MESFET jest podstawowym elementem czynnym nowoczesnych układów scalonych z GaAs. Parametry robocze tego przyrządu są jednak silnie zależne od właściwości cienkiej warstwy czynnej, która wytwarzana jest najczęściej poprzez bezpośrednią implantację  $\text{Si}^+$  do półizolującego GaAs. W wyniku procesu implantacji oraz następującej po nim obróbki termicznej powstaje odpowiedni profil rozkładu koncentracji elektronów. Głębokie centra defektowe w warstwie implantowanej pochodzą głównie z materiału wyjściowego, którego właściwości półizolujące otrzymywane są poprzez wprowadzanie rodzimych defektów EL2, a także poprzez domieszkowanie chromem lub wanadem. Z drugiej strony nie wszystkie defekty sieci powstałe w procesie implantacji zanikają wskutek obróbki termicznej [1,2]. Ponadto, obróbka termiczna, polegająca na szybkim grzaniu i studzeniu materiału, może zakłócać stechiometrię warstwy czynnej i generować dodatkowe defekty punktowe [3,4].

Głębokie centra defektowe mają wielce niekorzystny wpływ na pracę tranzystora MESFET. Są one źródłem szumów, a w szczególności szumu generacyjno - rekombinacyjnego [5, 6], oraz przyczyną występowania takich zjawisk jak anomalne charakterystyki statyczne [7...9], częstotliwościowa dyspersja transkonduktancji [10, 11] i pasożytnicze sprzężenia pomiędzy różnymi tranzystorami umieszczonymi na tym samym podłożu [12...14]. Tak więc, kontrola właściwości i koncentracji głębokich centrów w warstwie czynnej tranzystorów MESFET jest bardzo ważna z punktu widzenia uzysku superszybkich układów scalonych z GaAs.

Celem niniejszej pracy było opracowanie metodyki badania głębokich centrów defektowych w warstwie czynnej tranzystora MESFET. Zakres prac obejmował zaprojektowanie i wykonanie fotomasek umożliwiającą wytworzenie diod testowych, wykonanie nowego uchwytu pomiarowego do spektrometru DLS-81, przeprowadzenie pomiarów widm DLTS dla wybranych próbek oraz opracowanie metodyki wyznaczania rozkładu koncentracji głębokich centrów w warstwach implantowanych. Badania głębokich centrów przeprowadzono za pomocą sterowanego komputerem zestawu pomiarowego, umożliwiającego również pomiar charakterystyk pojemnościowo - napięciowych i wyznaczanie profilu rozkładu koncentracji większościowych nośników ładunku.

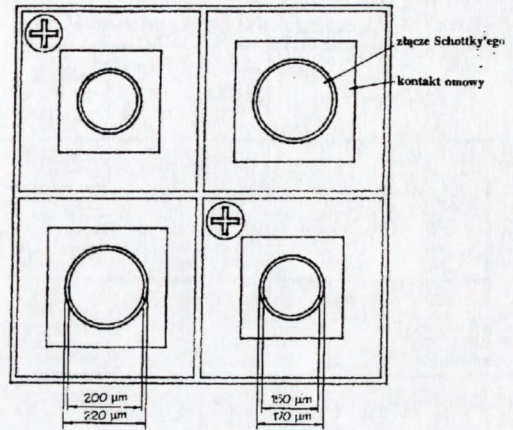
## METODYKA PRZYGOTOWANIA PRÓBEK

Próbki do badań głębokich centrów defektowych były w postaci diod Schottky'ego, wytwarzanych technologią planarną na warstwie implantowanej. Zaprojektowano i wykonano fotomaski umożliwiające wytwarzanie dwóch rodzajów diod, których pojemność warstwy ładunku przestrzennego przy zerowej polaryzacji wynosi  $\sim 20\text{pF}$  oraz  $\sim 40\text{pF}$ . Oporność szeregową próbek była równa  $\sim 2\Omega$ . Kształt złącza Schottky'ego oraz kształt metalizacji kontaktu omowego ilustruje rys. 1.

Cienką warstwę typu n o koncentracji elektronów  $\sim 2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  wytwarzano w półizolującym GaAs poprzez implantację jonów  $\text{Si}^+$  o energii 150keV. Dawka jonów wynosiła  $3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ . Powierzchnię warstwy implantowanej, której grubość wynosiła  $\sim 0.2\mu\text{m}$ , zabezpieczano poprzez nałożenie warstwy  $\text{SiO}_2$  metodą PECVD. Grubość warstwy tlenku wynosiła 250nm. Aktywację implantowanej domieszki przeprowadzano metodą RTP w temperaturze 850°C w czasie 35s.

Po usunięciu warstwy ochronnej  $\text{SiO}_2$  nanoszono wielowarstwową metalizację kontaktu omowego. Grubości poszczególnych warstw: AuGe (12%, eutektyka), Ni, AuGe (12%) i Au wynosiły odpowiednio 37nm, 10nm, 20nm i 80nm. Wzór metalizacji omowej wytwarzano za pomocą fotolitografii odwrotnej. Metalizację wtapiano w piecu RTP w temperaturze  $400^\circ\text{C}$ . Czas wtapiania wynosił 1 minutę.

Po wtopieniu metalizacji omowej wykonano fotolitografię pod złącze Schottky'ego a następnie naporowano warstwę Cr o grubości 30nm oraz warstwę Au o grubości 400nm. Płytkę z wykonanymi diodami Schottky'ego cięto na struktury piłą diamentową. Pojedyncze struktury przyklejano pastą EPOTEK do przepustów typu TO-18 a następnie, metodą ultrakompresji, wykonywano połączenia drutem aluminiowym o średnicy  $25\mu\text{m}$ .



Rys. 1

Projekt fotomaski zastosowanej do wytwarzania diod Schottky'ego, służących do badania głębokich centrów defektowych w warstwach implantowanych.

## WYNIKI BADAŃ

### MATERIAŁY WYJŚCIOWE

Implantację Si przeprowadzono do płytek pochodzących z trzech półizolujących monokryształów GaAs wyciąganych metodą Czochralskiego w kierunku  $\langle 100 \rangle$ . Kryształy te charakteryzowały się zbliżonymi parametrami elektrycznymi chociaż ich właściwości półizolujące otrzymane zostały w różny sposób. Parametry elektryczne materiałów wyjściowych, wyznaczone na podstawie pomiarów hallowskich, zestawiono w tabeli 1.

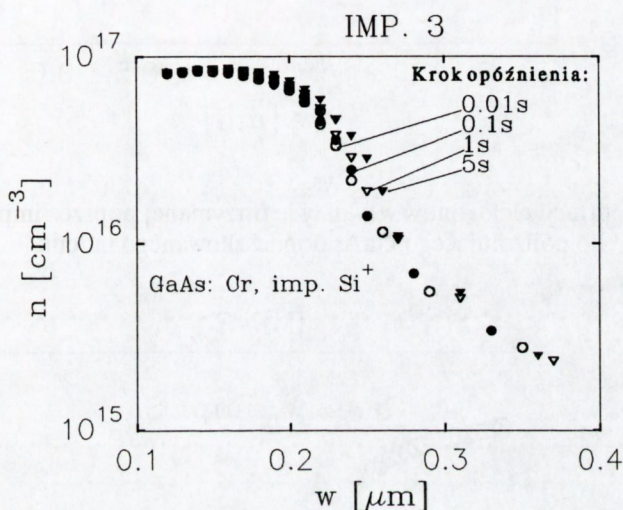
Tabela 1. Zestawienie parametrów elektrycznych półizolujących kryształów GaAs, z których przygotowano płytki do wytworzenia warstw implantowanych.

Lp.	Domieszka	Nr kryształu	$\rho$ [ $\Omega\text{cm}$ ]	$\mu$ [ $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ]	$n$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	Płaszczyzna
1	In	1090	$3,8 \times 10^7$	2800	$3,1 \times 10^7$	I
			$4,4 \times 10^7$	3000	$5,4 \times 10^7$	II
2	V ( $\text{V}_2\text{O}_5$ )	1114	$1,5 \times 10^7$	3600	$1,16 \times 10^8$	I
			$2,5 \times 10^7$	3420	$7,31 \times 10^7$	II
			$3,36 \times 10^7$	3150	$5,9 \times 10^7$	III
3	Cr	967	$9,8 \times 10^7$	3500	$1,4 \times 10^7$	I
			$1,4 \times 10^8$	3800-4000	$6,2 \times 10^6$	I

W przypadku GaAs domieszkowanego ( $\sim 2\%$ ) In właściwości półizolujące materiału powstają dzięki obecności głębokich centrów EL2, które są głębokimi donorami i kompensują płytkie akceptory związane z obecnością węgla w stopionym GaAs. Ind jako domieszka izowalencyjna jest nieaktywny elektrycznie i jego wprowadzenie służy wyłącznie zmniejszeniu gęstości dyslokacji. Koncentracja centrów EL2 zależna jest od stechiometrii stopionego GaAs i ze wzrostem atomowej zawartości arsenu od 48 do 52% wzrasta od  $\sim 5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  do  $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  [15]. W półizolującym GaAs:V oprócz centrów EL2 występują również głębokie centra wprowadzane przez wanad. Głębokie poziomy związane z wanadem nie zostały dotychczas dokładnie zbadane. Znany jest donorowy poziom [16]  $E_c - 0,22 \text{eV}$ . Obserwowane są również pułapki elektronowe, charakteryzujące się energią aktywacji w zakresie  $0,74 \dots 0,77 \text{eV}$  [17,18]. Nie stwierdzono jednak czy pułapki te pochodzą od centrów EL2 czy też związane są z atomami wanadu. Można przypuszczać, że centra EL2 w znacznym stopniu są odpowiedzialne za właściwości półizolujące GaAs:V [17]. W przypadku GaAs domieszkowanego chromem właściwości półizolujące powstają w wyniku kompensacji płytkich donorów przez atomy chromu w stanie ładunkowym  $\text{Cr}^{2+}$ , które są głębokimi akceptorami.

## ROZKŁADY KONCENTRACJI ELEKTRONÓW

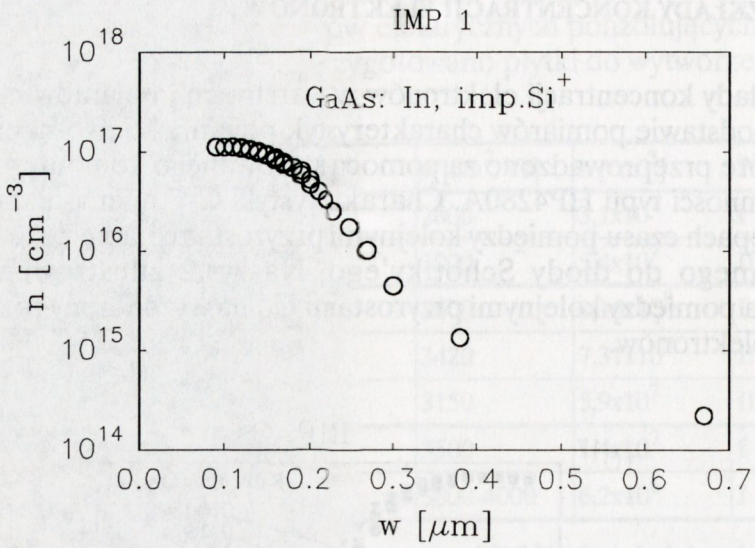
Rozkłady koncentracji elektronów w warstwach implantowanych określono na podstawie pomiarów charakterystyk pojemnościowo-napięciowych (C-V), które przeprowadzono za pomocą sterowanego komputerowo miernika pojemności typu HP4280A. Charakterystyki C-V mierzone były w różnych odstępach czasu pomiędzy kolejnymi przyrostami napięcia wstecznego, przykładanego do diody Schottky'ego. Na rys.2 zilustrowano wpływ opóźnienia pomiędzy kolejnymi przyrostami  $U_R$  na wyznaczony rozkład koncentracji elektronów.



Rys. 2

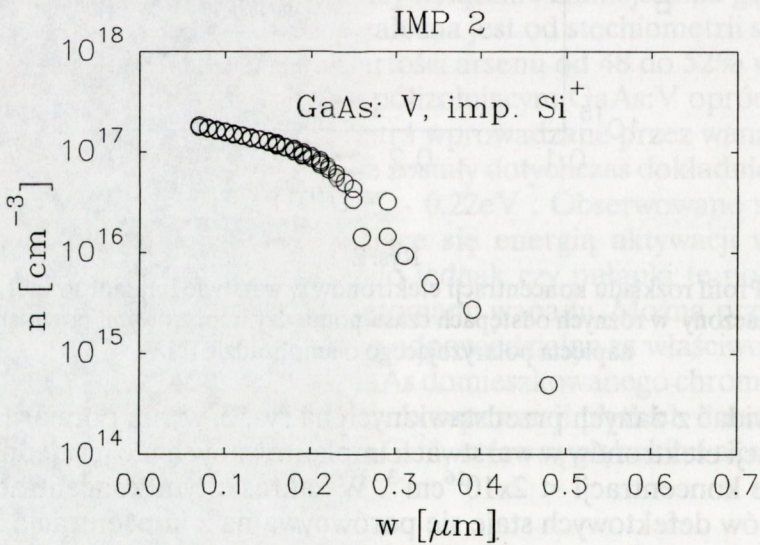
Profil rozkładu koncentracji elektronów w warstwie implantowanej wyznaczony w różnych odstępach czasu pomiędzy impulsowymi przyrostami napięcia polaryzującego o amplitudzie 0,1V.

Jak widać z danych przedstawionych na rys. 2, wynik pomiaru rozkładu koncentracji elektronów w warstwach implantowanych nie jest jednoznaczny w zakresie koncentracji  $< 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ . W zakresie tym koncentracja głębokich centrów defektowych staje się porównywalna z koncentracją  $\text{Si}_{\text{Ga}}$ . Niejednoznaczny wynik koncentracji elektronów spowodowany jest termiczną emisją elektronów z głębokich centrów, która wywołuje relaksację pojemności w temperaturze pokojowej. Najdokładniejsze wartości koncentracji elektronów w warstwach implantowanych otrzymywane są wówczas, kiedy



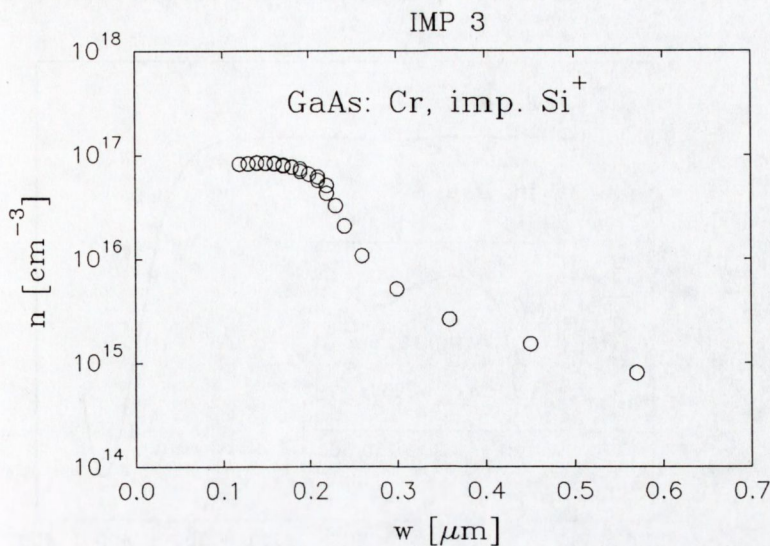
Rys. 3

Rozkład koncentracji elektronów w warstwie otrzymanej poprzez implantację Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs domieszkowanego indem.



Rys.4

Rozkład koncentracji elektronów w warstwie otrzymanej poprzez implantację Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs domieszkowanego wanadem.



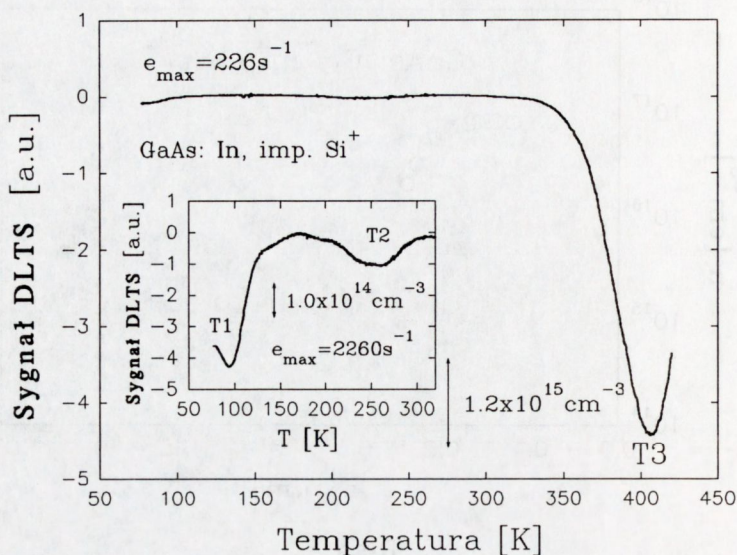
Rys.5

Rozkład koncentracji elektronów w warstwie otrzymanej poprzez implantację Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs domieszkowanego chromem.

pomiar charakterystyk C-V przeprowadzono przy możliwie krótkich opóźnieniach pomiędzy kolejnymi przyrostami  $U_R$ . W tych warunkach czas pomiaru jest znacznie krótszy od stałej czasowej relaksacji pojemności warstwy ładunku przestrzennego. Przykładowe rozkłady koncentracji elektronów w warstwach otrzymanych w wyniku implantacji Si<sup>+</sup> do płytek z różnych półizolujących monokryształów GaAs przedstawiono na rys. 3, rys. 4 i rys. 5. Rozkłady te, typowe dla warstwy czynnej tranzystora MESFET, wyznaczono na podstawie charakterystyki C-V zmierzonej przy opóźnieniach pomiędzy przyrostami  $U_R$  równych 0,01s.

### WIDMA DLTS

Widma DLTS mierzono za pomocą spektrometru DLS-81 połączonego z komputerowym systemem automatycznej rejestracji i przetwarzania danych. Na rys.6 przedstawiono typowe widmo DLTS dla warstwy powstałej w wyniku implantacji Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs:In.



Rys.6

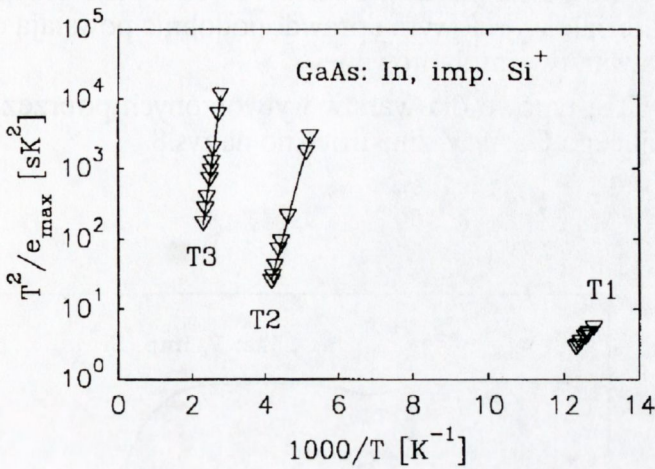
Typowe widmo DLTS dla warstwy otrzymanej poprzez implantację Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs:In; napięcie wsteczne  $U_R = -1.5 \text{ V}$ , amplituda impulsu zapełniającego  $U_1 = 1.25 \text{ V}$ , czas trwania impulsu zapełniającego  $\tau = 50 \mu\text{s}$ . Wstawka ilustruje powiększony fragment widma w zakresie 80-300K zmierzony przy  $\tau = 10 \mu\text{s}$ .

Jak wynika z danych przedstawionych na rys. 6, w warstwie implantowanej, wytworzonej na podłożu półizolującego GaAs:In obserwowane są trzy głębokie centra defektowe oznaczone jako T1, T2 i T3. Koncentracja dominujących centrów T3 wynosi około  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , zaś koncentracja centrów T1 i T2 jest równa odpowiednio  $\sim 4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  i  $\sim 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ .

Temperaturowe zależności odwrotności szybkości emisji elektronów wyznaczone dla centrów T1, T2 i T3 przedstawiono na rys.7.

Na podstawie zależności pokazanych na rys.7 określono wartości energii aktywacji  $E_a$  i pozornego przekroju czynnego na wychwytywanie elektronów  $\sigma_a$  dla poszczególnych głębokich centrów defektowych. Wartości te zestawione zostały w tabeli 2.





Rys.7

Wykresy Arrheniusa dla głębokich centrów T1, T2 i T3 wykrytych w warstwie otrzymanej w wyniku implantacji Si<sup>+</sup> do półzolującego GaAs:In. Linie ciągłe zostały dopasowane metodą regresji liniowej do punktów eksperymentalnych.

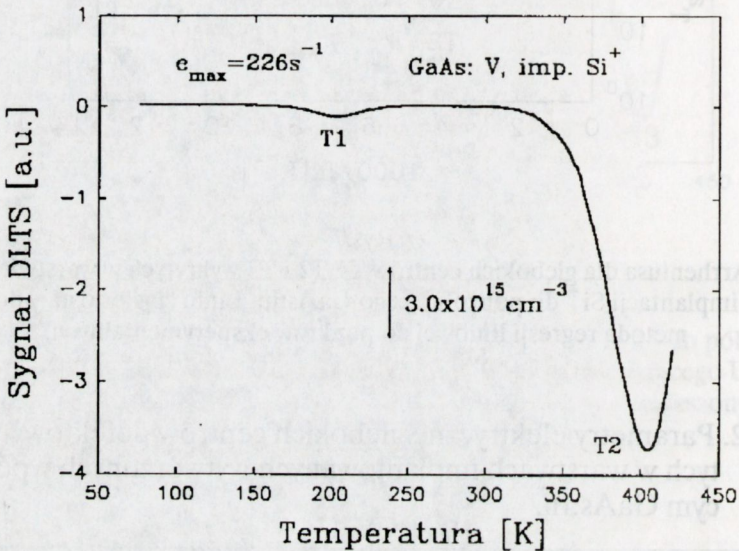
Tabela 2. Parametry elektryczne głębokich centrów defektowych wykrytych w warstwach implantowanych wytworzonych w półzolującym GaAs:In.

Pułapka	E <sub>a</sub> [eV]	σ <sub>a</sub> [cm <sup>2</sup> ]	Uwagi
T1	0,12	4,8x10 <sup>-14</sup>	
T2	0,38	1,8x10 <sup>-14</sup>	
T3	0,76	2,2x10 <sup>-14</sup>	Centra EL2

Dominującymi centrami defektowymi w warstwach wytworzonych poprzez implantację Si<sup>+</sup> do półzolującego GaAs:In są centra T3, których energia aktywacji wynosi 0.76eV i jest zgodna z cytowanymi w literaturze wartościami energii aktywacji centrów EL2 w warstwie czynnej tranzystora MESFET [19, 20]. Należy dodać, że energia aktywacji centrów EL2 w GaAs:In o koncentracji elektronów ~ 2x10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>, nie poddany procesowi implantacji, jest większa i wynosi 0.81eV [21]. Fakt ten może być spowodowany wpływem silnego pola elektrycznego, które w warstwie czynnej o kon-

centracji donorów  $> 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  przewyższa  $2 \times 10^5 \text{V/cm}$ , na szybkość emisji elektronów z centrów EL2 [22, 23]. Centra T1 i T2 trudno przyporządkować defektom w materiale wyjściowym i prawdopodobnie powstają one w procesie wytwarzania warstwy implantowanej.

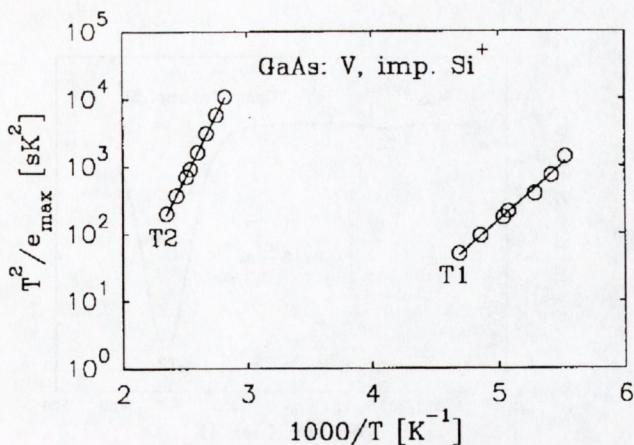
Widmo DLTS, typowe dla warstw utworzonych poprzez implantację  $\text{Si}^+$  do półzolującego GaAs:V, zilustrowano na rys.8.



Rys.8

Widmo DLTS typowe dla warstw implantowanych utworzonych w półzolującym GaAs:V; napięcie wsteczne  $U_R = -2 \text{V}$ , amplituda impulsu zapełniającego  $U_1 = 1.5 \text{V}$ , czas trwania impulsu zapełniającego  $\tau = 50 \mu\text{s}$ .

W warstwach tych zaobserwowano dwie pułapki oznaczone na rys.8 jako T1 i T2. Koncentracja dominujących centrów T2 jest rzędu  $\sim 6 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$  zaś koncentracja centrów T1 wynosi około  $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ . Temperaturowe zależności odwrotności szybkości emisji wyznaczone dla centrów T1 i T2 przedstawiono na rys.9.



Rys.9

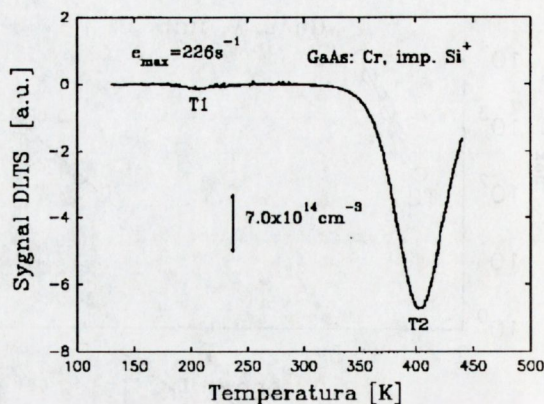
Wykresy Arrheniusa dla głębokich centrów T1 i T2 występujących w warstwach otrzymanych w wyniku implantacji Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs:V.

Wartości energii aktywacji i pozornego przekroju czynnego na wychwyty elektronów dla centrów T1 i T2 zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry elektryczne głębokich centrów defektowych wykrytych w warstwach implantowanych wytworzonych w półizolującym GaAs:V.

Pułapka	$E_a$ [eV]	$\sigma_a$ [cm <sup>2</sup> ]	Uwagi
T1	0,34	$4,7 \times 10^{-15}$	Wykryte także w warstwach wytworzonych w GaAs:Cr
T2	0,75	$1,5 \times 10^{-14}$	Prawdopodobnie centra EL2

Parametry elektryczne centrów T2 są w granicach błędu pomiaru równe parametrom centrów T3 wykrytym w warstwach otrzymanych w GaAs:In. Tak więc, centra T2 są prawdopodobnie centrami EL2 pochodzącymi z materiału wyjściowego. Centra T1 mogą być centrami EL6, które występują zarówno w materiałach wyjściowych jak i w warstwach implantowanych [1, 21]. Tak więc, centra T1 mogą być wprowadzane poprzez materiał wyjściowy lub być generowane w procesie wytwarzania warstwy implantowanej.



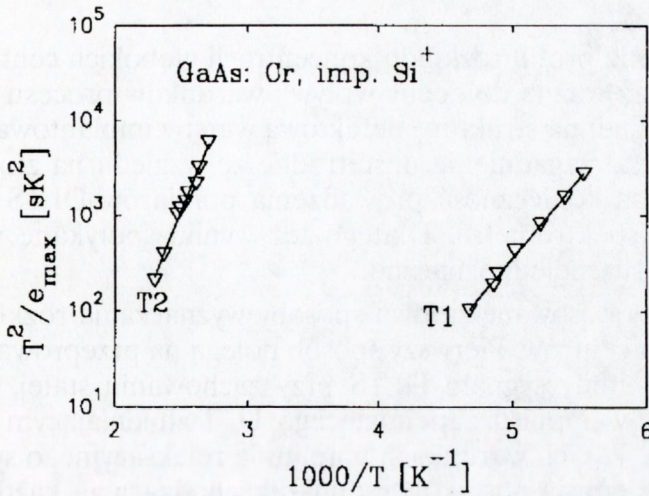
Rys.10

Widmo DLTS typowe dla warstw implantowanych wytworzonych w półizolującym GaAs:Cr; napięcie wsteczne  $U_R = -2.5V$ , amplituda impulsu zapełniającego  $U_1 = 0.5V$ , czas trwania impulsu zapełniającego  $\tau = 50\mu s$ .

Na rys.10 przedstawiono widmo DLTS typowe dla warstw wytworzonych poprzez implantację  $Si^+$  do półizolującego GaAs:Cr. W warstwach tych wykryto dwie pułapki elektronowe oznaczone jako T1 i T2. Koncentracja centrów T1 wynosi  $\sim 7 \times 10^{13} cm^{-3}$  zaś koncentracja centrów T2 jest w przybliżeniu równa  $3 \times 10^{15} cm^{-3}$ . Temperaturowe zależności odwrotności szybkości emisji elektronów charakterystyczne dla centrów T1 i T2 ilustruje rys.11. Wartości energii aktywacji oraz pozornego przekroju czynnego na wychwytywanie elektronów dla centrów T1 i T2 występujących w warstwach otrzymanych w wyniku implantacji  $Si^+$  do półizolującego GaAs:Cr zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Parametry elektryczne głębokich centrów defektowych wykrytych w warstwach implantowanych wytworzonych w półizolującym GaAs:Cr.

Pułapka	$E_a$ [eV]	$\sigma_a$ [ $cm^2$ ]	Uwagi
T1	0,33	$3,3 \times 10^{-15}$	Wykryte także w warstwach wytworzonych w GaAs:V.
T2	0,69	$2,1 \times 10^{-15}$	Centra związane z Cr.



Rys.11

Wykresy Arrheniusa dla głębokich centrów defektowych wykrytych w warstwach implantowanych wytworzonych w półizolującym GaAs:Cr.

Dominujące centra T2 związane są z obecnością chromu w materiale wyjściowym. Pułapki elektronowe w GaAs:Cr nie zostały dotychczas w pełni zbadane. W pracy [24] wykryto w domieszkowanym chromem objętościowym GaAs poziom  $E_c - 0.72\text{eV}$ . W warstwie czynnej tranzystora MESFET obserwowano poziom  $E_c - 0.64\text{eV}$  [20]. Parametry elektryczne centrów T1 (0.33eV) są w granicach błędów pomiaru zgodne z parametrami centrów T1 (0.34eV), występującymi w warstwach wytworzonych w GaAs:V. Tak więc, centra T1 (0.33eV) są prawdopodobnie również centrami EL6, które mogą pochodzić z materiału wyjściowego lub być wprowadzane w procesie wytwarzania warstwy implantowanej.

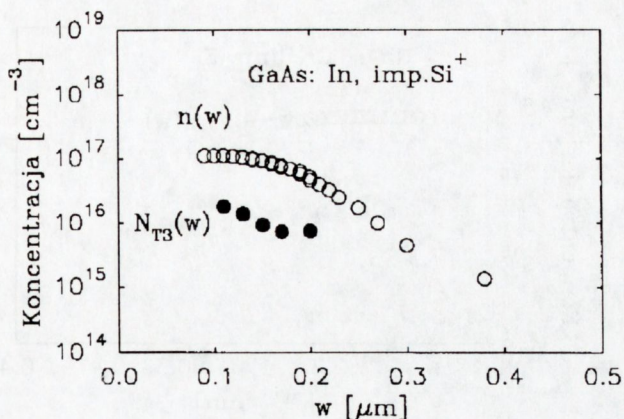
**ROZKŁADY KONCENTRACJI GŁĘBOKICH CENTRÓW**

Wyznaczanie profili rozkładu koncentracji głębokich centrów defektowych jest bardzo ważne do oceny wpływu warunków procesu implantacji i obróbki termicznej na strukturę defektową warstw implantowanych. Z drugiej strony jest to zagadnienie dość trudne ze względu na złożoną analizę teoretyczną oraz konieczność prowadzenia pomiarów DLTS przy bardzo dużej czułości spektrometru. Dlatego też wyniki spotykane w literaturze [1, 2, 25] są często niejednoznaczne.

Najczęściej stosowane są dwa sposoby wyznaczania rozkładu koncentracji głębokich centrów. Pierwszy sposób polega na przeprowadzeniu cyklu pomiarów amplitudy sygnału DLTS przy zachowaniu stałej, dostatecznie małej, amplitudy impulsu zapełniającego  $U_1$  i zmieniającym się napięciu wstecznym  $U_R$ . W tych warunkach amplituda relaksacyjnego sygnału  $\Delta C(t)$  związana jest z emisją nośników ładunku zachodzącą za każdym razem w innym, niewielkim, obszarze warstwy ładunku przestrzennego, którego szerokość określona jest wielkością napięć  $U_R$  i  $U_1$ . Drugi sposób polega na wykonaniu cyklu pomiarów sygnału DLTS przy stałym, możliwie dużym, napięciu wstecznym  $U_R$  i użyciu pary impulsów zapełniających, których zmienna amplituda różni się o określoną wielkość  $\delta U_1$ . Relaksacyjna zmiana pojemności związana jest wówczas z obszarem warstwy zaporowej, którego szerokość wynika z różnicy amplitud impulsów zapełniających.

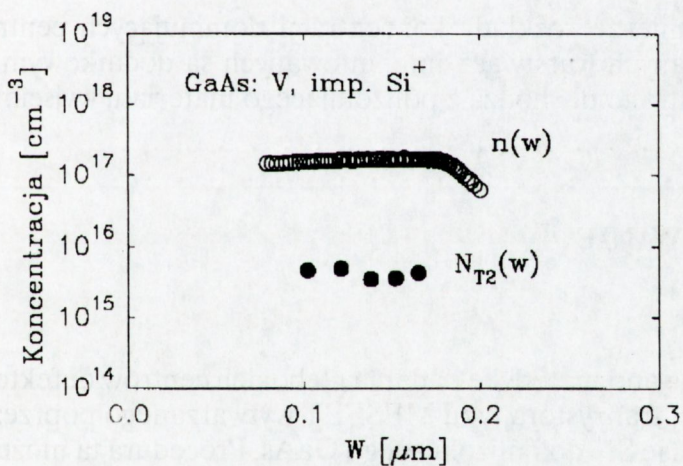
W ramach niniejszej pracy sprawdzono obie procedury pomiarowe [26] i stwierdzono, że pierwszy z wymienionych sposobów jest bardziej precyzyjny ze względu na większą dokładność określania efektywnej szerokości obszaru warstwy ładunku przestrzennego, w którym występuje emisja nośników ładunku.

Rozkłady koncentracji dominujących głębokich centrów wykrytych w warstwach wytworzonych poprzez implantację  $Si^+$  do płytek z różnych półizolujących kryształów GaAs: GaAs:In, GaAs:V i GaAs:Cr przedstawiono na rys.: 12, 13 i 14.



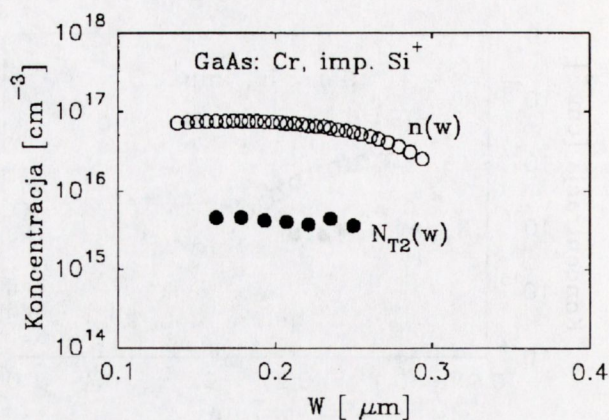
Rys.12

Profil rozkładu koncentracji elektronów oraz rozkładu koncentracji centrów T3 (0.76eV) w warstwie implantowanej, wytworzonej w GaAs:In;  $U_R$  w zakresie od -2V do -0.4V,  $U_1=0.4V$ .



Rys.13

Profil rozkładu koncentracji elektronów oraz rozkładu koncentracji centrów T2 (0.75eV) w warstwie implantowanej, wytworzonej w GaAs:V;  $U_R$  w zakresie od -2.5V do -0.5V,  $U_1=0.5V$ .



Rys.14

Profil rozkładu koncentracji elektronów oraz rozkładu koncentracji centrów T2 (0.69eV) w warstwie implantowanej, wytworzonej w GaAs:Cr;  $U_R$  w zakresie od -2V do -0.3V,  $U_1=0.3V$ .

Równomierne rozkłady koncentracji dominujących centrów defektowych w badanych warstwach implantowanych są dodatkowym potwierdzeniem, że centra te pochodzą z półizolującego materiału wyjściowego.

## PODSUMOWANIE

Opracowano metodykę badania głębokich centrów defektowych w warstwie czynnej tranzystora typu MESFET wytwarzanego poprzez bezpośrednią implantację Si<sup>+</sup> do półizolującego GaAs. Procedura ta może być również zastosowana do badania głębokich centrów w warstwach czynnych, wytwarzanych w procesie epitaksji MBE lub MOCVD.

Opracowanie metodyki stwarza także możliwość badania wpływu właściwości i koncentracji głębokich centrów w warstwie czynnej na charakterystyki szumów tranzystora MESFET.



Przeprowadzono badania głębokich centrów w warstwach implantowanych wytworzonych w różnego typu półzolujących kryształach GaAs: GaAs:In, GaAs:V i GaAs:Cr. Określono temperaturowe zależności szybkości emisji elektronów i wyznaczono poziomy energetyczne oraz pozorne przekroje czynne na wychwyty elektronów. Dominujące centra defektowe w warstwach implantowanych pochodzą od materiału wyjściowego, do którego celowo je wprowadzano, w celu kompensacji płytkich domieszek. W warstwach wytworzonych w GaAs:In i w GaAs:V dominują centra EL2, charakteryzujące się energią aktywacji  $E_a = 0.76 \pm 0.01$  eV. Koncentracja tych centrów wynosi odpowiednio  $\sim 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  i  $\sim 6 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ . W warstwach wytworzonych w GaAs:Cr dominują pułapki elektronowe związane z chromem ( $E_a = 0.69 \pm 0.01$  eV), których koncentracja jest rzędu  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ .

Opracowano procedurę wyznaczania profilu rozkładu koncentracji głębokich centrów defektowych w warstwach implantowanych. Wyznaczono profile rozkładu koncentracji dla dominujących centrów defektowych, pochodzących z półzolującego GaAs. Równomierne rozkłady koncentracji tych centrów potwierdzają prawidłowość działania zastosowanej procedury.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Lee H.S., Cho H.Y., Kim E.K., Min S., Kang T.W. and Hong C.Y.: Deep levels in Si-implanted and rapid thermal annealed semi-insulating GaAs. *J. Electron. Materials*, 20,1991,2,203
- [2] Allsopp D.: The nature of damage-related deep levels in  $^{29}\text{Si}^+$ -ion-implanted GaAs annealed using pulses of intense incoherent light. *Semicond. Sci. Technol.*1987,2,129
- [3] Chen S., Lee S.T., Braunstein G. and Ko K.Y. : Distribution mechanism of voids in Si-implanted GaAs. *J. Appl. Phys.* 1991,70, 656
- [4] Lee J.L., Wei L., Tanigawa S., Nakagawa T., Ohta K., Lee Y. : The effects of point defects on the electrical activation of Si-implanted GaAs during rapid thermal annealing. *IEEE Trans. Electron Devices* 39, 1992,1,176
- [5] Ren L., Baucour P., Hooge F.N., Luthjens L.H., Leijns M.R. : Low-frequency noise in electron irradiated n-GaAs epitaxial layers. *J. Appl. Phys.* 1993,73, 2180

- [6] Folkes P.A.: Fluctuating deep-level trap occupancy model for 1/f noise in semiconductor resistors, *J. Appl. Phys.* 68, 6279 (1990)
- [7] Lo S.H.: Numerical analysis of the looping effect in GaAs MESFET's. *IEEE Trans. Electron Devices* 39, no.1992, 2, 242
- [8] Son I., Tang T.W.: Modeling deep-level trap effects in GaAs MESFET's. *IEEE Trans. Electron Devices* 36,1989,4, 632
- [9] Lee M., Forbes L.: A self-backgating GaAs MESFET model for low-frequency anomalies. *IEEE Trans. Electron Devices* 37, 1990,10, 2148
- [10] Wallis R.H., Faucher A., Pons D., Jay P.R.: Surface and bulk traps in GaAs MESFETs. *Inst. Phys. Conf. Ser.* 1985,74, 287
- [11] Blight S.R., Wallis R.H. and Thomas H.: Surface influence on the conductance DLTS spectra of GaAs MESFET's. *IEEE Trans. Electron Devices* ED-33,1986,10, 1447
- [12] Kocot C., Stolte C.: Backgating in GaAs MESFET's. *IEEE Trans. Electron Devices* ED-29 1982,7, 1059
- [13] Goto N., Ohno Y., Yano H.: Two-dimensional numerical simulation of side-gating effect in GaAs MESFET's. *IEEE Trans. Electron Devices* 37, 1990,8, 1821
- [14] Smith F.W., Calawa A.R., Chen L., Manfra M.J., Mahoney L.J.: New MBE buffer used to eliminate backgating in GaAs MESFET's. *IEEE Electron Device Lett.* 9, 1988,2, 77
- [15] Holmes D.E., Chen R.T., Elliot K.R., Kirkpatrick C.G.: Stoichiometry-controlled compensation in liquid encapsulated Czochralski GaAs. *Appl. Phys. Lett.* 40, 46 1982
- [16] Milnes A.G.: *Deep Impurities in Semiconductors*. London: John Wiley & Sons 1973
- [17] Akiyama M., Kawarada Y., Kaminishi K.: Growth of vanadium-doped semi-insulating GaAs by MOCVD. *J. Crystal Growth* 68,39 1984
- [18] D'Irenzo J.V. and Khandelwal D.D. (editors): *GaAs FET Principles and Technology*. Bell Telephone Laboratories Inc. 1982
- [19] Sriram S., Das M.B.: Characterization of electron traps in ion-implanted GaAs MESFET's on undoped and Cr-doped LEC semi-insulating substrates. *IEEE Trans. Electron Devices* ED-30, 1983,6, 586
- [20] Bisbee J. E., Halder N.C.: Activation energy and distribution function of the EL2 defect level in Si-implanted GaAs. *Phys. Status Solidi A* 119,1990,545
- [21] Kamiński P., Niziński Z., Materna A.: Deep levels in indium-doped GaAs, *Acta Physica Polonica* A77, 1990,331
- [22] Dobaczewski L.: Anisotropy and isotropy of electric field effects for the EL2 and E3 defects in GaAs. *Materials Science Forum* 38-41, 1989,113
- [23] Halder N.C., Misra V.: Energy splitting of EL2 level in Si-implanted GaAs/GaAs by field-effect deep-level transient spectroscopy. *J. Appl. Phys.* 73 (3),1992, 1309

P. Kamiński, L. Dobrzański...

- [24] Martin G.M., Mitonneau A. , Mircea A. : Electron traps in bulk and epitaxial GaAs crystals. Electronics Letters 13, 1977,7, 191
- [25] Allsopp D. , Peaker A.R., Thrush E.J., Wale-Evans G.: Distribution of deep levels in the GaAs layers of GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As heterostructures grown by MOCVD. J. Crystal Growth 1984,68,295
- [26] Kozłowski R. : Pomiar rozkładu koncentracji głębokich centrów defektowych w strukturach półprzewodnikowych. Praca Dyplomowa Inżynierska, PW Wydział Elektroniki, 1993