

Badanie metodą ESR półizolacyjnych kryształów GaAs i InP naświetlanych elektronami

1. WSTĘP

Arsenek galu i fosforek indu są najbardziej perspektywicznymi materiałami z grupy związków półprzewodnikowych $A_{III}B_V$. Mają one szereg specyficznych własności: strukturę pasmową z prostą przerwą energetyczną, dużą ruchliwość elektronów, dobre charakterystyki termofizyczne. Dzięki tym własnościom półprzewodniki te są stosowane w optoelektronice, w przyrządach mikrofalowych oraz w wielu układach mikroelektronicznych. Obecnie na bazie arsenku galu wytwarza się znaczną ilość tranzystorów polowych i układów scalonych.

W USA przewiduje się, że w 1990 roku układy scalone z GaAs będą stanowiły 30+35% wszystkich układów scalonych.

Stosowanie arsenku galu na układy scalone pozwala uzyskiwać przyrządy szybko działające, znacznie obniżające pobór energii.

Przodujące firmy prowadzą obecnie intensywne badania w kierunku opracowania układów scalonych o dużej skali integracji na bazie arsenku galu oraz układów scalonych na bazie fosforu indu. Do wytwarzania układów scalonych i tranzystorów polowych jako materiał wyjściowy jest stosowany półizolacyjny arsenek galu i fosforek indu. Warstwę aktywną uzyskuje się na drodze epitaksji lub implantacji. Implantację przeprowadza się bezpośrednio do półizolacyjnego materiału lub do warstwy buforowej. Najbardziej progresywną techniką wytwarzania aktywnych elementów jest stosowanie selektywnej implantacji w poszczególne okienka. W procesie implantacji w materiale powstają defekty radiacyjne, a stosowanie obróbki termicznej nie prowadzi do całkowitej anihilacji defektów radiacyjnych. W zależności od jakości materiału wyjściowego mogą powstawać różnego rodzaju kompleksy o głębokich poziomach, które w znacznym stopniu wpływają na działanie elementów.

W niniejszej pracy badano metodą ESR i Foto-ESR defekty powstające w GaAs i InP pod wpływem naświetlania elektronami o energii 6 MeV.

2. DANE EKSPERYMENTALNE

Przeprowadzone w pracy pomiary ESR zostały wykonane na typowym spektrometrze na pasmo X z modulacją 100 kHz. Przepływowy układ kriogeniczny firmy Oxford Instruments zapewniał pomiary w zakresie od 4,2 do 300 K.

Pomiary rezonansowego widma ESR wykonywano także podświetlając próbkę światłem z zakresu bliskiej podczerwieni, używając do tego celu żarówki halogenowej o mocy 250 W oraz zestawu filtrów interferencyjnych.

W pracy badano próbki wycięte z dwóch kryształów GaAs, typ p domieszkowany Cd, oraz wysokooporowy $/10^6 \Omega \cdot \text{cm}/$, domieszkowany Cr, oraz z dwóch kryształów InP:Fe: pierwszy /No 48/ z $n \approx 4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ i $\rho = 9 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ i drugi /No 63/ z $n = 2 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$ i $\rho = 2 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$. Próbki były naświetlane w akceleratorze EL6 /Inst. Tech. Radiacyjnej, Politechnika Łódzka/ w ciągu 6 godzin. Otrzymałą dawkę oszacowano jako $10^{18} \text{ e cm}^{-2}$. Podczas naświetlania próbki były mocowane za pomocą pasty srebrnej na bloku chłodzonym wodą.

3. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary ESR we wszystkich badanych próbkach GaAs naświetlanych elektronami wykazały obecność w widmie rezonansowym czterech charakterystycznych linii związanych z defektem antystrukturalnym typu "antisite", As_{Ga}^+ . Widmo to może być opisane hamiltonianem spinowym:

$$\mathcal{H} = g \mu_B H S + A S J + \sum S T J$$

Pierwszy wyraz opisuje rozczepienie zeemanowskie dla spinu elektronowego S /struktura subtelna/, drugi wyraz - oddziaływanie z własnym jądrem /struktura nadsubtelna/, trzeci wyraz - oddziaływanie z jądrami sąsiadów /struktura supernadsubtelna shfs/.

W naszym przypadku ze względu na dużą wartość stałej T oraz dużą szerokość linii shfs trzeci wyraz hamiltonianu możemy pominąć. Na podstawie otrzymanego widma stałe hamiltonianu dla temp. 8 K wynoszą odpowiednio:

$$S = 1/2 \quad I = 3/2 \quad g = 2,04 \pm 0,05 \quad A = 0,0940 \pm 0,005 \text{ cm}^{-1}$$

W InP defekt typu "antisite" obserwowano tylko podczas podświetlania światłem $/2 \pm 0,9 \mu\text{m}/$. Stałe widma wynoszą:

$$S = 1/2 \quad I = 1/2 \quad g = 1,98 \pm 0,05 \quad A = 0,093 \pm 0,005 \text{ cm}^{-1}$$

Ponadto w naświetlanych kryształach InP:Fe obserwowano linie kompleksu Fe-RD [1-5] /RD - efekt radiacyjny/ o symetrii trygonalnej ze stałymi:

$$S_{\text{eff}} = 1/2 g_{\parallel} = 2,052 \pm 0,015 g_{\perp} = 8,5 \pm 0,2$$

Zależności kątowe $H_{\text{rez}} = f(\theta)$ w płaszczyźnie (110) podaje rys. 1. Natężenie powyższych linii wzrastało wraz z koncentracją Fe i dawki napromieniowania. Linie te zanikały po podświetleniu próbki światłem $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ w czasie około 10 min. Równocześnie powstawały nowe linie zauważone przez T.A. Kennedy [3]. Według naszych pomiarów powyższe widmo /oznaczone próbnie przez nas jako Fe-RDi/ ma symetrię rombowa ze stałymi:

$$S_{\text{eff}} = 1/2 g_x = 11,1400 \pm 0,05 g_y = 6,074 \pm 0,05 g_z = 1,9216 \pm 0,01$$

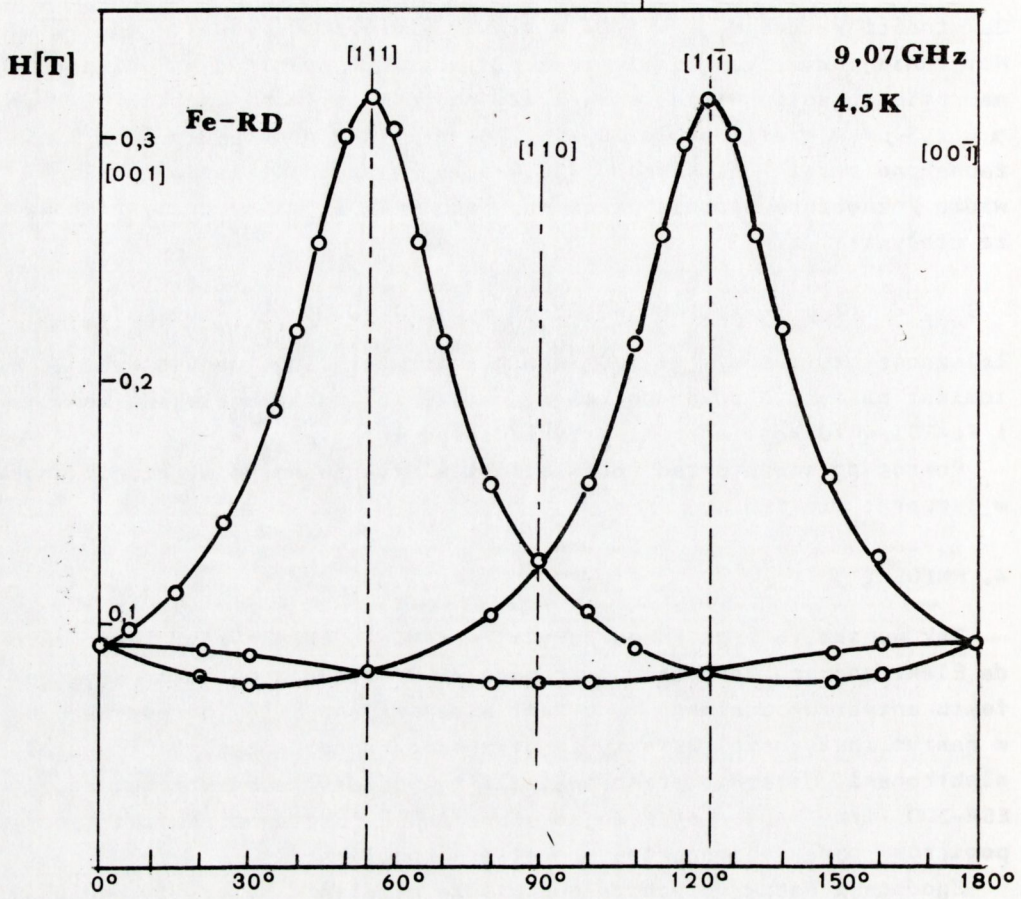
Zależności kątowe $H_{\text{rez}} = f(\theta)$ dla płaszczyzny (110) podaje rys. 2, natomiast na rys. 3 pokazano zmiany natężenia linii kompleksów Fe-RD i Fe-RDi w funkcji energii przykładanego światła.

Powrót do stanu przed podświetleniem uzyskiwano po wygrzaniu próbki w temperaturze 120 K.

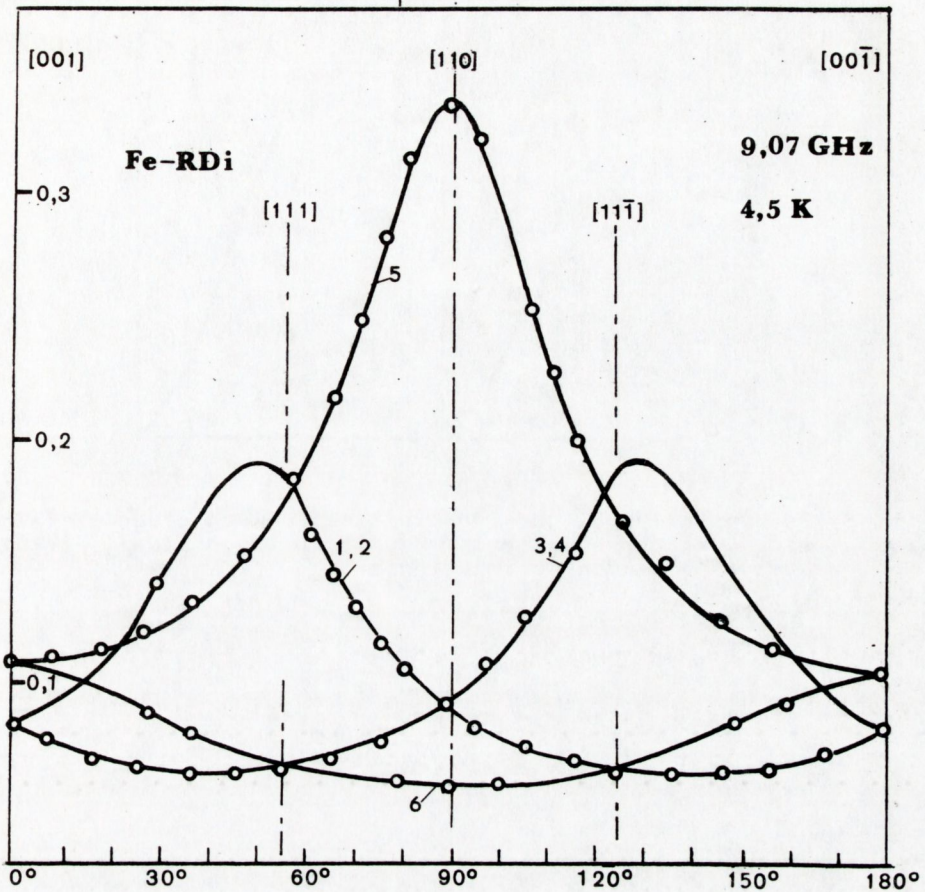
4. WNIOSKI

Jak wynika to z podanego powyżej materiału eksperymentalnego metoda Elektronowego Rezonansu Spinowego /ESR/ pozwala na obserwację defektu antystrukturalnego typu "antisite" w GaAs i InP otrzymywanych w naszym instytucie. Defekty te otrzymano napromieniowując kryształy elektronami. Ostatnio przeprowadziliśmy pomiary na spektrometrze, ESP-300 firmy Bruker, otrzymując widma As_{Ga}^+ "asgrown". Wyniki tych pomiarów będą zamieszczone w następnej publikacji.

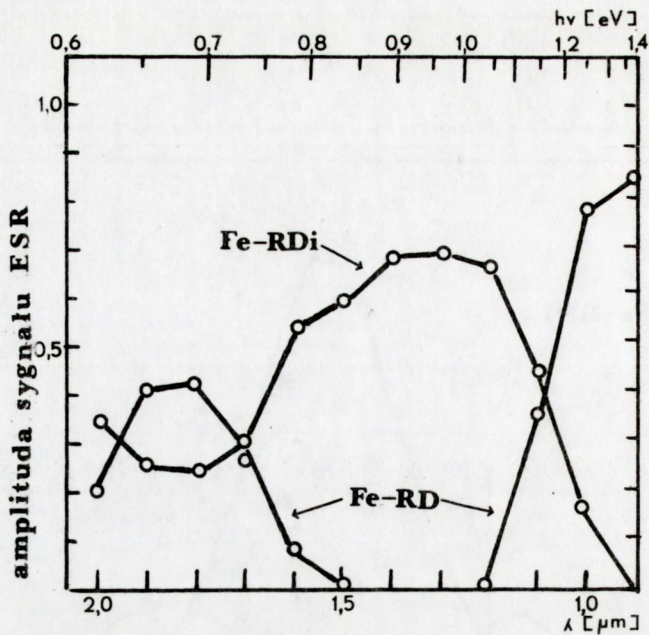
Zgodnie z naszą dotychczasową wiedzą ustalenie symetrii kompleksu Fe-RDi, otrzymanego po naświetlaniu bliską podczerwień /Foto-ESR/, oraz określenie stałych widma jest pierwszą pracą w tym zakresie. Poznanie mechanizmów wbudowywania się Fe w siatkę kryształu InP oraz identyfikacja kompleksów radiacyjnych może mieć, jak sądzimy, znaczenie nie tylko poznawcze.



Rys. 1. Zależności $H_{rez} = f/\theta$ w płaszczyźnie (110), symetria trygonalna, kółka - dane eksperymentalne, linia ciągła - przebieg teoretyczny

H [T]

Rys. 2. Zależności $H_{\text{rez}} = f/\theta$ w płaszczyźnie (110) , symetria tetragonalna, otrzymana po naświetlaniu przez 10 minut światłem $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$, kółka - dane eksperymentalne, linia ciągła - przebiegi teoretyczne



Rys. 3. Zależności amplitudy sygnału linii ESR od długości fali λ
 Fe-RD - widmo przed naświetlaniem /symetria trygonalna/, Fe-RDi -
 - widmo otrzymane wskutek naświetlania

LITERATURA

1. Kennedy T.A., Wilsey N.D., Appl. Phys. 44, /11/, 1089, /1984/
2. Kennedy T.A., Bull. Amer. Phys. Soc. 25, 326, /1980/
3. Bishop S.G. in Deep Centers In Semiconductors ed. by S.T. Pantelides /3.5/, p. 576, /1986/
4. Jabłoński R., Palczewska M. ...materiały The XVI International School On The Physics of Semiconducting Compounds, Jaszowiec-Ustroń, April, 6-12, 1987
5. Brailovskii E.Yu., Megela J.G. ...Phys. Stat. Sol. A72, K109 /1982/

/Tekst dostarczony 1988.06.06./