

SUMMARY

GROWTH OF GALLIUM ANTIMONIDE SINGLE CRYSTALS IN <111> AND <100> DIRECTIONS BY CZOCHRALSKI METHOD

The aim of this work was to find out technological conditions for growing undoped gallium antimonide (GaSb) single crystals in <111> and <100> direction. Integrated process of *in-situ* synthesis and modified

Czochralski crystal growth has been applied. The influence of charge material purity as well as other technological parameters on electrical properties of GaSb crystals was investigated. Undoped gallium antimonide single crystals were obtained with carrier concentration in the range $1\div 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and carrier mobility $600\div 700 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. First attempts of doping GaSb were made. The influence of doping (the way of doping and dopant quantity) on crystal parameters was also investigated.

Keywords: GaSb, crystal growth, doping electrical properties

WPLYW CZĄSTECZEK WODY W B_2O_3 NA WŁAŚCIWOŚCI NIEDOMIESZKOWANYCH MONOKRYSTAŁÓW InAs OTRZYMYWANYCH METODĄ CZOCHRALSKIEGO

Wacław Orłowski¹, Andrzej Hruban¹, Aleksandra Mirowska, Stanisława Strzelecka¹

¹Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919, Warszawa

e-mail: wacław.orłowski@itme.edu.pl

Opracowano warunki otrzymywania metodą Czochralskiego z hermetyzacją cieczową (Liquid Encapsulated Czochralski – LEC) bardzo czystych niedomieszkowanych monokryształów InAs typu n o ruchliwości elektronów $\mu > 22000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ i koncentracji elektronów $n < 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ w 300 K. Zbadano wpływ zawartości cząsteczek wody w topniku (B_2O_3) stosowanym do hermetyzacji stopionego wsadu na parametry elektryczne kryształów oraz na zawartość w nich domieszek resztkowych. Zbadano również wpływ czasu wygrzewania stopionego wsadu przed procesem krystalizacji na własności otrzymanych kryształów.

Słowa kluczowe: InAs, LEC, B_2O_3 , własności elektryczne

1. WSTĘP

Arsenek indu (InAs) jest związkiem półprzewodnikowym z grupy $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, który charakteryzuje się specyficznymi parametrami elektrycznymi: małą szerokością przerwy energetycznej – 0,35 eV (w porównaniu do GaP – 2,26 eV, GaAs – 1,42 eV, InP – 1,35 eV) oraz dużą ruchliwością elektronów w materiale niedomieszkowanym $\mu > 20000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

w 300 K (SI-GaAs ~ 8000 cm^2/Vs , InP ~ 4000 cm^2/Vs). Stała sieci dla InAs wynosi 6,0584 Å (GaP ~ 5,45 Å, GaAs ~ 5,65 Å, InP ~ 5,87 Å). Koncentracja samoistna nośników ładunku dla tego materiału wynosi $n_i \sim 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ w 300 K. Płytki z InAs służą jako podłoża do osadzania warstw epitaksjalnych dwu- i wieloskładnikowych (InAs, GaSb, AlSb, GaAsSb, AlAsSb, AlGaAsSb itp.), na bazie których budowane są diody tunelowe, diody Schottky'ego, tranzystory bipolarne. Arsenek indu znajduje zastosowanie m.in. w czujnikach pola magnetycznego oraz fotodetektorach na zakres promieniowania 1-3 μm .

Celem badań było opracowanie warunków otrzymywania niedomieszkowanych monokryształów InAs typu n o bardzo dobrych parametrach elektrycznych, tj. o koncentracji elektronów $n < 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ i ruchliwości $\mu \sim (22 - 24) \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Są to najwyższe parametry monokryształów InAs otrzymanych na świetle. W literaturze brak jest szerszych publikacji na temat badań warunków technologicznych otrzymywania monokryształów InAs metodą LEC. Prace badawcze związane z otrzymywaniem InAs były prowadzone w ITME [1-3]. W ITME były również prowadzone badania dotyczące warunków

otrzymywania monokryształów GaAs i InP [4] oraz GaP [5] o wysokim stopniu czystości.

Parametry elektryczne monokryształów niedomieszkowanych zależą głównie od zawartości w nich domieszek reszkowych oraz od ich struktury defektowej (centra defektowe). Zawartość domieszek reszkowych w kryształach InAs zależy od następujących czynników:

- czystości materiałów wejściowych (As, In, B_2O_3),
- parametrów technologicznych procesu krystalizacji (metody syntezy i krystalizacji, czasu trwania tych procesów, zawartości cząstek wody w topniku stosowanym do hermetyzacji itp.), które mogą powodować wprowadzanie niektórych pierwiastków do materiału lub ich uwalnianie się.

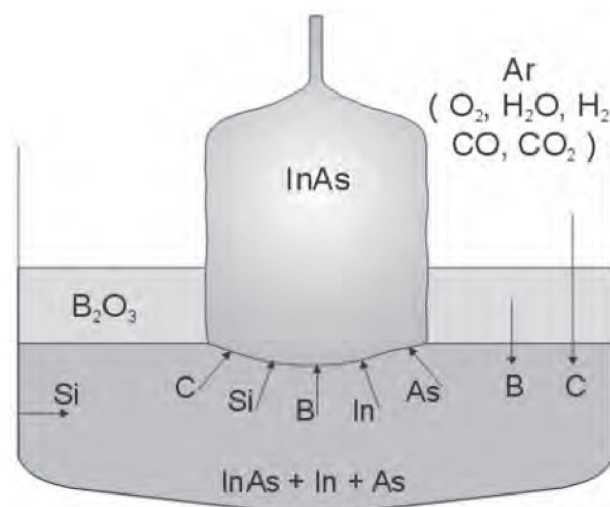
W niniejszej pracy skoncentrowano się głównie na zbadaniu wpływu niektórych parametrów procesu krystalizacji, tj. zawartości cząstek wody w B_2O_3 stosowanym do hermetyzacji metodą LEC oraz czasu trwania procesu na parametry elektryczne otrzymanych kryształów. Uwalnianie się z wsadu w czasie procesu krystalizacji niektórych pierwiastków lub ich wprowadzanie z otoczenia spowodowane jest reakcjami chemicznymi zachodzącymi w tyglu w czasie procesów syntezy i monokrystalizacji InAs. Są to reakcje pomiędzy stopionym wsadem (InAs) i materiałem tygla (SiO_2), a także reakcje zachodzące na powierzchni rozdziału InAs- B_2O_3 . Przebieg tych reakcji redukcji lub wymiany, ich kierunek i intensywność jest stymulowany zawartością cząstek wody w B_2O_3 [6].

Na podstawie analizy literatury dotyczącej otrzymywania bardzo czystych, o wysokich parametrach elektrycznych związków $A^{III}B^V$ można stwierdzić, że dotychczasowe badania prowadzone na świetle dotyczyły głównie otrzymywania Si-GaAs [6 - 8]. Brak jest publikacji dotyczących badania zjawisk zachodzących przy otrzymywaniu monokryształów InAs, GaP i InP metodą LEC.

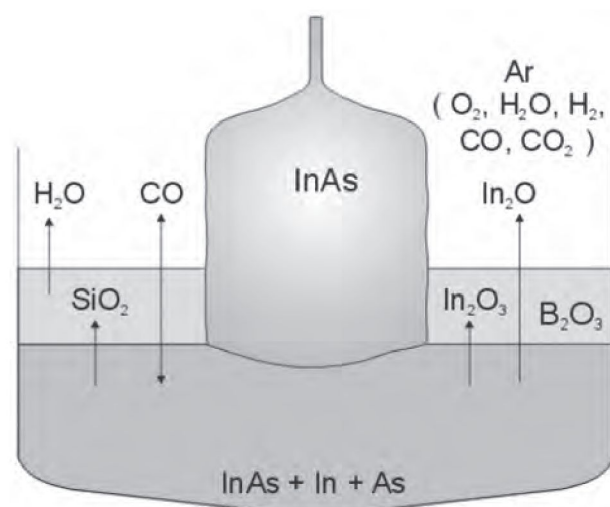
2. ANALIZA REAKCJI CHEMICZNYCH ZACHODZĄCYCH W TYGLU W TRAKCIE PROCESU KRYSTALIZACJI InAs

Analogicznie jak w przypadku otrzymywania arsenku galu [6 - 8] i GaP [5] można opisać zjawiska zachodzące w tyglu ze stopionym wsadem InAs. Na Rys. 1 przedstawione zostały możliwe sposoby

autodomieszkowania, a na Rys. 2 kierunki migracji produktów reakcji.



Rys. 1. Ilustracja warunków autodomieszkowania InAs.
Fig. 1. Illustration of auto-doping conditions in InAs.



Rys. 2. Ilustracja kierunków migracji produktów reakcji.
Fig. 2. Illustration of migration directions of reactions products.

W trakcie procesów krystalizacji InAs metodą LEC możliwe jest zachodzenie następujących reakcji:

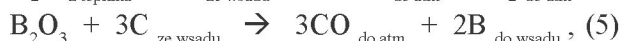
- utleniania się elementów grafitowych układu termicznego (nagrzewnik, tygiel, ekrany):



których przebieg zależy od zawartości O_2 i H_2O w atmosferze wytworzonej w komorze roboczej urządzenia (ciśnienia gazów reszkowych przed

procesem, zawartości cząsteczek wody w topniku, czystości gazu ochronnego Ar),

- reakcji zachodzących na powierzchni rozdzielu stopiony wsad-topnik:



- reakcji wsadu z materiałem tygla (przy użyciu tygli z SiO_2):



W wyniku reakcji (3) ÷ (9) może następować wprowadzanie do wsadu lub uwalnianie do atmosfery komory węgla, boru, krzemu oraz zmiana składu chemicznego wsadu (uwalnianie się In). W trakcie procesu krystalizacji wsad może się oczyszczać z innych domieszek resztkowych „R” wg schematycznej zależności:



Na podstawie badań własnych dotyczących GaAs, InP [4], GaP [5] oraz danych literaturowych dotyczących GaAs [6 - 7] można stwierdzić, że przebieg reakcji opisanych zależnościami (3) ÷ (10) zależy głównie od zawartości cząsteczek wody w B_2O_3 oraz czasu trwania procesu monokryształizacji.

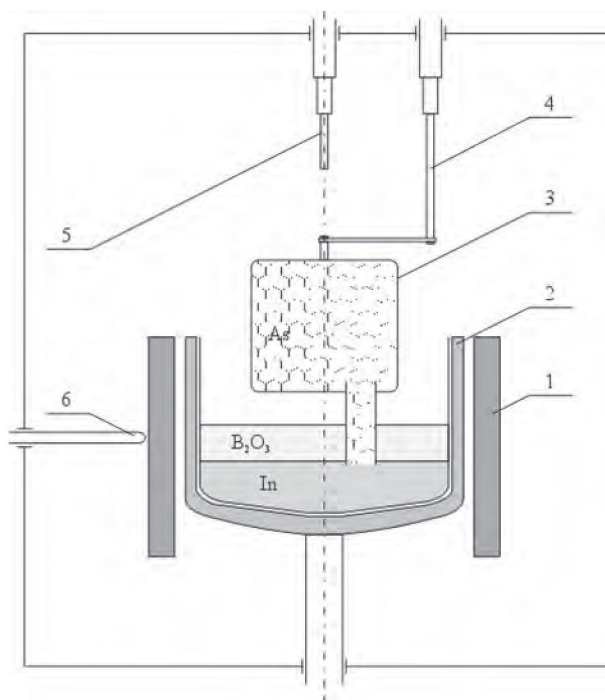
3. EKSPERYMENT

Procesy syntezy i monokryształizacji InAs prowadzone były w niskociśnieniowym urządzeniu typu GK-2. Konstrukcja urządzenia umożliwia przeprowadzenie w nim zintegrowanego procesu syntezy związku metodą iniekcyjną (wstrzykiwania par As do stopionego In) oraz procesu monokryształizacji. Przeprowadzono procesy monokryształizacji stosując wsad polikryształiczny oraz zintegrowane procesy syntezy i monokryształizacji. Schemat układu termicznego oraz procesu syntezy metodą iniekcyjną przedstawiono na Rys. 3.

Parametry procesów syntezy były następujące: tygiel kwarcowy ϕ 111 mm, arsen 7N (Furokawa Co. Ltd.) 570 g, ind 6N5 (Indium Corp.) 846 g, B_2O_3 (ITME) 220 g, ciśnienie argonu 1,0 - 1,4 bar, temperatura nagrzewnika 1250°C. Procesy monokryształizacji prowadzone były przy następujących parametrach: orientacja zarodki <100> lub <111>, prędkość obro-

towa zarodki 8 - 18 obr/min, prędkość obrotowa tygla 2-6 obr/min (obroty przeciwne do obrotów zarodki), prędkość podnoszenia zarodki 15-20 mm/h.

Czynnikami zmiennymi w procesach krystalizacji były: czas wygrzewania wsadu w tyglu po procesie



1 - nagrzewnik, 2 - tygiel, 3 - ampula z As, 4 - uchwyt ampuly, 5 - zaródź, 6 - termopara

Rys. 3. Schemat procesu syntezy InAs metodą iniekcyjną w komorze roboczej urządzenia GK-2.

Fig. 3. InAs synthesis by injection method inside the chamber of GK-2 puller.

syntezy lub po stopieniu polikryształicznego wsadu oraz zawartość cząsteczek wody w B_2O_3 (tzw. wilgotność topnika). Należy dodać, że trójtlenek boru stosowany do hermetyzacji w procesach syntezy i monokryształizacji był wytworzony w ITME wg własnej technologii [9]. Opracowane w ramach tej technologii procedury pozwalają na otrzymywanie B_2O_3 o ściśle określonej zawartości H_2O w przedziale 100-2000 ppm. Opracowano również metodę pomiaru tego parametru przy pomocy spektrofotometru korzystając z zależności między zawartością cząsteczek wody w topniku a transmitancją w obszarze fal o długości 2400-3200 nm.

Do procesów krystalizacji stosowano topnik o różnej zawartości H_2O mieszczącej się w przedziale 300-1800 ppm. Celem tych prób było znalezienie optymalnych warunków, w których zachodziłyby procesy uwalniania się z wsadu do atmosfery komory roboczej domieszek resztkowych (reakcje (4) - (5), (9) i (10)), a nie zachodziły reakcje dodatkowego

domieszkowania. Dotyczy to szczególnie krzemu (procesy w tyglach kwarcowych).

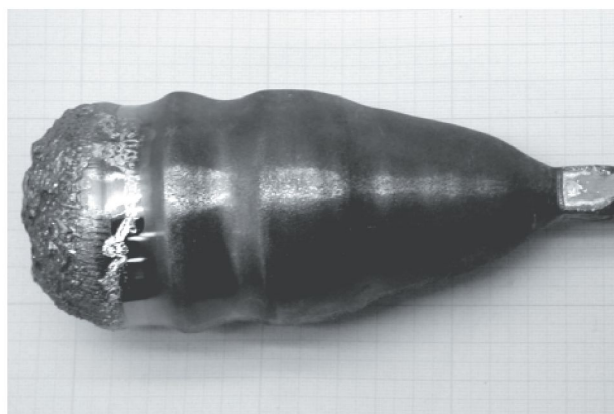
Drugim czynnikiem mogącym mieć wpływ na zmianę zawartości domieszek resztkowych, a tym samym i na parametry elektryczne materiału, jest czas wygrzewania stopionego wsadu przed procesem krystalizacji. W procesach stosowano krótki czas wygrzewania 3 - 5 h oraz długi ~24 h. Podobne badania przeprowadzone były przypadku otrzymywania monokryształów GaAs i opisane w literaturze [6 - 8].

3.1. Wyniki badań parametrów elektrycznych

Na Rys. 4 pokazano zdjęcie przykładowego monokryształu InAs otrzymanego metodą LEC. Jest to monokryształ nr 99 o orientacji <100> i ciężarze ~1400 g otrzymany w zintegrowanym procesie syntezy i monokrysztalizacji. Proces syntezy przeprowadzono metodą wstrzykiwania par arsenu do stopionego indu (Rys. 3). Defekty widoczne w dolnej części kryształu związane są ze zwiększonym nadmiarem arsenu w stopionym wsadzie w końcowej części

procesu (początkowy nadmiar arsenu w stosunku do składu stechiometrycznego wyniósł ~1%).

W Tab. 1 przedstawione zostały parametry elektryczne kryształów (rezystywność, ruchliwość i koncentracja elektronów) zmierzone na płytkach wyciętych z ich części początkowej i końcowej.



Rys. 4. Fotografia monokryształu InAs otrzymanego metodą LEC (ϕ 2").

Fig. 4. Photo of LEC grown InAs single crystal (ϕ 2").

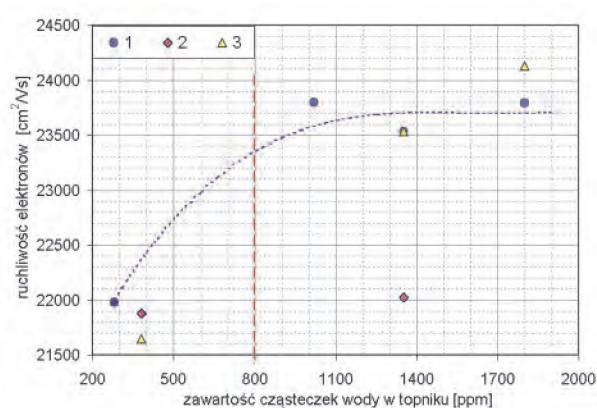
Tabela 1. Parametry elektryczne niedomieszkowanych monokryształów InAs w 300 K.

Table 1. Electrical parameters of undoped InAs single crystals in 300 K.

Nr kryszzt.	Rodzaj wsadu		Zawartość H ₂ O w topniku [ppm]		Czas wygrz. [h]	Koncentracja elektronów [cm ⁻³] w 300K	Rezystywność [Ωcm] w 300K	Ruchliwość [cm ² /Vs] w 300K
	*) ¹	czystość	przed pr.	po proc.				
74	S	As 7N In 6N5	280	bd.	4	2,21 x10 ¹⁶	1,28 x10 ⁻²	21976
75	P	kr.74	380	bd.	4	2,19 x10 ¹⁶	1,32 x10 ⁻²	21649
97	S	As 7N In 6N5	1020	400	3	2,15 x10 ¹⁶	1,22 x10 ⁻²	23800
98	S	As 7N In 6N5	1020	380	24	2,18 x10 ¹⁶	1,30 x10 ⁻²	21877
99	S	As 7N In 6N5	1350	500	24	2,14 x10 ¹⁶	1,32 x10 ⁻²	22020
100	S	As 7N In 6N5	1350	550	5	2,40 x10 ¹⁶	1,09 x10 ⁻²	23530
101	P	kr.100	1350	780	5	2,40 x10 ¹⁶	1,08 x10 ⁻²	23997
103	S	As 7N In 6N5	1800	740	5	2,05 x10 ¹⁶	1,29 x10 ⁻²	23790
105	P	kr.103	1800	1200	5	1,83 x10 ¹⁶	1,41 x10 ⁻²	24130

*)¹ P – proces z wsadu polikrystalicznego, S – zintegrowany proces syntezy i monokrysztalizacji.

Analizując wartości parametrów kryształów zamieszczone w Tab. 1 można stwierdzić istotną zależność ruchliwości elektronów od zawartości cząsteczek wody w B_2O_3 . W miarę wzrostu wilgotności topnika ruchliwość nośników wzrasta. Stosując takie same materiały wsadowe, podobny sposób prowadzenia procesu (synteza) i podobny czas wygrzewania wsadu stwierdzono wzrost ruchliwości nośników o $\sim 2000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ przy zmianie wilgotności topnika z 280 ppm (kryształ nr 74) do 1020 ppm (kryształ nr 97). Szczególnie duże zmiany w wartościach ruchliwości nośników obserwuje się przy zmianie zawartości cząsteczek wody w zakresie do 800 ppm, powyżej 1000 ppm ruchliwość pozostaje na stałym poziomie. Na podstawie otrzymanych wyników określona została zależność ruchliwości nośników w kryształach w funkcji zawartości cząsteczek wody w topniku stosowanym w procesach krystalizacji. Zależność ta została przedstawiona na Rys. 5.



Rys. 5. Zależność ruchliwości elektronów od zawartości H_2O w topniku. 1 - zintegrowane procesy syntezy i monokrystalizacji z krótkim czasem wygrzewania wsadu, 2 - zintegrowane procesy syntezy i monokrystalizacji z długim czasem wygrzewania wsadu, 3 - procesy monokrystalizacji z wsadu polikrystalicznego i krótkim czasem wygrzewania wsadu.

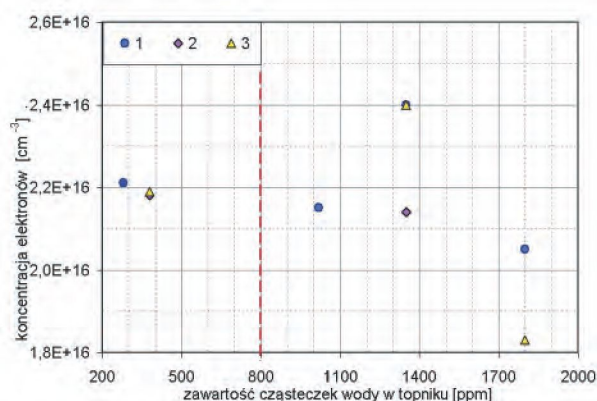
Fig. 5. Electron mobility as a function of H_2O content in the encapsulant. 1 - integrated processes of synthesis and crystallization with short charge annealing time, 2 - integrated processes of synthesis and crystallization with long charge annealing time, 3 - crystallization processes from polycrystalline material and short charge annealing time.

Podobne działanie topnika obserwuje się również przy krystalizacji z wsadu polikrystalicznego. Porównując ruchliwości nośników w kryształach nr 74 i nr 75 (kryształ nr 75 otrzymano z kryształu nr 74 z zastosowaniem topnika „suchego” – zawartość H_2O 380 ppm), stwierdzono obniżenie ruchliwości w kryształach nr 75. Przy stosowaniu „mokrego”

topnika zaobserwowano zjawisko odwrotne tzn. otrzymano kryształy o wyższej ruchliwości (porównanie parametrów kryształów nr 100 i nr 101 oraz nr 103 i nr 105). Kolejne przetapianie kryształów przy zastosowaniu „mokrego” topnika może być metodą na podwyższenie ruchliwości nośników w kryształach.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można też stwierdzić, że wydłużenie czasu wygrzewania wsadu po jego stopieniu lub po procesie syntezy ma negatywny wpływ na wartość ruchliwości nośników. Porównując parametry kryształów nr 97 i nr 98 otrzymanych w identycznych warunkach ale przy różnym czasie wygrzewania wsadu widać, że wydłużenie czasu wygrzewania z 3 do 24 godzin spowodowało obniżenie ruchliwości o $\sim 2000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Podobne zjawisko stwierdzono dla pary kryształów nr 99 i nr 100. Należy przypuszczać, że może to być związane ze zmianą składu chemicznego wsadu oraz autodomieszkowaniem atomami węgla dyfundującymi (w postaci CO) z atmosfery wytworzonej w komorze przez topnik do wsadu oraz krzemem pochodzącym z tygla kwarcowego.

Na Rys. 6 przedstawiona została zależność koncentracji elektronów w funkcji zawartości H_2O w topniku. Wraz ze wzrostem zawartości cząsteczek wody w topniku koncentracja elektronów nieznacznie maleje.



Rys. 6. Zależność koncentracji elektronów od zawartości H_2O w topniku. 1 - zintegrowane procesy syntezy i monokrystalizacji z krótkim czasem wygrzewania wsadu, 2 - zintegrowane procesy syntezy i monokrystalizacji z długim czasem wygrzewania wsadu, 3 - procesy monokrystalizacji z wsadu polikrystalicznego i krótkim czasem wygrzewania wsadu.

Fig. 6. Electron concentration as a function of H_2O content in B_2O_3 . 1 - integrated processes of synthesis and crystallization with short charge annealing time, 2 - integrated processes of synthesis and crystallization with long charge annealing time, 3 - crystallization processes from polycrystalline material and short charge annealing time.

Analizując zawartość cząsteczek wody w B₂O₃ zmierzoną przed oraz po procesie krystalizacji można stwierdzić, że w czasie procesu w topniku zmniejsza się zawartość cząsteczek wody. Prawdopodobnie cząsteczki wody są stymulatorem reakcji chemicznych (reakcje (4), (7) i (9)) zachodzących na powierzchni rozdzielu stopiony wsad-topnik.

3.2. Analiza zawartości domieszek resztkowych

W celu określenia rzeczywistej zawartości zanieczyszczeń w otrzymanych kryształach w kilku z nich wykonano analizę składu metodą spektrometrii masowej z wyladowaniem jarzeniowym (*Glow Discharge Mass Spectrometry* - GDMS). Badania wykonano na próbkach wyciętych z początków i końców kryształów. Wyniki przedstawione zostały w Tab. 2, w której zamieszczono również zawartości

domieszek resztkowych w arsenie i indzie na podstawie atestów producentów.

Z analizy danych zawartych w Tab. 2 widać, że otrzymane w trakcie badań kryształy posiadają wysoki stopień czystości. Szczególnie ważne jest to, że zawierają bardzo mało krzemu 2-7 ppb (1 ppb ~ 5x10¹³ cm⁻³ ~ 0,0000001%) pomimo krystalizacji w tyglach kwarcowych. Większa zawartość Ga i P wynika z faktu, że są to pierwiastki towarzyszące (z tej samej grupy) materiałom wejściowym In i As. Porównanie zawartości domieszek na początku i końcu kryształów wskazuje, że w trakcie procesu krystalizacji nie następuje dodatkowe autodomieszkowanie, a różnica zawartości domieszek na początku i końcu kryształów wynika z superpozycji dwóch zjawisk: procesu ekstrakcji wg reakcji (9) i (10) oraz zmiany koncentracji domieszek wynikającej ze współczynnika rozdzielu *k*.

Tabela 2. Zawartość niektórych domieszek resztkowych w otrzymanych monokryształach InAs (w ppb).

Table 2. Residual impurities content in InAs single crystals (in ppb).

Pierwiastek chemiczny	Kryształy InAs *) ¹						Arsen *) ²		Ind *) ²
	98-I	98-II	103-I	103-II	105-I	105-II	det.limit		
Si	2	7	2	6	< 2	3	50	-	< 1000
P	70	28	47	5	120	12	500	-	
S	24	28	30	35	58	73			
Cr	< 1,2	< 1,1	< 0,8	< 0,6	< 0,8	< 0,6	500	-	< 100
Mn	0,7	7	0,6	3	1,5	24	50	-	
Fe	< 0,3	0,6	< 0,4	0,7	< 0,5	1,1	50	-	300
Zn	5	11	4	11	25	85	5000	-	
Ga	< 170	< 400	< 60	< 160	< 200	< 600	500	-	
Se	< 4	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	500	-	
Cd	< 6	< 7	< 7	< 7	< 5	< 5	500	-	< 100
Sb	< 2	3	< 2	5	3	65	500	-	
Te	< 0,9	< 1,1	< 0,8	< 1	< 0,8	< 1,2	500	-	

*)¹ - metoda - GDMS (*Glow Discharge Mass Spectrometry*) – wykonane w CMK-Słowacja

*)² - metoda – spektrografia emisyjna (*Emission Spectrographic Analysis*) - wykonane przez Indium Corporation of America (dla In) oraz wykonane przez Furukawa Co. Ltd. (dla As).

W otrzymanych monokryształach sumaryczna zawartość domieszek resztkowych typu n (S, Si, Se, Te) wynosi ~40 ppb, co daje koncentrację ~1,5x10¹⁵ cm⁻³ w 300 K. Zmierzona koncentracja elektronów w otrzymanych kryształach jest na poziomie ~2x10¹⁶ cm⁻³. Różnica ta wskazuje, że koncentracja elektronów w paśmie przewodnictwa może być również związana z defektami rodzimymi wprowadzającymi płytkie poziomy donorowe, a także z jonizacją pasmo-pasmo, która w przypadku materia-

łu z wąską przerwą energetyczną (0,35 eV) zaczyna być znacząca. Koncentracja płytkich donorów istotnie wpływa na wartości ruchliwości elektronów.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają istotny wpływ koncentracji cząsteczek wody zawartej w B₂O₃ stosowanym do hermetyzacji na własno-

ści niedomieszkowanych monokryształów InAs. Na podstawie pomiaru parametrów elektrycznych kryształów oraz pomiaru koncentracji domieszek resztkowych w kryształach można stwierdzić, że intensywność reakcji chemicznych na powierzchni rozdziału stopiony wsad-topnik oraz stopiony wsad-tygiel kwarcowy jest znacznie mniejsza w porównaniu do reakcji zachodzących przy otrzymywaniu kryształów GaAs. Może to wynikać z faktu, że temperatura topnienia InAs (942 °C) jest dużo niższa w porównaniu z GaAs (1240 °C).

Szczegółowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań są następujące:

1. Stosując w procesie otrzymywania InAs materiały wejściowe o czystości 6N5 In i 7N As oraz topnik o zawartości cząsteczek wody poniżej 400 ppm, otrzymano kryształy o ruchliwości elektronów $\sim 22000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.
2. Zwiększenie zawartości cząsteczek wody w topniku do $\sim 1000 \text{ ppm}$ powoduje wzrost ruchliwości elektronów do $\sim 24000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, przy czym najbardziej intensywny wpływ wilgotności topnika na ruchliwość elektronów obserwuje się do zawartości cząsteczek wody $\sim 800 \text{ ppm}$, powyżej 1000 ppm ruchliwość nie ulega zmianie.
3. W procesach monokryształizacji z wsadu polikryształicznego stosowanie topnika o zawartości cząsteczek wody poniżej 400 ppm nie powoduje podwyższenia parametrów elektrycznych kryształów. W procesach z zastosowaniem topnika o zawartości H_2O powyżej 1000 ppm stwierdzono zwiększenie ruchliwości nośników.
4. Długi czas wygrzewania stopionego wsadu przed procesem wpływa negatywnie na parametry elektryczne otrzymanych kryształów. Wydłużenie czasu wygrzewania powoduje obniżenie ruchliwości nośników, co może być spowodowane autodomieszkowaniem (C, Si) lub zmianą składu chemicznego stopionego wsadu.

LITERATURA

- [1] Orłowski W., Hruban A., Mirowska A., Juszt S., Wolszczak M., Strzelecka S., Gładki A., Materna A., Gola H.: Opracowanie metody otrzymywania monokryształów InAs typu n i p o średnicy 2", *Sprawozdanie z pracy statutowej ITME*, 1995
- [2] Orłowski W., Hruban A., Mirowska A., Materna A., Strzelecka S., Gładki A.: Badanie przyczyn bliźniakowania monokryształów InAs, *sprawozdanie z pracy statutowej ITME*, 2000
- [3] W.Orłowski, A.Hruban, A.Mirowska, A.Materna, S.Strzelecka, W.Brzozowski, *VI Konferencja Naukowa ELTE - 1997*, Krynica

- [4] Orłowski W., Strzelecka S., Hruban A., Mirowska A., Piersa M., Materna A., Wegner E., Gładysz M., Budnik J., Dalecki W.: Badanie wpływu wilgotności topnika na własności monokryształów InP, *sprawozdanie z pracy statutowej ITME*, 1999
- [5] W.Orłowski, A.Hruban, A.Mirowska, S.Lendzion, W.Dalecki, S.Strzelecka, E.Wegner, M.Piersa, J.Budnik, L.Wójcik, Z.Gołębiowski, A.Konarski, D.Pudło, E.Rosolowska – Opracowanie warunków otrzymywania monokryształów GaP o wysokim stopniu czystości, *sprawozdanie z pracy statutowej ITME*, 2006
- [6] J.Korb, T.Flade, M.Jurisch, A.Köhler, T.Reinhold, B.Weinert, Carbon, oxygen, boron, hydrogen and nitrogen in LEC growth of SI GaAs: a thermochemical approach, *Journal of Crystal Growth* 198/199 (1999) 343-348
- [7] J.Nishio, H.Fujita, Ambient gas constituents and segregation of carbon and boron in LEC GaAs single crystals: the role of water in boric oxide encapsulants, *Journal of Crystal Growth* 134 (1993) 97-104
- [8] S.Eichler, A.Seidl, F.Borner, U.Kretzer, B.Weinert, A combined carbon and oxygen segregation model for the LEC growth of SI-GaAs, *Journal of Crystal Growth* 247 (2003) 69-76
- [9] W.Dalecki, W.Orłowski, M.Gładysz, S.Strzelecka, A.Hruban, Trójtlenek boru do krystalizacji materiałów półprzewodnikowych otrzymywanych metodą LEC, *Materiały Elektroniczne T25 nr 4* (1997) 23-33

THE INFLUENCE OF GROWTH PROCESS PARAMETERS ON PROPERTIES OF UNDOPED InAs SINGLE CRYSTALS

SUMMARY

The aim of this work was to find out technological conditions that allow obtaining high purity undoped InAs single crystals with carrier concentration below $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ and carrier mobility over $22000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Synthesis by injection method and Liquid Encapsulated Czochralski (LEC) crystal growth were applied. The influence of water content in B_2O_3 encapsulant (applied during injection synthesis and LEC growth) on electrical properties of InAs crystals and especially on dopants concentration was investigated. The influence of charge annealing duration before crystallization process on InAs crystals properties was also investigated.

Keywords: InAs, LEC, B_2O_3 , electrical properties