ZAKŁAD MIKRO- I NANOTECHNOLOGII PÓŁPRZEWODNIKÓW SZEROKOPRZERWOWYCH

Kierownik: prof. dr hab. inż. Anna PIOTROWSKA
e-mail: ania@ite.waw.pl, tel. (22) 548 79 40

Zespół: dr hab. Adam Barcz, e-mail: barcz@ite.waw.pl
mgr Michał Borysiewicz, e-mail: mbory@ite.waw.pl
mgr inż. Marek Ekielski, e-mail: ekielski@ite.waw.pl
mgr Krystyna Gołaszewska, e-mail: krystyg@ite.waw.pl
inż. Jakub Grochowski, e-mail: grochowski@ite.waw.pl
dr inż. Marek Guziewicz, e-mail: margu@ite.waw.pl
mgr inż. Marcin Juchniewicz, e-mail: marcinj@ite.waw.pl
mgr inż. Jakub Kaczmarski, e-mail: kaczmarski@ite.waw.pl
dr inż. Eliana Kamińska, e-mail: eliana@ite.waw.pl, prof. nadzw. w ITE
mgr Piotr Kaźmierczak, e-mail: pkaz@ite.waw.pl
mgr Maciej Kozuba, e-mail: mkozubal@ite.waw.pl
mgr inż. Renata Kruszka, e-mail: kruszka@ite.waw.pl
inż. Marcin Myśliwiec, e-mail: mmysliwiec@ite.waw.pl
mgr inż. Zuzanna Sidor, e-mail: sidor@ite.waw.pl
mgr inż. Andrzej Taube, e-mail: ataube@ite.waw.pl
mgr inż. Maciej Wielgus, e-mail: mwielgus@ite.waw.pl
mgr Małgorzata Zychowska, e-mail: zychowska@ite.waw.pl

1. Projekty badawcze realizowane w 2012 r.

W 2012 r. Zakład Mikro- i Nanotechnologii Półprzewodników Szerokoprzerwowych realizował następujące projekty badawcze:

- „Niekonwencjonalne materiały półprzewodnikowe o nowej funkcjonalności". Etap I (statutowy projekt badawczy nr 1.03.065);
- „Innowacyjne technologie wielofunkcyjnych materiałów i struktur dla nanoelektroniki, fotoniki, spintroniki i technik sensorowych (InTechFun). POIG.01.03.01--00159/08-00;
- „Kwantowe nanostruktury półprzewodnikowe do zastosowań w biologii i medycynie – Rozwój i komercjalizacja nowej generacji urządzeń diagnostyki molekularnej opartych o nowe polskie przyrządy półprzewodnikowe" NANOBIOM (POIG 01.01.02-00-008/08-00);
- „Nowoczesne materiały i innowacyjne metody dla przetwarzania i monitorowania energii" MIME (POIG 01.01.02-00-108/09-00);
- „Tranzystory mikrofalowe HEMT AlGaN/GaN na monokrystalicznych podłożach GaN" (PolHEMT), PBS1/A3/9/2012.

Zakład prowadził także działalność edukacyjną we współpracy z jednostkami akademickimi: Politechniką Warszawską, Politechniką Wrocławską, Politechniką Śląską, Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie i Uniwersytetem Warszawskim.

2. Wyniki działalności naukowo-badawczej

Nie ustają poszukiwania nowych materiałów, przyrządów i podzespołów elektronicznych, które sprostałyby stale rosnącym oczekiwaniom społecznym w dziedzinie technik telekomunikacyjnych i informacyjnych. W ostatnich latach szczególne zainteresowanie wzbudza grupa półprzewodników przezroczystych, o niespotykanej wcześniej funkcjonalności. Ich prekursorzy – przewodniki przezroczyste, łączące cechy dobrego przewodnictwa elektrycznego i przezroczystości optycznej, mają już ugruntowaną pozycję i są szeroko stosowane w wyświelaczach, fotowoltaice, szybach o niskiej emisyjności, elektronice na giętkich podłożach. Rozwój tych aplikacji i rosnące wymagania (parametry elektryczne i elektrooptyczne, mikrostruktura, podatność na obróbkę technologiczną, stabilność długoczasowa) stały się motywacją do podjęcia intensywnych badań, które zaowocowały zaskakującymi odkryciami.

Grupa półprzewodników przezroczystych obejmuje nie tylko konwencjonalne przezroczyste tlenki przewodzące – ITO, SnO_2, ZnO, CdO, typu n, lecz także nanokompozyty metali i węgla (grafem) oraz materiały na bazie polimerów. Pojawiła się nowa klasa tlenków przewodzących typu p, w tym szeroka grupa spineli. We wszystkich wspomnianych aplikacjach przezroczyste tlenki przewodzące TCO wykorzystywano jako elektryczne elementy pasywne lub jako powłoki optyczne.

Najnowsze badania ukierunkowano na opracowanie materiałów o aktywnej funkcji elektronicznej dla funkcjonalnej przezroczystej elektroniki, w której wszystkie elementy składowe – przewodzące, dielektryczne i półprzewodnikowe – będą wykonane z materiałów przezroczystych.

Z analizy stanu wiedzy w dziedzinie projektu, prognoz światowych oraz trendów rynkowych wynika, że przezroczyste półprzewodniki tlenkowe mają olbrzymie możliwości zastosowania jako nowe materiały elektroniczne dla przezroczystej elektroniki i optoelektroniki**.** Było to zasadniczym argumentem za wyodrębnieniem i położeniem szczególnego nacisku na tę tematykę w pracach Zakładu w 2012 r.

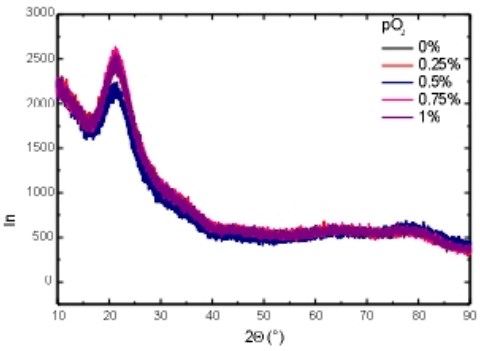
Prace badawcze koncentrowały się na technologii cienkich warstw amorficznych przezroczystych półprzewodników tlenkowych. Zasadniczym przedmiotem badań były tlenki rodziny In-Ga-Zn-O. Równolegle realizowane zadania badawcze obejmowały szeroko pojęte techniki kształtowania submikrometrowych wzorów w zastosowaniu do struktur fotonicznych i przyrządów półprzewodnikowych z materiałów przezroczystych oraz badania składu chemicznego cienkich warstw przezroczystych półprzewodników tlenkowych i tlenków przewodzących techniką spektroskopii cząstek rozpraszanych wstecznie. Badania elektronomikroskopowe były

przeprowadzane w Zakładzie Badań Materiałów i Struktur Półprzewodnikowych ITE, a pomiary XRD w Instytucie Fizyki PAN.

2.1. Badanie właściwości cienkowarstwowych struktur metal-dielektryk-półprzewodnik: dielektryki o wysokiej stałej dielektrycznej, przezroczyste półprzewodniki tlenkowe

Celem badań było opracowanie technologii osadzania cienkich warstw amorficznego tlenku indowo-galowo-cynkowego In-Ga-Zn-O o właściwościach elektronicznych i optycznych umożliwiających wykonanie przezroczystego cienkowarstwowego tranzystora (T-TFT). W porównaniu z amorficznym czy polikrystalicznym krzemem, powszechnie używanym do konstrukcji tego typu tranzystorów, wieloskładnikowe półprzewodniki tlenkowe na bazie metali o dużej masie atomowej, jak Zn-Sn-O, In-Zn-O i In-Ga-Zn-O (IGZO), charakteryzują się, pomimo struktury amorficznej, znacznie większą ruchliwością nośników niż konwencjonalne półprzewodniki kowalencyjne. Dodatkowym atutem cienkich warstw IGZO jest ich wysoka przezroczystość, dzięki czemu tranzystory TFT i układy elektroniczne wykonane z tego materiału są bezkonkurencyjne w zastosowaniach w przezroczystych ekranach dotykowych wytwarzanych na elastycznych podłożach. Dzięki możliwości sterowania na drodze technologicznej przewodnictwem elektrycznym warstw IGZO od metalicznego do izolacyjnego, przy zachowaniu wysokiej ruchliwości i przezroczystości, można myśleć o zastosowaniu tego materiału nie tylko jako kanał tranzystora TFT, ale też jako przezroczyste elektrody, warstwy dielektryczne i czujnikowe czy elementy pamięci półprzewodnikowych.

Procesy osadzania warstw IGZO prowadzone były metodą magnetronowego rozpylania katodowego w reaktorze Z400 firmy Leybold, w atmosferze $Ar + O_2$ w temperaturze pokojowej. Target stanowił krążek ceramiczny o składzie $InGaZnO_4$ i czystości 99,99% (średnica 75 mm, grubość 3 mm). Zgodnie z doniesieniami literaturowymi niewielkie ciśnienie cząstkowe tlenu jest kluczowe dla uzyskania warstw IGZO zapewniających dobrą jakość tranzystorów. Dlatego szczególną uwagę skoncentrowano na optymalizacji ciśnienia całkowitego gazu i ciśnienia cząstkowego tlenu w trakcie procesu rozpylania. Całkowite ciśnienie mieszaniny $Ar + O_2$ wynosiło od 3 mTorr do 7,5 mTorr, a zawartość tlenu zmieniano w zakresie od 0 do 6%.

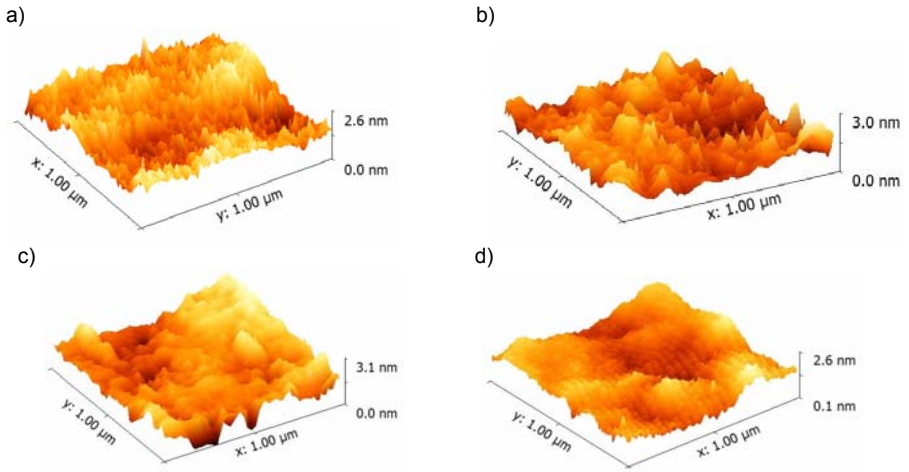


Rys. 1. Dyfraktogramy warstw IGZO osadzanych na podłożu kwarcowym

Na rys. 1 przedstawione są dyfraktogramy rentgenowskie uzyskane dla warstw grubości 50 nm osadzanych na podłożach kwarcowych przy całkowitym ciśnieniu

6 mTorr i różnych wartościach ciśnienia częściowego tlenu: p_{O2} = 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% i 1%. W otrzymanych widmach widoczne jest charakterystyczne szerokie maksimum dla wartości $2\theta \approx 22°$ pochodzące od podłoża z krystalicznego SiO_2. Brak innych maksimów świadczy o amorficznej strukturze otrzymanych warstw.

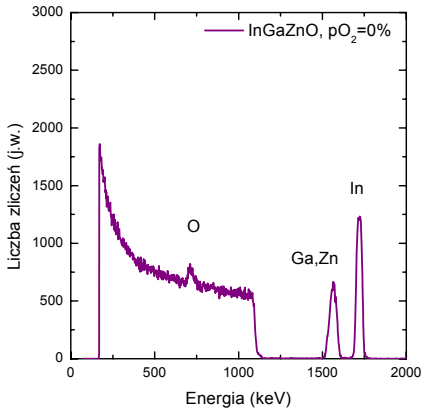
Za pomocą mikroskopii AFM zmierzono średnią chropowatość powierzchni *RMS*, uzyskując wartości w zakresie od 0,5 nm do 0,6 nm, niezależnie od wielkości p_{tot} i p_{O2}. Rysunek 2 przedstawia obrazy topograficzne obszarów 1 µm × 1 µm warstw IGZO osadzanych przy stałym p_{O2} i różnym ciśnieniu całkowitym p_{tot}.



Rys. 2. Obrazy AFM warstw IGZO osadzanych przy p_{O2} = 0,5% i p_{tot} = 3 mTorr (a); 4,5 mTorr (b); 6 mTorr (c); 7,5 mTorr (d)

Warstwy charakteryzują się jednorodnością i chropowatością na poziomie, który sprawia, że można je wykorzystać w technologii tranzystorów T-TFT. Chropowatość jest na tyle niska, aby nie zakłócać transportu nośników w warstwie IGZO działającego jako kanał tranzystora.

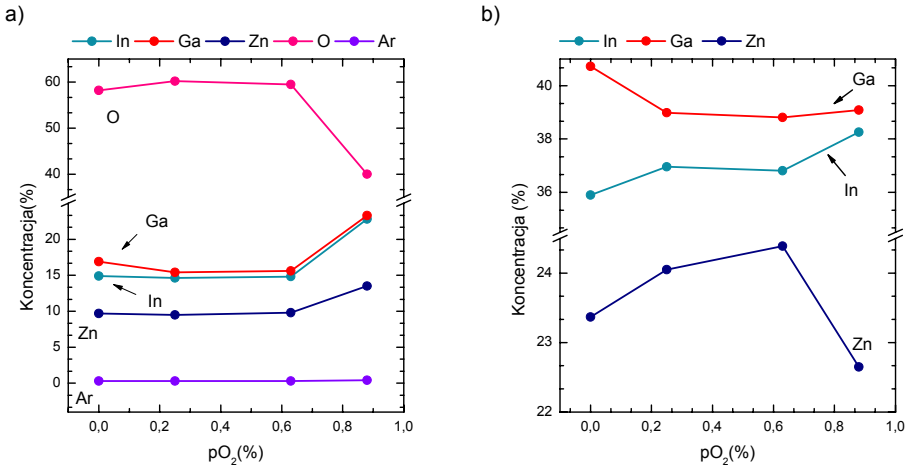
Na rys. 3 przedstawione jest przykładowe widmo RBS warstwy IGZO osadzonej na podłożu krzemowym. Pierwiastki o większej masie atomowej In, Ga, Zn tworzą pojedyncze maksima w przedziale wyższych energii. Dla niższej energii widoczne jest szerokie spektrum pochodzące od podłoża Si. Na tle widma Si zaznaczone jest maksimum pochodzące od tlenu z warstwy IGZO.



Rys. 3. Przykładowe widmo RBS warstwy IGZO

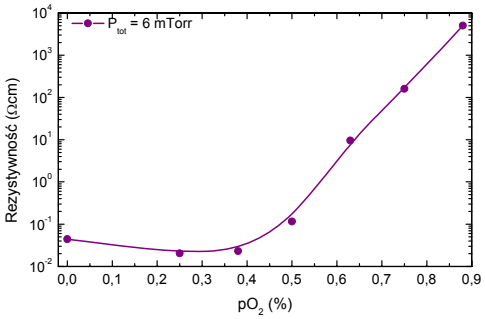
Dla każdej osadzonej warstwy o różnym ciśnieniu cząstkowym tlenu widoczny jest duży niedobór cynku w stosunku do jego

zawartości w targecie $InGaZnO_4$. Fakt niedoboru Zn w warstwach IGZO osadzanych za pomocą rozpylania magnetronowego opisywany jest w literaturze i świadczy o niekongruentnym rozpylaniu wszystkich składników targetu. We wszystkich otrzymanych warstwach stosunek zawartości In:Ga:Zn jest na poziomie 1,5:1,5:1 i ciśnienie cząstkowe tlenu w czasie osadzania nie ma wpływu na tę zależność (rys. 4). W przypadku warstw IGZO osadzanych przy ciśnieniu cząstkowym tlenu p_{O2} = 0,88% zawartość tlenu w warstwie gwałtownie zmniejszyła się o ok. 30%.



Rys. 4. Koncentracja atomów tworzących warstwę IGZO (a) oraz względna zawartość indu, galu i cynku dla otrzymanych warstw IGZO (b)

Niezwykle istotne dla zastosowania warstw IGZO w przezroczystym tranzystorze cienkowarstwowym (T-TFT) są ich właściwości elektryczne (rezystywność, ruchliwość, koncentracja nośników). W ogólności właściwości te zależą od zawartości tlenu w gazie procesowym. Rysunek 5 przedstawia zależność rezystywności warstw IGZO od ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O2}.

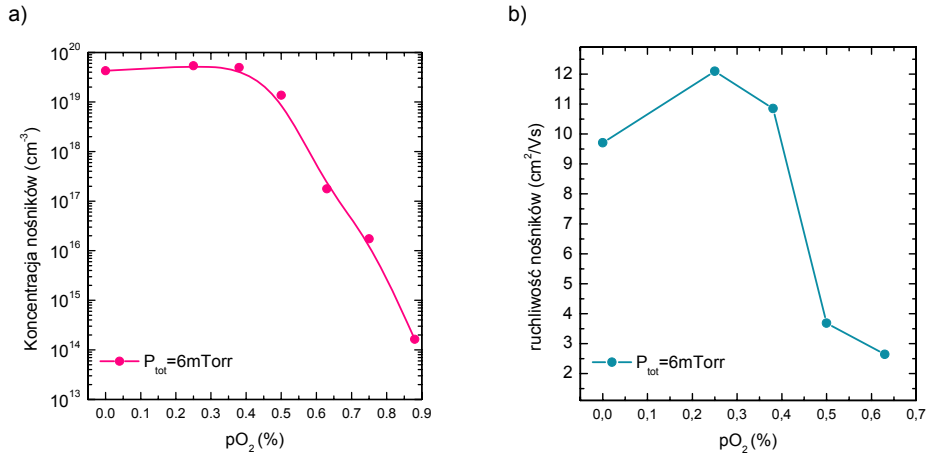


Rys. 5. Wpływ ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O2} na rezystywność warstw IGZO osadzanych przy stałym ciśnieniu całkowitym p_{tot} = 6 mTorr

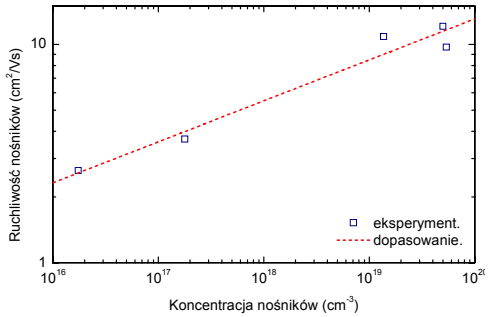
Wraz ze wzrostem p_{O2} rośnie rezystywność warstw IGZO, co jest związane ze zmniejszaniem się koncentracji elektronów (rys. 6a). Ruchliwość Halla dla $p_{O2} \leq 0{,}4\%$ wynosi powyżej 9 $cm^2/V{\cdot}s$. Dla większych wartości p_{O2} ruchliwość zaczyna spadać i dla p_{O2} równego ok. 0,6% wynosi ok. 2,6 $cm^2/V{\cdot}s$ (rys. 6b).

Rysunek 7 przedstawia zależność ruchliwości od koncentracji nośników. Ruchliwość wzrasta wraz z wraz koncentracją elektronów (p_{O2} maleje) i osiąga wartość ~11 $cm^2/V{\cdot}s$ dla koncentracji nośników na poziomie 10^{19} cm^{-3}. Ten trend jest odwrotny do tego, który można spotkać w klasycznych krystalicznych półprzewodnikach, gdzie rozpraszanie nośników na jonach domieszki powoduje

spadek ruchliwości wraz ze wzrostem koncentracji nośników. Uzyskane wartości ruchliwości są o rząd wielkości wyższe niż w przypadku warstw amorficznego krzemu Si:H i zbliżone są opisanych wcześniej wyników otrzymanych przez Nomurę i Hosono.



Rys. 6. Zależność koncentracji nośników (elektronów) (a) oraz ruchliwości nośników (b) w warstwie IGZO od ciśnienia cząstkowego tlenu p_{O2}

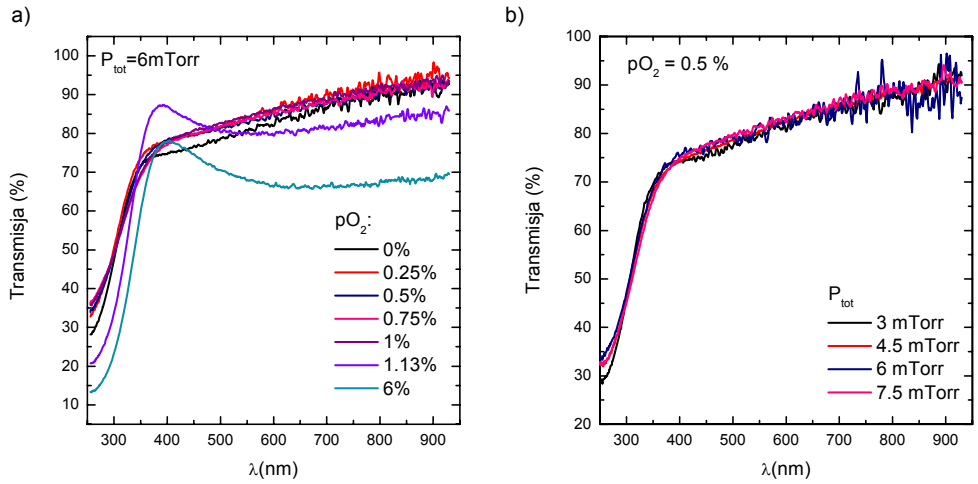


Rys. 7. Zależność ruchliwości od koncentracji nośników w warstwach IGZO

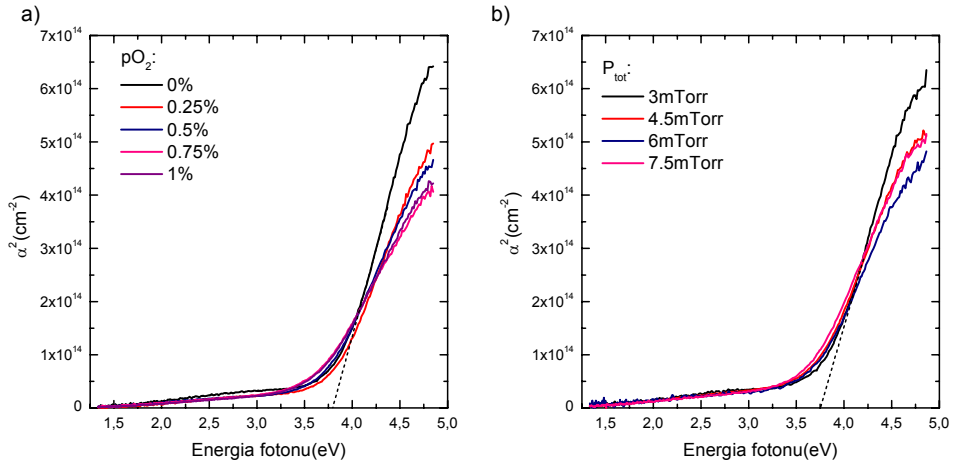
Wpływ warunków osadzania warstw IGZO na wielkość transmisji promieniowania w zakresie długości fali $\lambda = 260 \div 930$ nm jest przedstawiony na rys. 8. Dla większości wytworzonych warstw wartość transmisji wynosi powyżej 80% dla długości fali w zakresie 350 ÷ 950 nm. Niemniej jednak można zaobserwować, że w przypadku warstw osadzonych przy p_{O2} powyżej 1% transmisja maleje nawet do 60% (dla $p_{O2} = 6\%$). W zakresie UV transmisja światła maleje, co jest związane z absorpcją międzypasmową. Jak można zauważyć na rys. 8b, całkowite ciśnienie osadzania nie ma wpływu na transmisję, przynajmniej w zakresie stosowanych p_{tot}.

Na podstawie pomiarów emisji w zakresie bliskiego UV obliczono współczynniki absorpcji, za pomocą których wyznaczono wartość optycznej przerwy zabronionej E_{opt}. Analizując zależności przedstawione na rys. 9 i 10 można zauważyć, że optyczna przerwa energetyczna zmniejsza się prawie liniowo wraz ze wzrostem cząstkowego ciśnienia tlenu p_{O2} i całkowitego ciśnienia p_{tot}. Optyczna przerwa energetyczna przy stałym ciśnieniu całkowitym i różnym ciśnieniu cząstkowym tlenu zmienia się od 3,77 eV do 3,45 eV. Podobne zmiany wartości E_{opt} są obserwowane dla warstw osadzanych przy stałym ciśnieniu cząstkowym tlenu

i różnym ciśnieniu całkowitym. Wyznaczona zależność wskazuje na zmiany optycznej przerwy energetycznej wraz z koncentracją nośników i może być wyjaśniona efektem Bursteina-Mossa.



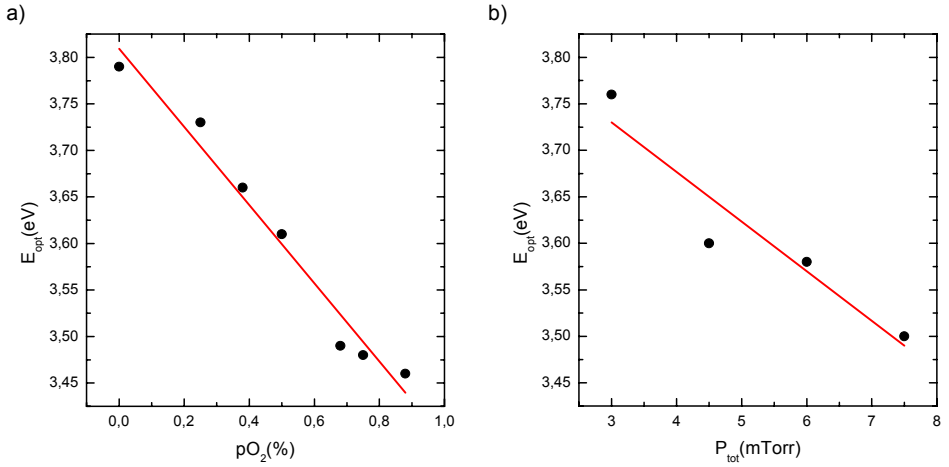
Rys. 8. Transmisja optyczna warstw IGZO osadzonych na podłożach kwarcowych przy stałym ciśnieniu całkowitym p_{tot} (a) i przy stałym ciśnieniu cząstkowym tlenu p_{O2} (b)



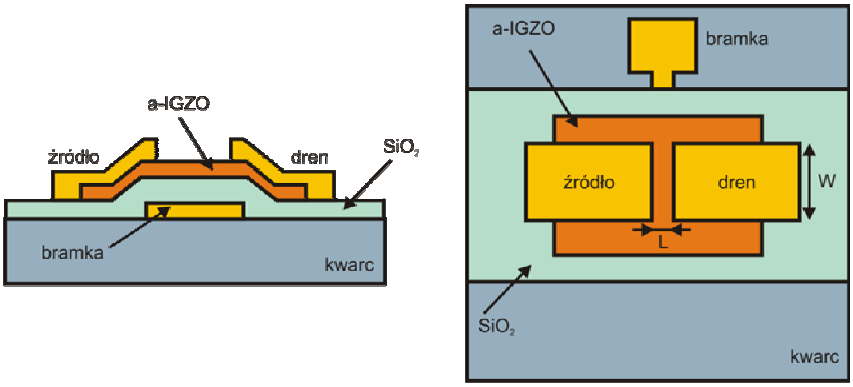
Rys. 9. Wykres Tauca opracowany na podstawie pomiarów transmisji warstw IGZO osadzonych na podłożach kwarcowych przy stałym ciśnieniu całkowitym p_{tot} (a) i przy stałym ciśnieniu cząstkowym tlenu p_{O2} (b)

Amorficzne warstwy IGZO wykorzystano do konstrukcji przezroczystych tranzystorów cienkowarstwowych. Przekrój przez strukturę tranzystora oraz jego schemat przedstawiono na rys. 11.

Elektrodę bramki wykonano w postaci metalizacji Ti/Al (15 nm/45 nm). Dielektrykiem bramkowym była warstwa SiO_2 grubości 100 nm osadzana w procesie PECVD (p = 1 Torr, P_{RF} = 20 W, T = 350°C, t = 67 s, f_{SiH4}:f_{N2O} = 425:710 sccm), w której wytrawiono okno w celu odsłonięcia elektrody bramki. Kanał tranzystora



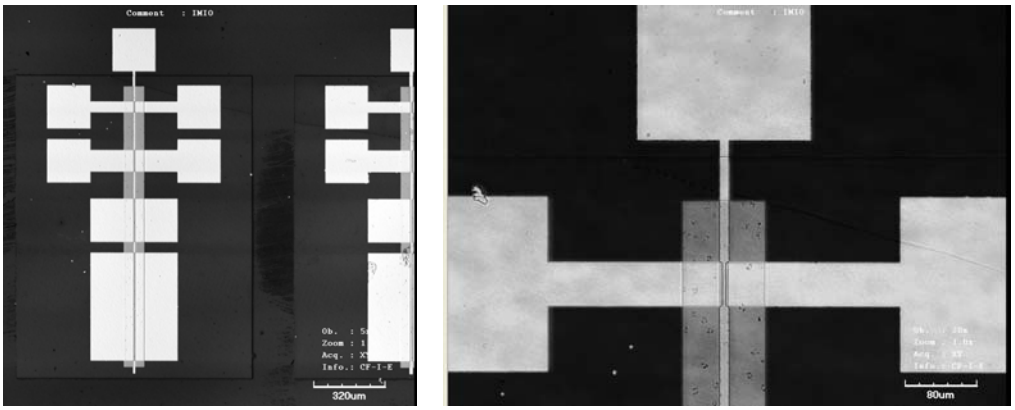
Rys. 10. Wartości optycznej przerwy energetycznej E_{opt} warstw IGZO osadzonych na podłożach SiO_2 przy stałym ciśnieniu całkowitym p_{tot} (a) i przy stałym ciśnieniu cząstkowym tlenu p_{O2} (b)



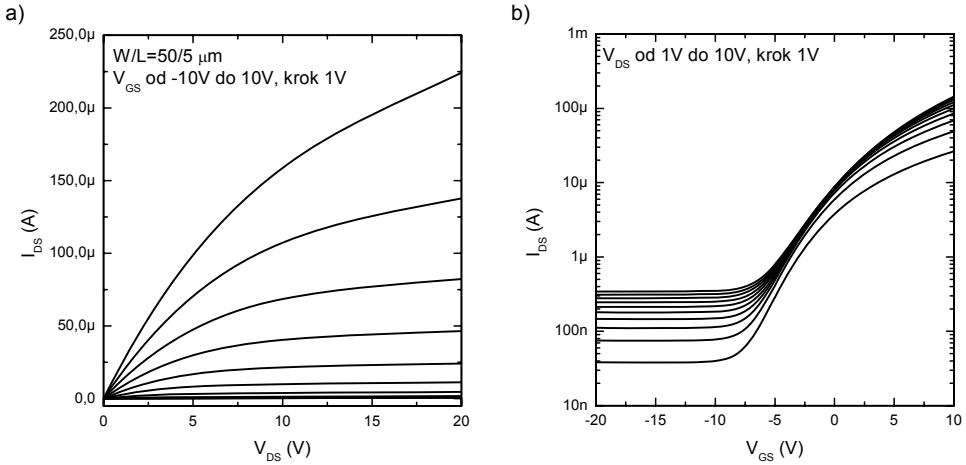
Rys. 11. Struktura tranzystora T-TFT w technologii bottom gate z kanałem z amorficznej warstwy IGZO

uformowano w procesie lift-off warstw IGZO grubości 50 nm osadzanych metodą magnetronowego rozpylania katodowego. Całkowite ciśnienie w komorze podczas osadzania było równe 6 mTorr. Ciśnienie cząstkowe tlenu p_{O2} wynosiło 0,5% dla jednej serii tranzystorów i 0,88% dla drugiej Ostatnim krokiem było uformowanie kontaktów źródła i drenu Ti/Al (15 nm/45 nm). Wykonano matrycę tranzystorów szerokości (W) i długości (L) kanału wynoszących odpowiednio od 50 µm do 500 µm oraz od 5 µm do 100 µm. Rysunek 12 przedstawia zdjęcia wykonanych struktur T-TFT.

Charakteryzacja wytworzonych struktur polegała na pomiarze charakterystyk przejściowych I_{DS} = f(V_{GS}) i wyjściowych I_{DS} = f(V_{DS}) oraz wyznaczeniu odpowiednich parametrów tranzystorów T-TFT. Pomiary wykonano za pomocą stacji ostrzowej z zestawem pomiarowym Keithley SMU236/237/238 w Instytucie Mikroelektroniki i Optoelektroniki PW. Rysunek 13 przedstawia przykładową rodzinę charakterystyk wyjściowych oraz przejściowych tranzystorów T-TFT IGZO.



Rys. 12. Zdjęcia wykonanych struktur tranzystorów T-TFT z warstwą amorficznego IGZO



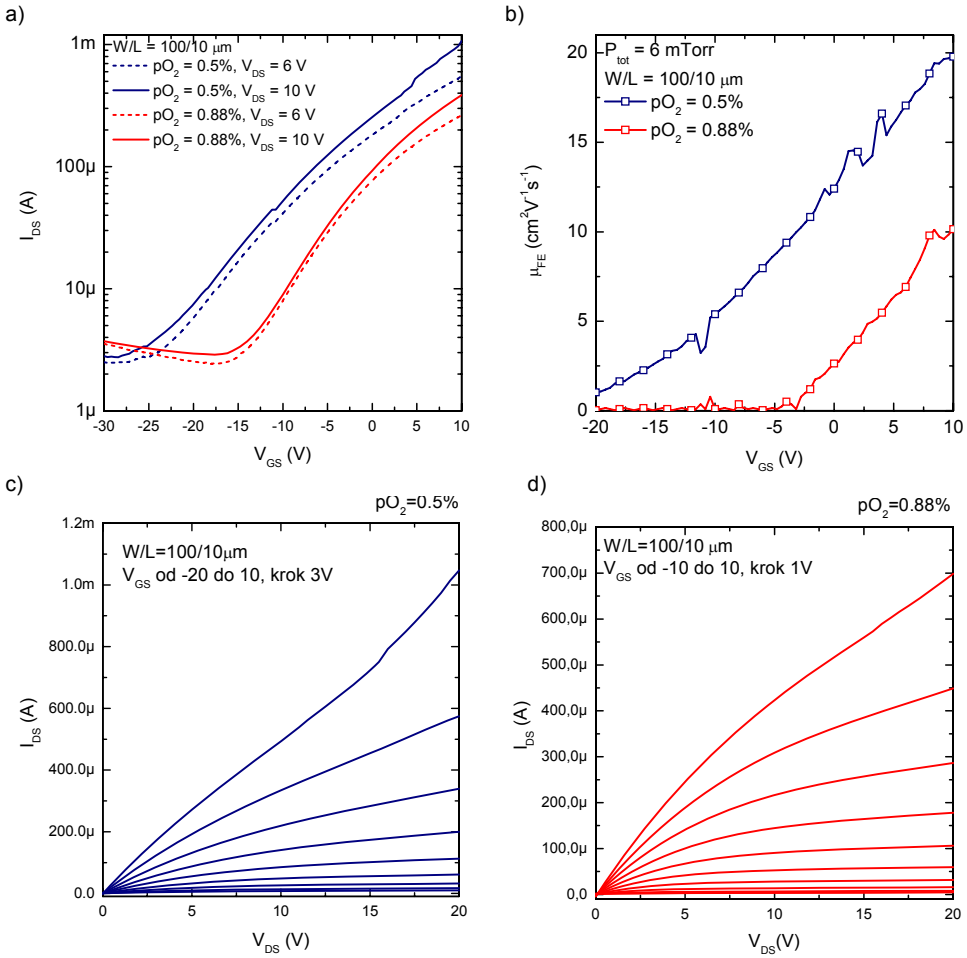
Rys. 13. Przykładowe rodziny charakterystyk wyjściowych (a) i przejściowych (b) wytworzonych struktur tranzystorowych T-TFT z warstwą IGZO

Zaprezentowane charakterystyki mają typowy przebieg dla normalnie włączonych tranzystorów TFT. Można zauważyć nasycanie się charakterystyk wyjściowych dla dużych napięć V_{DS} oraz wyraźne zamykanie się kanału tranzystora dla napięć V_{GS} poniżej ok. –8 V (V_{on}). Efektywna ruchliwość elektronów w kanale została wyznaczona na podstawie transkonduktancji za pomocą wyrażenia:

$$\mu_{FE} = \frac{Lg_m}{WC_{ox}V_{DS}}.$$

Dla przedstawionych na rys. 13b charakterystyk maksymalna ruchliwość wyznaczana przy $V_{DS} = 1$ V wynosiła ≈10,8 cm^2/V·s. Jest to wartość porównywalna z wynikami opisywanymi w literaturze i ponad 2 razy większa od ruchliwości wyznaczonej przez Nomurę dla pierwszych tranzystorów TFT IGZO. Stosunek wartości prądu w stanie włączenia do prądu w stanie wyłączenia I_{on}/I_{off} wynosił $6{,}5 \cdot 10^2$ (dla $V_{DS} = 10$ V).

Rysunek 14 przedstawia charakterystyki przejściowe oraz wyjściowe tranzystorów T-TFT różniących się cząstkowym ciśnieniem tlenu podczas osadzania warstwy IGZO. Jak zostało pokazane wcześniej, ciśnienie cząstkowe tlenu p_{O2} ma zasadniczy wpływ na właściwości elektryczne warstw IGZO, zatem będzie miało także duży wpływ na charakterystyki i parametry tranzystorów T-TFT z warstwą IGZO.

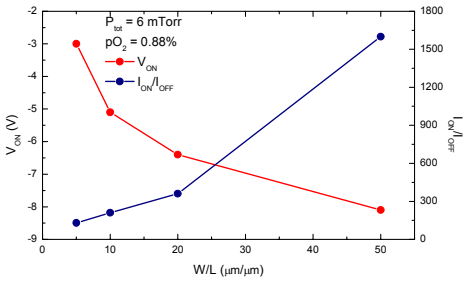


Rys. 14. Charakterystyki przejściowe (a), ruchliwość efektywna (b) i charakterystyki wyjściowe (c, d) wytworzonych struktur tranzystorowych T-TFT z warstwą IGZO dla wartości p_{O2} równych 0,5% i 0,88%

Z rys. 14a można wywnioskować, że wraz ze zwiększaniem się p_{O2} napięcie włączenia V_{on} oraz napięcie progowe V_{th} (wyznaczane na podstawie aproksymacji liniowego zakresu charakterystyki $(I_{ds})^{1/2}$-V_{GS}) przesuwa się w stronę napięć dodatnich. Wynika to ze zmniejszania się koncentracji elektronów w warstwie IGZO. Prąd w kanale tranzystora T-TFT jest proporcjonalny do koncentracji nośników w kanale, dlatego dla tranzystora z warstwą IGZO, osadzaną przy p_{O2} = 0,5%, wartość prądu wyjściowego jest większa niż w przypadku warstw IGZO osadzanych przy p_{O2} = 0,88% (rys. 14c, d). Ruchliwość efektywna (rys. 14b)

również jest większa dla przypadku, gdy p_{O2} = 0,5%, co (jak zostało pokazane wcześniej) związane jest ze zwiększaniem się ruchliwości wraz ze wzrostem koncentracji nośników.

Zbadano także wpływ geometrii kanału na parametry tranzystorów T-TFT (rys. 15). Gdy stosunek szerokości do długości kanału *W*/*L* się zwiększa, wtedy napięcie włączenia zmniejsza się, a stosunek wartości prądu w stanie włączenia do prądu w stanie wyłączenia I_{on}/I_{off} zwiększa. W tab. 1 podano parametry elektryczne zmierzonych tranzystorów T-TFT z warstwą IGZO.



Rys. 15. Wpływ geometrii kanału na wybrane parametry tranzystorów T-TFT IGZO

Tabela 1. Parametry wytworzonych struktur tranzystorów T-TFT IGZO

p_{tot} (mTorr)	p_{O2} (%)	*W*/*L* (μm/μm)	V_{ON} (V)	V_{TH} (V)	I_{ON}/I_{OFF} (A/A)	μ_{FE} (cm^2/V·s)
6	0,5	50/10	–15,8	–8,4	$2{,}75\cdot10^3$	23,4
6	0,5	100/10	–20	–7,9	$3{,}9\cdot10^2$	19,6
6	0,88	50/5	–6	–4,9	$4\cdot10^2$	4,8
6	0,88	50/10	–3	–2,25	$1{,}3\cdot10^2$	10
6	0,88	100/10	–5,1	–4,85	$2{,}1\cdot10^2$	10,1
6	0,88	200/10	–6,4	–4,5	$3{,}6\cdot10^2$	10,8
6	0,88	500/10	–8,1	–3,7	$1{,}6\cdot10^3$	10,6

Osiągnięte w ramach zadania wyniki pozwalają na zastosowanie warstw IGZO w konstrukcji tranzystorów T-TFT. Uzyskane parametry wytworzonych struktur nie odbiegają znaczącą od wyników prezentowanych w literaturze, a dalsze prace technologiczne pozwolą na poprawę właściwości tranzystorów. Szczególnie atrakcyjne wydaje się zastosowanie dielektryków high-*κ* jako dielektryki podbramkowe czy też zastosowanie warstw IGZO o niskiej rezystywności jako materiał zmniejszający rezystancję kontaktów źródła i drenu bądź jako przezroczystą elektrodę kontaktów.

2.2. Techniki kształtowania wzorów w zastosowaniu do struktur fotonicznych i przyrządów półprzewodnikowych z materiałów grupy III-V i II-VI

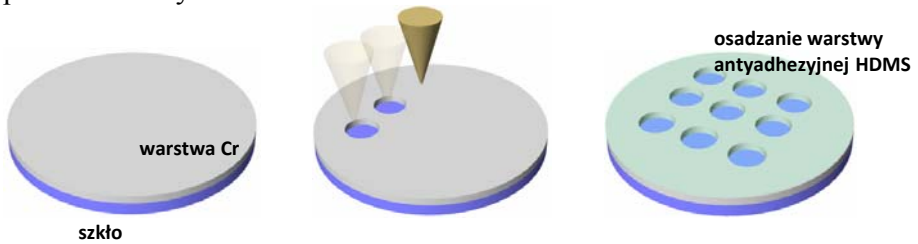
Celem przeprowadzonych badań było doskonalenie już wdrożonych i opracowanie nowych procesów generowania wzorów o submikrometrowym wymiarze krytycznym w półprzewodnikach III-V techniką nanostemplowania (NIL). W ba-

daniach użyto stempli polimerowych IPS oraz OrmoComp. wytwarzanych metodą odciskania z matrycy w procesie nanostemplowania termicznego i/lub UV. Skoncentrowano się na projektowaniu i wytwarzaniu matryc, a na ich podstawie stempli do kształtowania wzorów o wymiarze krytycznym poniżej 100 nm.

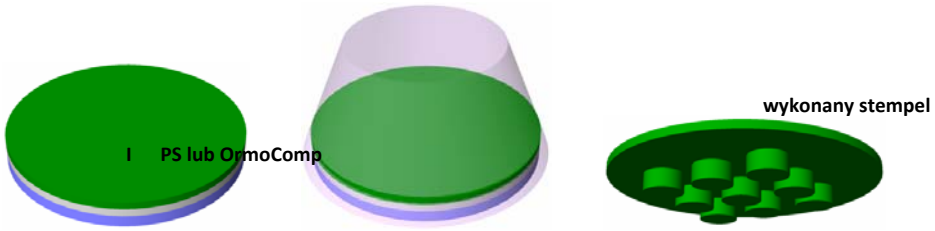
Materiał matrycy stanowiła warstwa chromu osadzonego na podłożu szklanym. Wzór matrycy wykonywano w warstwie Cr metodą bezpośredniego trawienia zogniskowaną wiązką jonową FIB (Focused Ion Beam). Głębokość wzoru matrycy odpowiadała grubości warstwy chromu, a w rezultacie wysokości wzoru stempla polimerowego. Wytworzone stemple wykorzystano do wygenerowania wzoru w warstwie rezystu TU2. Wzór przenoszono za pośrednictwem warstw maskujących na podłoża GaN oraz ZnO techniką trawienia plazmowego.

Do badań wykorzystano warstwy epitaksjalne GaN wzrastane na podłożu szafirowym techniką MOVPE (Metalorganic Vapour Phase Epitaxy) oraz warstwy ZnO osadzane techniką rozpylania katodowego z targetu ZnO na podłożu krzemowym o orientacji (100). Do trawienia GaN wykorzystano plazmę chlorową BCl_3/Cl_2. Warunki procesu trawienia były następujące: f_{BCl3}/F_{Cl2} = 5/35 sccm, p = 10 mTorr, P_{RIE}/P_{ICP} = 50/800 W. Warstwy ZnO trawione były w plazmie BCl_3: f = 40 sccm, p = 10 mTorr, $P_{RIE/ICP}$ =100/1000 W, T = 65°C.

Na rys. 16 i 17 przedstawiono schematy wytwarzania matrycy oraz polimerowych stempli odciskanych z wykonanej matrycy. Schemat procesu trawienia mającego na celu przeniesienie wzoru wygenerowanego w procesie NIL do materiału próbki pokazano na rys. 18.

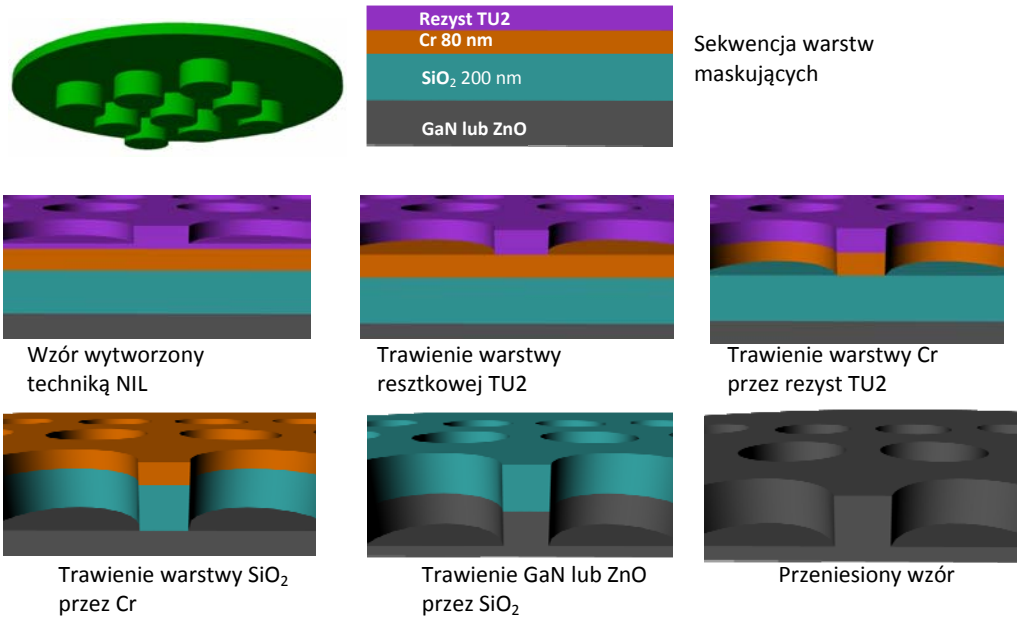


Rys. 16. Schemat wytwarzania matrycy

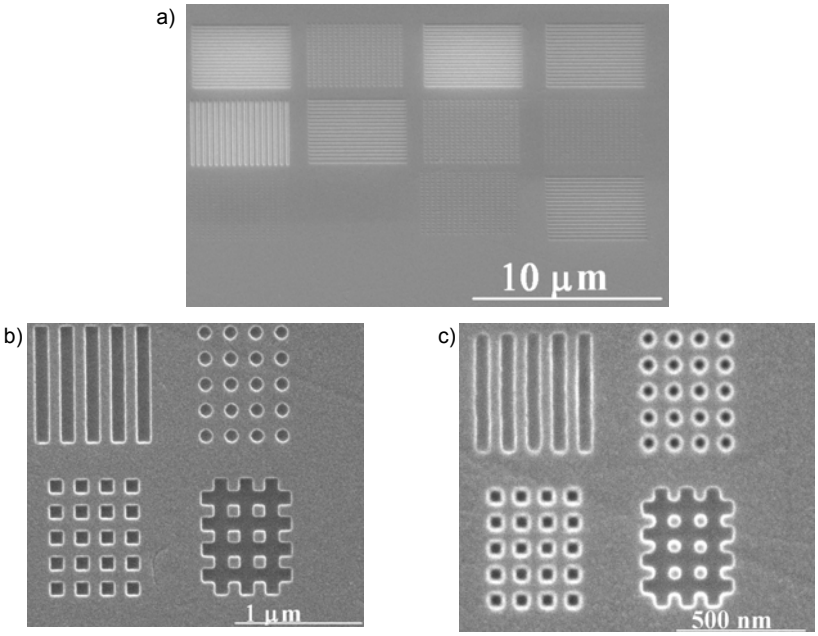


Rys. 17. Schemat wytwarzania stempla polimerowego

Na rys. 19–21 przedstawiono przykłady wytworzonych matryc oraz wykonanych na ich podstawie stempli IPS i OrmoComp. Uzyskane na obecnym etapie badań matryce o dobrze zdefiniowanych krawędziach wzorów miały wymiar krytyczny równy 50 nm.



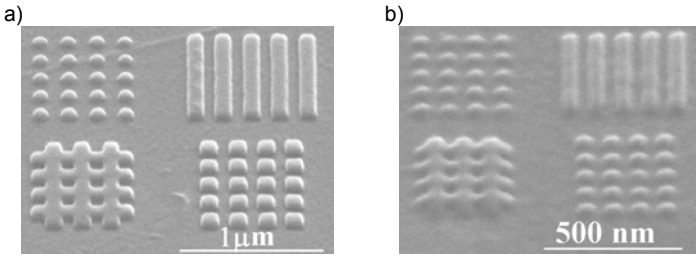
Rys. 18. Schemat operacji przeniesienia wzoru wytworzonego techniką NIL do materiału próbki



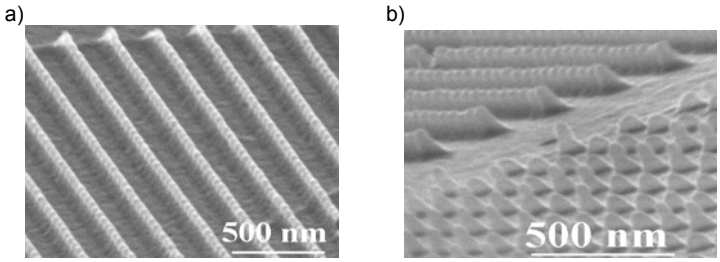
Rys. 19. Obrazy SEM matryc chromowych o wymiarach krytycznych: a) 100 nm, b) 100 nm, c) 50 nm

Jako kryterium oceny jakości stempli przyjęto wymiary wzorów stempla w porównaniu z wymiarami wzorów matrycy. W przypadku stempli z wzorami o wymiarach krytycznych 50 nm zgodność wymiarów stempli z wymiarami matrycy

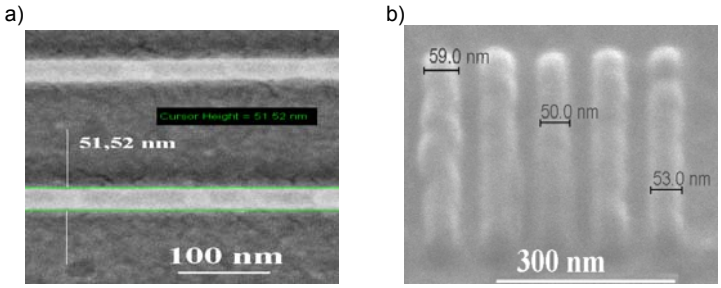
kształtowała się w przedziale ± 3 ÷ 18%. Dla stempli o wymiarach 100 nm przedział ten kształtował się na poziomie ± 6 ÷ 10%, co przedstawiono na rys. 22 i 23. Na rys. 24 przedstawiono obrazy SEM stempli, w przypadku których pojawiły się problemy w trakcie procesu ich wytwarzania.



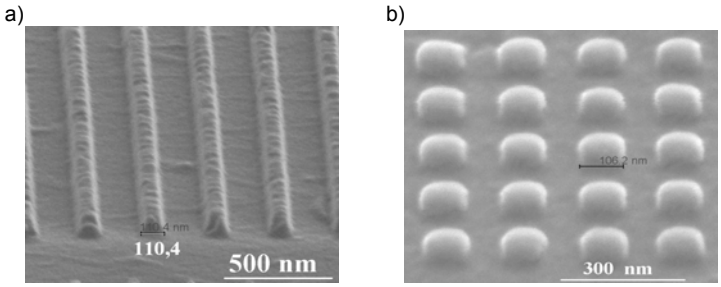
Rys. 20. Obrazy SEM stempli IPS o wymiarach krytycznych: a) 100 nm, b) 50 nm



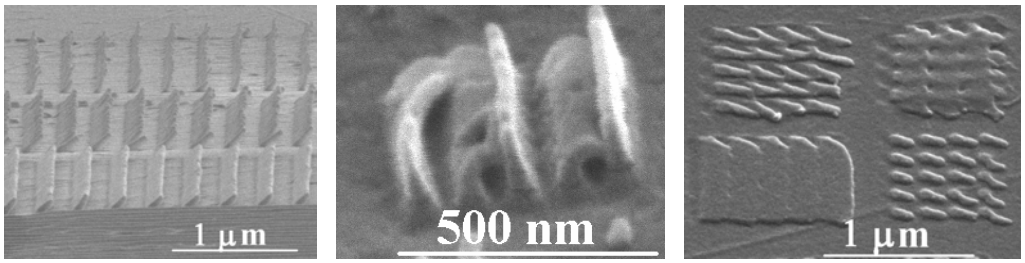
Rys. 21. Obrazy SEM stempli OrmoComp o wymiarach krytycznych 100 nm: a) 100 nm, b) 50 nm



Rys. 22. Obrazy SEM stempli z wzorami o wymiarach krytycznych 50 nm wykonanych z polimerów OrmoComp (a) i IPS (b)

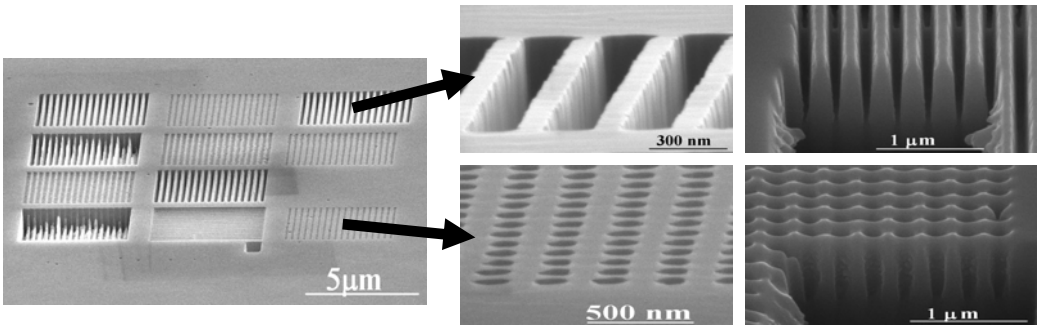


Rys. 23. Obrazy SEM stempli z wzorami o wymiarach krytycznych 100 nm wykonanych z polimerów OrmoComp (a) i IPS (b)

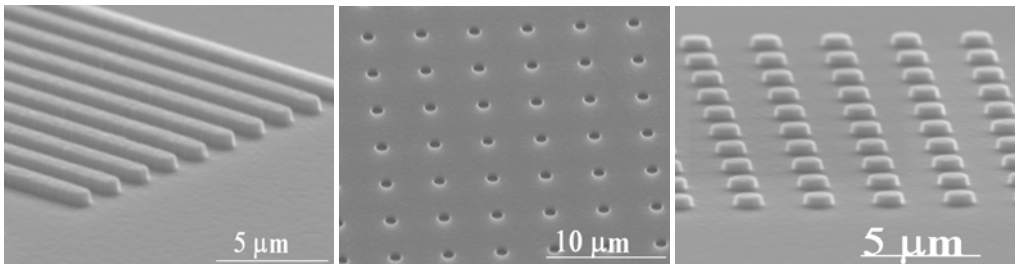


Rys. 24. Obrazy SEM stempli ze zdeformowanymi wzorami

Na rys. 25 i 26 przedstawiono obrazy SEM wzorów wygenerowanych techniką NIL za pomocą wykonanych polimerowych stempli i przeniesionych na podłoża GaN i ZnO techniką trawienia ICP.



Rys. 25. Obrazy SEM wzorów wytrawionych w GaN oraz ich przekrojów poprzecznych wykonanych techniką FIB



Rys. 26. Obrazy SEM wzorów testowych wytrawionych w warstwie ZnO

2.3. Opracowanie procesów wytwarzania periodycznych struktur submikrometrowych w materiałach podłożowych (GaN, szafir, szkło, krzem) i strukturach aktywnych III-V (kryształy fotoniczne, struktury falowodowe) z wykorzystaniem technik fotolitografii DUV i litografii laserowej

Celem zadania było wykonanie w podłożach szklanych wzorów o wymiarach na poziomie 600 nm i głębokości co najmniej 100 nm techniką litografii laserowej i trawienia. Planując badania związane z trawieniem szkła zdecydowano się na zastosowanie procesu mokrego. Suche trawienie szkła stanowi duży problem ze względu na domieszki stosowane przy jego produkcji. Są one źródłem trudnych do

usunięcia pozostałości i w efekcie powodują wzrost chropowatości trawionej powierzchni. Z kolei wadą mokrego trawienia szkła jest prawie idealnie izotropowy charakter trawienia. Oznacza to brak możliwości uzyskania pionowych ścian i podtrawienia boczne równe głębokości trawienia. Jednak problem ten nie jest zasadniczym ograniczeniem przy strukturyzacji powierzchni w sytuacji, gdy wymiary planarne wzoru są kilkakrotnie większe od jego głębokości.

Ze względu na małe głębokości trawienia początkowo zakładano wykorzystanie masek z fotorezystu. Sprawdzono dwa fotorezysty pozytywowe S1805 i AZ 1505. Istotnym problem okazała się zbyt słaba adhezja fotorezystów do szkła, która uwidoczniła się szczególnie podczas operacji wywoływania. Próby z dehydratacją powierzchni szkła przez wygrzewanie w temperaturze 200°C przez 20 min. nie przyniosły oczekiwanych rezultatów. W celu poprawienia adhezji fotorezystu zastosowano promotor adhezji HDMS (heksametylodisilazan, $C_6H_{19}NSi_2$). HDMS był nakładany przez umieszczenie podłoża szklanego w jego oparach. Po jego aplikacji zauważono znaczne zwiększenie się kąta zwilżania szkła, co teoretycznie powinno prowadzić do poprawy adhezji fotorezystu do szkła. Jednak dalsze testy naświetlania z użyciem promotorów adhezji pokazały, że poprawa jakości uzyskiwanych wzorów nie była wystarczająca. Próbując rozwiązać ten problem zdecydowano się na zastosowanie warstwy chromu jako pośredniej warstwy adhezyjnej. Właściwości chromu powodują, że jest on dodatkowo bardzo dobrą maską do mokrego trawienia w środowisku kwasu fluorowodorowego.

Na podłoże ze szkła sodowego nałożono metodą rozpylania katodowego warstwę chromu grubości 100 nm, pokryto ją fotorezystem i wykonano naświetlania. Podobnie jak wcześniej, użyto dwóch fotorezystów pozytywowych S1805 i AZ 1505. Lepsze wyniki uzyskano dla fotorezystu S1805. Wykazywał on mniejszą czułość na zmiany warunków naświetlania i wywoływania, a wzory w nim uzyskiwane charakteryzowały się wyraźniejszymi krawędziami. W dalszych badaniach wykorzystywano tylko ten fotorezyst. Zoptymalizowane warunki naświetlania i wywoływania fotorezystu S1805 na warstwie chromu podano w tab. 2.

Tabela 2. Zoptymalizowane warunki naświetlania i wywoływania fotorezystu S1805 na podłożach szkło/chrom

Podłoże	Szkło sodowe/100 nm Cr
Fotorezyst	S1805
Rozwirowywanie	5000 obr./min., t = 40 s
Wygrzewanie (płyta grzejna)	T = 115°C, t = 60 s
Naświetlanie (litografia laserowa)	Moc lasera 90%, filtr 10%
Wywoływanie	AZ 351 + H_2O (1:4)

Po wykonaniu wzorów w fotorezyście następowało mokre trawienie chromu. Wykorzystano do tego handlowo dostępny wytrawiacz chromu Etch 18. Całkowite

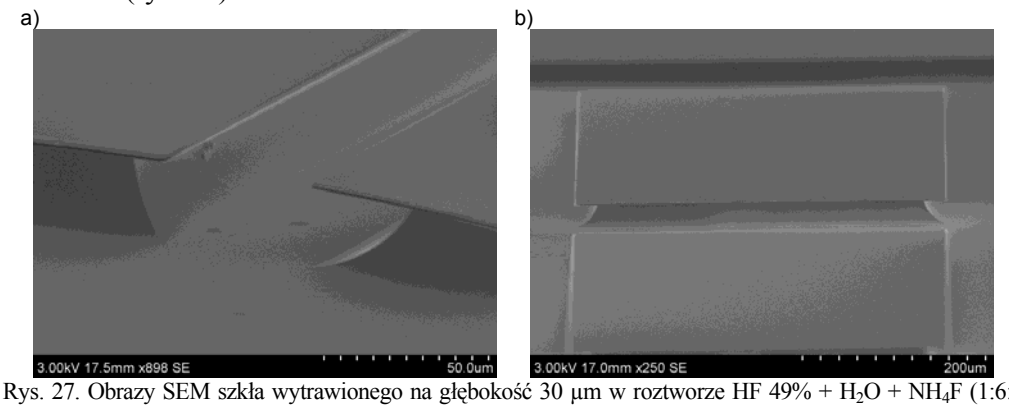
wytrawienie warstwy chromu następowało po ok. 45 s trawienia. Po wytrawieniu chromu nie usuwano z próbek pozostałej warstwy fotorezystu. Stanowiła ona dodatkową warstwę zabezpieczającą, zmniejszając prawdopodobieństwo podtrawień powstających np. z powodu miejscowych nieciągłości warstwy chromu. Tak przygotowane podłoże było gotowe do mokrego trawienia szkła.

Wybierając roztwór trawiący szkło zbadano szereg roztworów na bazie kwasu fluorowodorowego. Zestawienie wykorzystanych roztworów i komentarz do uzyskanych wyników zawiera tab. 3.

Tabela 3. Zestawienie roztworów wykorzystywanych do mokrego trawienia szkła

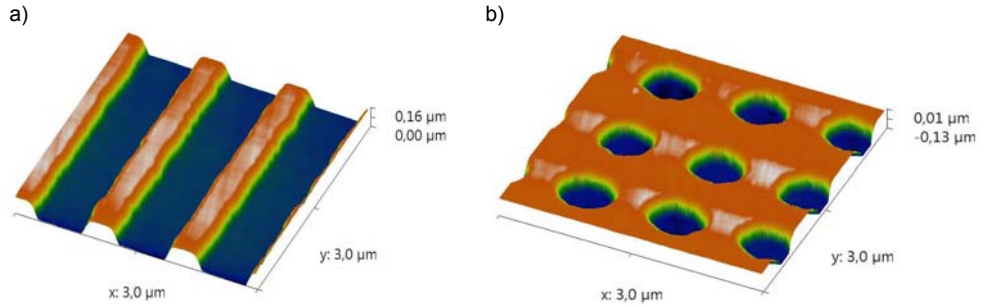
Roztwór	Uwagi
HF 49%	Wysoka szybkość trawienia ok. 6 μm/min. (nieprecyzyjne trawienia płytkie), zła jakoś powierzchni, niska odporność masek z fotorezystu
HF 49% + H_2O (1:6)	Osad tworzący się podczas trawienia powodował wzrost chropowatości trawionej powierzchni.
HF 49% + H_2O + HCl (1:5:1)	Roztwór powodował trawienie maski chromowej.
HF 49% + H_2O + NH_4F (1:6:1)	Szybkość trawienia 1 μm/min, brak osadu przy trawieniach do głębokości 5 μm, gładka powierzchnia, trawienie z maską chromową do głębokości 30 μm bez widocznych uszkodzeń i podtrawień maski

Po wykonaniu prób trawienia z wykorzystaniem roztworów o przedstawionych składach zdecydowano się na zastosowanie roztworu HF 49% + H_2O + NH_4F (1:6:1). Dawał on gładkie powierzchnie bez widocznego osadu, a szybkość trawienia pozwalała na precyzyjną kontrolę głębokości trawienia. Długotrwałe trawienia z użyciem tego roztworu pokazały, że nie powoduje on uszkodzenia maski chromowej. Nie zaobserwowano żadnych podtrawień ani uszkodzeń maski nawet po 30 min. trawienia (rys. 27).



Rys. 27. Obrazy SEM szkła wytrawionego na głębokość 30 μm w roztworze HF 49% + H_2O + NH_4F (1:6:1) przez maskę chrom/fotorezyst. Brak widocznych uszkodzeń maski

Do testów trawienia wzorów periodycznych wykorzystano wzór składający się z pasków szerokości od 400 nm do 1200 nm w modułach od 800 nm do 2000 nm (zakresy różniły się zależnie od szerokości paska) oraz kółek o średnicy 600 nm i 800 nm w modułach w obu osiach od 1200 nm do 2000 nm. Jako podłoża użyto szkła pokrytego 100 nm warstwą chromu. Naświetlanie wykonano zgodnie z warunkami z tab. 2. Po wywołaniu wzoru trawiono warstwę chromu (Etch 18, 1 min.). Tak przygotowana płytka była trawiona w roztworze HF 49% + H_2O + NH_4F (1:6:1) przez 10 s. Po wypłukaniu płytki zdjęto z niej maskę: najpierw fotorezyst w acetonie, następnie chrom w wytrawiaczu Etch 18. Przykładowe obrazy AFM uzyskanych wzorów pokazane są na rys. 28.



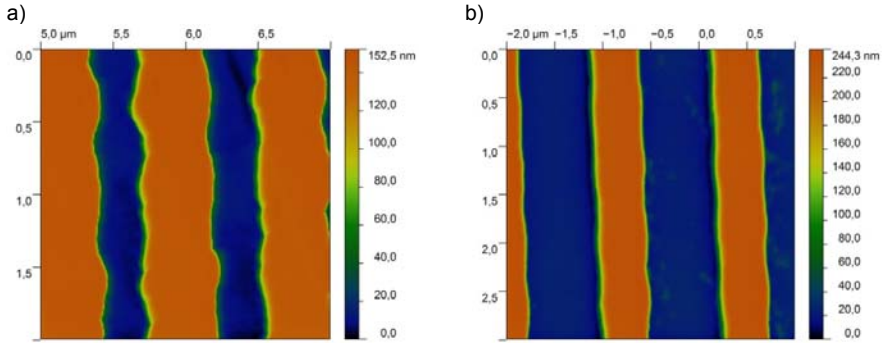
Rys. 28. Obraz AFM wzorów wytrawionych na głębokość 150 nm: a) rowki o szerokości 600 nm w module 1000 nm, b) otwory o średnicy 600 nm w modułach w obu osiach po 1000 nm

Proces trawienia szkła w roztworze HF 49% + H_2O + NH_4F (1:6:1) przez maskę chrom/fotorezyst S1805 pozwolił na uzyskanie zakładanej głębokości trawienia, zapewniając jednocześnie wysoką jakość trawionej powierzchni. Wartość *RMS* przed trawieniem wynosiła 1,3 nm, a po trawieniu 1,4 nm. Wadą trawienia mokrego szkła może być jego anizotropowy charakter, który nie pozwala na uzyskanie pionowych ścian.

2.4. Kształtowanie wzorów w cienkich warstwach przezroczystych półprzewodników tlenkowych (TSO), przezroczystych tlenków przewodzących (TCO) i cienkich warstwach dielektrycznych przeznaczonych do wytworzenia przezroczystego tranzystora cienkowarstwowego (T-TFT), w szczególności prototypowanie struktur półprzewodnikowych za pomocą litografii laserowej

Celem prac było wykonanie prototypu struktury bramki o przekroju w kształcie litery V z podstawą szerokości ≈250 nm, która mogłaby być zastosowana w konstrukcjach tranzystorów cienkowarstwowych. Motywacją do podjęcia eksperymentu był artykuł W. Chong et al. „AlGaN/GaN HEMTs with 0.2 µm V -Gate Recesses for X-Band Application", *J. Semicond.* **33** (2012) 034003, opisujący proces wykonania bramki V dla tranzystora HEMT AlGaN/Gan, polegający na użyciu dwóch warstw Si_3N_4 (nakładanych metodą PECVD) i trawieniu ich techniką reaktywnego trawienia jonowego.

Wykonanie prototypu bramki V z użyciem litografii laserowej wymagało udoskonalenia procesu naświetlania wzorów w urządzeniu DWL 66FS. Dotychczasowe prace pokazały problem, jakim jest uzyskanie jednorodnych struktur o wymiarach na granicy rozdzielczości urządzenia. Na rys. 29a pokazano paski ukształtowane w pozytywowym fotorezyście S1805 przy typowych parametrach litografii laserowej: energia E równa 90% energii wiązki lasera, filtr F = 10%. Wprowadzenie trybu podwójnego naświetlania, tzn. naświetlania polegającego na nałożeniu w jednym procesie takiego samego wzoru dwa razy na jedno naświetlane pole przy energii 2 × 50% (filtr 10%), pozwoliło na uzyskanie znaczącej poprawy jakości wzorów (rys. 29b).



Rys. 29. Obraz AFM pasków szerokości 600 nm przed optymalizacją (a) i po optymalizacji procesu naświetlania (b)

Równolegle przeprowadzono badania mające na celu ustalenie optymalnych parametrów procesu osadzania i trawienia RIE warstwy Si_3N_4 na potrzeby bramki o przekroju w kształcie litery V. Poniżej przedstawione zostaną kolejne etapy wytwarzania bramki przeznaczonej dla technologii tranzystora HEMT AlGaN/GaN. Proces demonstracyjny wykonany został na podłożu n-Si <111>. Wyniki poszczególnych faz powstawania bramki zostały zilustrowane obrazami SEM i AFM (rys. 30–32).

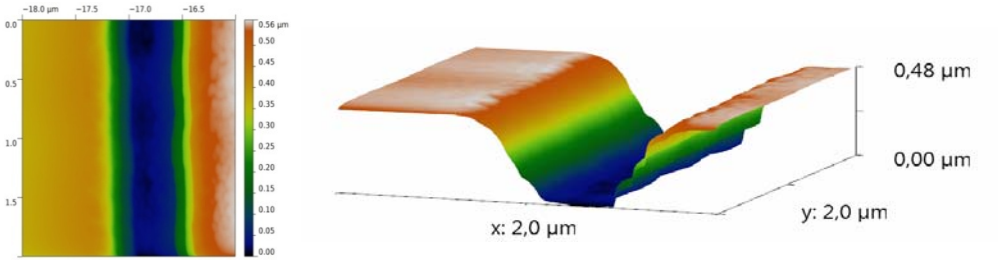
1) Osadzanie warstwy Si_3N_4

Technika osadzania – PECVD
p = 650 mTorr
P_{RF}/P_{LF} = 30 W (puls 7 s)/30 W(puls 13 s)
T = 300°C
t = 8:20 min.
f_{NH3}/f_{SiH4} = 20 sccm/1000 sccm
Grubość warstwy d = 150 nm

2) Litografia pasków szerokości 600 nm definiujących górną część bramki

Wykonanie maski z fotorezystu do trawienia podstawy bramki
Fotorezyst S1805, nakładanie: 5000 obr./min.
t = 40 s
Suszenie HP: T = 115°C, t = 60 s

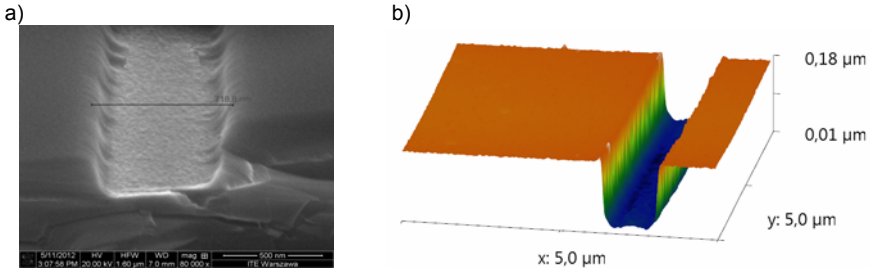
Litografia laserowa: SP -150, OAF, filtr 10%; energia E 80%
Wywoływanie: AZ 351 + H_2O (1:4), t = 1 min.



Rys. 30. Obraz AFM wzoru wykonanego w warstwie fotorezystu S1805

3) Trawienie RIE warstwy Si_3N_4 w plazmie CF_4/O_2

P = 20 W
p = 30 mTorr
T = 20°C
t = 143 s (2:23)
f_{CF4}/f_{O2} = 35 sccm /2 sccm
Stolik ceramiczny
Usunięcie emulsji w acetonie



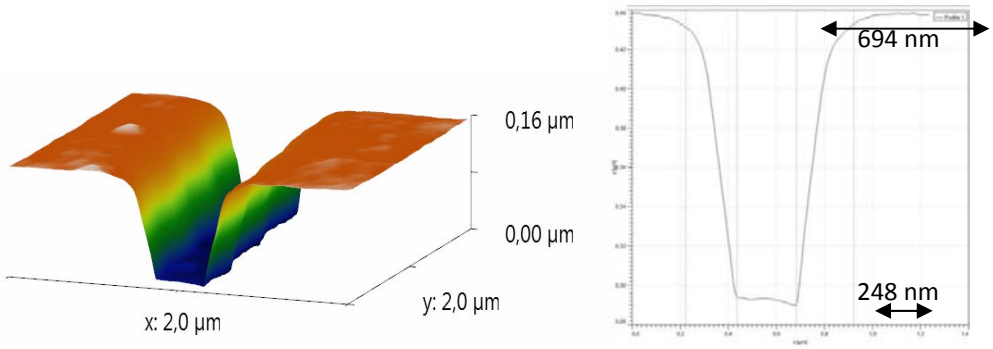
Rys. 31. Obrazy SEM (a) i AFM (b) paska 600 nm wytrawionego RIE plazmą CF_4/O_2 w warstwie Si_3N_4

4) Wykonanie techniką PECVD maski Si_3N_4 do uformowania podstawy bramki V

p = 650 mTorr
P_{RF}/P_{LF} = 30 W (7 s)/30 W (13 s)
T = 300°C, t = 13:53 min.
f_{NH3}/f_{SiH4} = 20 sccm/1000 sccm
Grubość warstwy Si_3N_4 d = 250 nm

5) Drugie trawienie RIE warstwy Si_3N_4 w plazmie CF_4/O_2 formowaniepodstawy bramki

P = 20 W
p = 30 mTorr
T = 20°C
t = 224 s (3:44)
f_{CF4}/f_{O2} = 35 sccm /2 sccm
Stolik ceramiczny



Rys. 32. Obraz AFM i profil przekroju korytarza bramki uformowanego w warstwie Si_3N_4

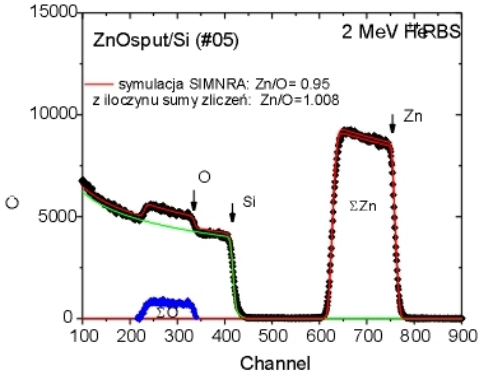
Wyniki uzyskane w toku badań potwierdziły możliwość otrzymania bramki typu V w proponowanym ciągu technologicznym. Uzyskana bramka ma zakładany przekrój w kształcie litery V. Szerokość podstawy i góry bramki wynosi odpowiednio 250 nm oraz 700 nm i jest zgodna z przyjętymi założeniami.

2.5. Badania składu chemicznego cienkich warstw przezroczystych półprzewodników tlenkowych (TSO) i przezroczystych tlenków przewodzących (TCO) techniką spektroskopii cząstek rozpraszanych wstecznie (RBS)

Celem badań jest określenie stechiometrii cienkich warstw półprzewodników tlenkowych i przezroczystych tlenków przewodzących. W 2012 r. badania były skoncentrowane na analizie warstw ZnO i In-Ga-Zn-O. Wykorzystano akcelerator Pelletron 3SDH-2 do implantacji jonami i rutherfordowskiego rozpraszania wstecznego. Widma pochodzące z pomiaru RBS symulowano za pomocą oprogramowania SIMNRA w celu określenia składu pierwiastkowego oraz analizy grubości warstw w badanych próbkach.

Widmo energetyczne cząstek rozproszonych na badanym materiale niesie jednoczesną informację o masie składników (pierwiastków) i ich rozmieszczeniu w głąb próbki. Im większa jest masa, tym wyższa jest energia rejestrowanych cząstek, a im większa głębokość, tym energia niższa ze względu na hamowanie cząstek przy przechodzeniu przez materię. Z drugiej strony intensywność (oś Y) widma pochodzącego od danego składnika jest proporcjonalna do jego względnej koncentracji i liczby atomowej. Korzystną okolicznością z punktu widzenia rozróżnialności składników w metodzie RBS jest duża różnica ich mas atomowych oraz podłoże lżejsze od samej warstwy. W przeciwnym przypadku widma cząstek rozproszonych na atomach poszczególnych pierwiastków nakładają się na siebie i uzyskanie informacji ilościowych o składzie, a nawet jakościowych staje się utrudnione, jeśli nie niemożliwe. W takiej sytuacji pomocne staje się użycie tzw. kodu symulacji SIMNRA, który polega na konstrukcji widma na podstawie założonej struktury

i dopasowanie go do widma uzyskanego eksperymentalnie. Często jednak kod SIMNRA jest stosowany mechanicznie i nie zawsze jego użycie jest uzasadnione.



Rys. 33. Widmo RBS z tlenku cynku osadzonego na krzemie metodą reaktywnego rozpylania katodowego

Na rys. 33 pokazano widmo RBS tlenku cynku osadzonego na krzemie metodą reaktywnego rozpylania katodowego (czarne symbole).Widmo od Zn występuje tu niezakłócone ze względu na największą masę, a widmo od tlenu jest nałożone na ciągłe widmo od podłożowego Si. Zastosowanie symulacji SIMNRA (czerwona linia) daje stosunek stechiometryczny Zn/O = 0,95.

W tym konkretnym przypadku można się jednak posłużyć inną procedurą. Jeśli wygeneruje się linię dopasowania wyłącznie do widma Si (kolor zielony), to numeryczne jego odjęcie od widma doświadczalnego przyniesie „czysty" wkład od cząstek rozproszonych na atomach tlenu (kółka niebieskie). Teraz wystarczy zsumować zliczenia Σ od obu składników, aby bezpośrednio wyznaczyć stosunek stechiometryczny:

$$Zn/O = \Sigma Zn/\Sigma O \text{ x } \sigma_O/\sigma_{Zn},$$

gdzie σ_O, σ_{Zn} oznaczają przekroje czynne na rozpraszanie Rutherforda dla tlenu i cynku.

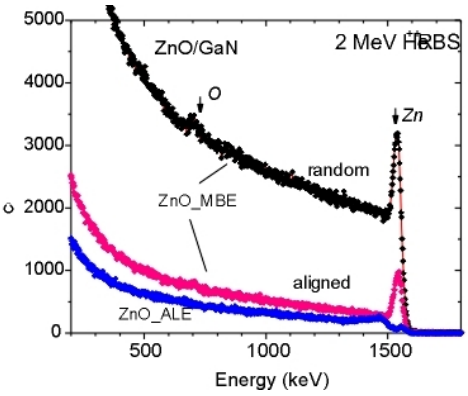
Stosunek stechiometryczny obliczony w taki bezpośredni sposób wynosi tu Zn/O = 1,008 i jest znacznie bardziej wiarygodny niż uzyskany z symulacji. Dzieje się tak dlatego, że symulacja SIMNRA wymaga wprowadzenia zdolności hamujących, a te są obarczone kilkuprocentowym błędem, podczas gdy przekroje czynne znane są z dużą dokładnością (<0,01%).

Epitaksjalny ZnO na azotku galu jest korzystnym układem ze względu na dobre dopasowanie sieciowe. Jednakże bliskość masowa cynku i galu powoduje trudność w interpretacji widm RBS z takiej struktury. W tym przypadku nieodzowne staje się stosowanie kodu symulacyjnego SIMNRA dla widm typu random, czyli uzyskanych w wyniku uśrednienia po różnych kierunkach krystalograficznych.

Dodatkowej informacji dostarczyć mogą widma kanałowania, jeśli oś krystalograficzną ustawi się równolegle do wiązki jonów pierwotnych. Wówczas stopień monokrystaliczności określa się tzw. współczynnikiem χ, będącym miarą obniżenia intensywności widma w stosunku do widma random.

Na rys. 34 pokazano widma random i kanałowania dla tlenku cynku grubości 60 nm z procesu MBE oraz widmo kanałowania z ZnO grubości ok. 160 nm osadzonego metodą ALE. Oba procesy wykonano na podłożu GaN w Instytucie Fizyki.

Pik powierzchniowy obserwowany przy energii odpowiadającej rozproszeniom na atomach Zn jest w istocie wynikiem superpozycji z galem. Zmniejszenie intensywności widma w tym rejonie wynika bardziej z kanałowania w podłożowym GaN niż w tlenku. Stąd wniosek, że ZnO w tym przypadku jest raczej poliniż monokrystaliczny lub też zawiera dużą liczbę dyslokacji i defektów punktowych. Dla odmiany w tlenku wzrastanym techniką ALE współczynnik χ rzędu 5,5% świadczy o dużym stopniu monokrystaliczności i dopasowania sieciowego pomimo silnie rozwiniętej powierzchni ujawnionej w badaniu AFM.



Rys. 34. Widma random i kanałowania dla próbki ZnO/GaN wytworzonej metodą MBE oraz widmo kanałowania dla ZnO/GaN z procesu ALE

Badania składu warstw In-Ga-Zn-O (IGZO) wytwarzanych metodą magnetronowego rozpylania katodowego przeprowadzono mierząc widma RBS skolimowaną do 1 mm wiązką He^{++} o energii 2 MeV. Jony rozproszone wstecznie rejestrowano pod kątem 170°. Do detekcji jonów użyto detektora krzemowego o powierzchni czynnej 50 mm^2. Każdą mierzoną próbkę odchylono o kąt 4° w celu uniknięcia efektu kanałowania. Analizę grubości warstw oraz składu pierwiastkowego przeprowadzono za pomocą oprogramowania SIMNRA.

3. Współpraca międzynarodowa

Zakład współpracuje stale z następującymi instytucjami:

- Groupe d'Etude des Semiconducteurs
  Université Montpellier 2, Francja;
- Institut d'Electronique, de Microelectronique et de Nanotechnologie,
  UMR CNRS 8520 – Lille University, Villeneuve d'Ascq, Francja;
- Alcatel-Thales III-V Lab., Marcoussis & Palaiseau, Francja;
- The Research Institute for Technical Physics and Materials Science of
  the Hungarian Academy of Sciences, Budapeszt, Węgry;
- University of Bath, Wielka Brytania.

Publikacje'2012

[P1] BARAŃSKA A., SZERLING A., KARBOWNIK P., BUGAJSKI M., HEJDUK K., ŁASZCZ A., GOŁASZEWSKA-MALEC K.: Kontakty omowe dla GaAs typu n^+ w zastosowaniu dla AlGaAs/GaAs QCL. Mat. konf. XII Sem. "Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe". Szklarska Poręba, 9–12.05.2012 (złoż. do red.).

[P2] BARAŃSKA A., SZERLING A., KARBOWNIK P., HEJDUK K., BUGAJSKI M., ŁASZCZ A., GOŁASZEWSKA-MALEC K., FILIPOWSKI W.: Ohmic Contacts for Room-Temperature AlGaAs/GaAs Quantum Cascade Lasers (QCL). *Opt. Appl.* (złoż. do red.).

[P3] BĄK-MISIUK J., ROMANOWSKI P., MISIUK A., SADOWSKI J., JAKIEŁA R., BARCZ A.: Effect of Stress on Structural Transformations in GaMnAs. *J. of Nanosci. a. Nanotechnol.* 2012 vol. 12 s. 8270–8273.

[P4] BOROWICZ P., ADAMUS Z., EKIELSKI M., PIOTROWSKA A., KUCHUK A., BORYSIEWICZ M., KAMIŃSKA E., LATEK M.: Badania strukturalne warstw węglowych w kontaktach omowych – porównanie widm ramanowskich obserwowanych od strony warstwy krzemkowej oraz podłoża z węglika krzemu. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 31–34.

[P5] BOROWICZ P., ADAMUS Z., EKIELSKI M., PIOTROWSKA A., KUCHUK A., BORYSIEWICZ M., KAMIŃSKA E., LATEK M.: Badania strukturalne warstw węglowych w kontaktach omowych – porównanie widm ramanowskich obserwowanych od strony warstwy krzemkowej oraz podłoża z węglika krzemu. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 580–585.

[P6] BOROWICZ P., KUCHUK A., ADAMUS Z., BORYSIEWICZ M., EKIELSKI M., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A., LATEK M.: Visible and Deep-Ultraviolet Raman Spectroscopy as a Tool for Investigation of Structural Changes and Redistribution of Carbon in Ni-Based Ohmic Contacts on Silicon Carbide. *ISRN Nanomaterials* 2012 vol. 2012 s. 1–11, ID 852405.

[P7] BORYSIEWICZ M., DYNOWSKA E., KOLKOVSKY V., DYCZEWSKI J., WIELGUS M., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: From Porous to Dense Thin ZnO Films through Reactive DC Sputter Deposition onto Si (100) Substrates. *phys. stat. sol. a* 2012 vol. 209 nr 12 s. 2463–2469.

[P8] BORYSIEWICZ M., DYNOWSKA E., KOLKOVSKY V., WIELGUS M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., KAMIŃSKA E., EKIELSKI M., STRUK P., PUSTELNY T., PIOTROWSKA A.: Sputter Deposited ZnO Porous Films for Sensing Applications. Proc. of the MRS Fall Meet. 2012. Boston, USA, 25–30.11.2012 (złoż. do red.).

[P9] BORYSIEWICZ M., KAMIŃSKA E., MYŚLIWIEC M., WZOREK M., KUCHUK A., BARCZ A., DYNOWSKA E., DI FORTE-POISSON M.-A., GIESEN C., PIOTROWSKA A.: Fundamentals and Practice of Metal Contacts to Wide Band Gap Semiconductor Devices. *Crystal Res. a. Technol.* 2012 vol. 47 nr 3 s. 261–272.

[P10] DOMANOWSKA A., MICZEK M., UCKA R., MATYS M., ADAMOWICZ B., ŻYWICKI J., TAUBE A., KORWIN-MIKKE K., GIERAŁTOWSKA S., SOCHACKI M.: Surface Photovoltage and Auger Electron Spectromicroscopy Studies of HfO_2/SiO_2/4H-SiC and HfO_2/Al_2O_3/4H-SiC Structures. *Appl. Surf. Sci.* 2012 vol. 258 s. 8354–8359.

[P11] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., PŁUSKA M., WZOREK M., PIOTROWSKA A., KUCHARSKI R., KOLKOVSKY V., ŻYTKIEWICZ Z. R., GRUSZKA M.: Nanostemplowanie w zastosowaniu do wytwarzania struktur fotonicznych w GaN. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 16–19.

[P12] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., PŁUSKA M., WZOREK M., PIOTROWSKA A., KUCHARSKI R., KOLKOVSKY V., ŻYTKIEWICZ Z. R., GRUSZKA M.: Nanostemplowanie w zastosowaniu do wytwarzania struktur fotonicznych w GaN. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 625–630.

[P13] GROCHOWSKI J., GUZIEWICZ M., KRUSZKA R., KOPALKO K., PIOTROWSKA A.: Fabrication and Characterization on p-NiO/n-ZnO Heterojunction Towards Transparent Diode. Proc. of the 35th Int. Spring Sem. on Electronics Technology. Bad Aussee, Austria, 9–13.05.2012, s. 488–492.

[P14] GROCHOWSKI J., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A., DYNOWSKA E., DŁUŻEWSKI P., DYCZEWSKI J., SZCZEPAŃSKA A., KAŹMIERCZAK P.: Fabrication and Properties of Nanocrystalline Zn-Ir-O Thin Films. *phys. stat. sol. c* 2012 vol. 9 nr 6 s. 1504–1506.

[P15] GUZIEWICZ M., JUNG W., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., PIOTROWSKA A., DOMAGAŁA J., WACHNICKI L., GUZIEWICZ E., GODLEWSKI M.: Fabrication and Characterization of n-ZnO/p-SiC Heterojunction Diode. *Mater. Sci. Forum* 2012 vol. 717-720 s. 1323–1326.

[P16] GUZIEWICZ M., KISIEL R., SZCZEPAŃSKI Z., WZOREK M.: Silver Metallization for SiC Die Assembly and Wire Connections. Proc. of the 11th Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technologies. Porquerolles, Francja, 28.05–1.06.2012, s. 1–2.

[P17] GUZIEWICZ M., KLATA P., GROCHOWSKI J., GOŁASZEWSKA-MALEC K., KAMIŃSKA E., DOMAGAŁA J., WITKOWSKI B., KANDYLA M., CHATZIMANOLIS CH., KOMPITSAS M., PIOTROWSKA A.: Hydrogen Sensing Properties of Thin NiO Films Deposited by RF Sputtering. *Procedia Eng.* (złoż. do red.).

[P18] GUZIEWICZ M., SŁYSZ W., BORYSIEWICZ M., DOMAGAŁA J., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., JUCHNIEWICZ M., SIDOR Z., PISKORSKA-HOMMEL E., WILKENS T.: Superconducting and Structural Properties of Nb(TiN) Films. Proc. of the 11th Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technologies. Porquerolles, Francja, 28.05–1.06.2012, s. 1–2.

[P19] GUZIEWICZ M., SŁYSZ W., BORYSIEWICZ M., KRUSZKA R., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DOMAGAŁA J., RZODKIEWICZ W., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., SOBOLEWSKI R.: Technology of Ultrathin NbN and NbTiN Films for Superconducting Photodetectors. *Acta Phys. Pol. A* 2012 vol. 120 nr 6-A s. 76–79.

[P20] GUZIEWICZ M., WZOREK M., KISIEL R.: Multilayer Metallization for SiC Die Assembly and Wire Bonding. Proc. of the 36th Int. Microelectronics and Packaging IMAPS-CPMT Poland Conf. Kołobrzeg, 26–29.09.2012 (złoż. do red.).

[P21] JAKIEŁA R., DUMISZEWSKA E., CABAN P., STONERT A., TUROS A., BARCZ A.: Oxygen Diffusion into GaN from Oxygen Implanted GaN or Al_2O_3. *phys. stat. sol. c* 2011 *v*ol. 8 nr 5 s. 1513–1515.

[P22] JASIK A., SANKOWSKA I., REGIŃSKI K., MACHOWSKA-PODSIADŁO E., WAWRO A., WZOREK M., KRUSZKA R., JAKIEŁA R., KUBACKA-TRACZYK J., MOTYKA M., KANIEWSKI J.: MBE Growth of Type-II InAs/GaSb Superlattices for MWIR Detection. Chapter 3. [W] *Horizons in World Physics.* vol. 276. Nova Sci. Publ., New York, 2011, s. 101–144.

[P23] JASIK A., SANKOWSKA I., REGIŃSKI K., MACHOWSKA-PODSIADŁO E., WAWRO A., WZOREK M., KRUSZKA R., JAKIEŁA R., KUBACKA-TRACZYK J., MOTYKA M., KANIEWSKI J.: MBE Growth of Type-II InAs/GaSb Superlattices for MWIR Detection. Chapter 9 [W] *Crystal Growth: Theory, Mechanisms and Morphology*, Nova Sci. Publ. Inc., New York, 2011, s. 293–329

[P24] KILANSKI L., TUOMISTO F., KRUSZKA R.: Magnetically Active Vacancy Related Defects in Irradiated GaN Layers. *Appl. Phys. Lett.* 2012 vol. 101 s. 072102.

[P25] KISIEL R., GUZIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., SOCHACKI M., PASZKOWICZ W.: Mechanisms of Carriers Transport in Ni/n-SiC, Ti/n-SiC Ohmic Contacts. *Mater. Sci.-Poland* 2011 vol. 29 nr 3, s. 233–240.

[P26] KISIEL R., SZCZEPAŃSKI Z., FIREK P., GROCHOWSKI J., MYŚLIWIEC M., GUZIEWICZ M.: Silver Micropowders as SiC Die Attach Material for High Temperature Applications. Proc. of the 35th Int. Spring Sem. on Electronics Technology. Bad Aussee, Austria, 9–13.05.2012, s. 144–148.

[P27] KOCHANOWSKA D., WITKOWSKA-BARAN M., MYCIELSKI A., SZADKOWSKI A., WITKOWSKA B., KALISZEK W., DOMAGAŁA J., JAKIEŁA R., NOWAKOWSKI P., DUŻYŃSKA A., ŁACH P., KAMIŃSKA A., SUCHOCKI A., RESZKA A., KOWALSKI B., WOJTOWICZ T., WIATER M., KAMINSKI P., KOZŁOWSKI R.,

SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., KAMIŃSKA E.: Manufacturing the by Bridgman Method of 1.5 and 2 Inch (Cd,Mn)Te Crystal Rods and Their Characterization. *IEEE Trans. on Nucl. Sci.* (złoż. do red.).

[P28] KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., TAUBE A., SIDOR Z., BORYSIEWICZ M., ŻYTKIEWICZ Z. R., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Kontrolowane trawienia plazmą BCl_3/Ar cienkich warstw AlGaN dla technologii tranzystorów HEMT AlGaN/GaN. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 20–22.

[P29] KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., TAUBE A., SIDOR Z., BORYSIEWICZ M., ŻYTKIEWICZ Z. R., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Kontrolowane trawienia plazmą BCl_3/Ar cienkich warstw AlGaN dla technologii tranzystorów HEMT AlGaN/GaN. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 613–619.

[P30] KRYSIŃSKI A., TAUBE A., GOŁASZEWSKA-MALEC K., ŚMIETANA M., MROCZYŃSKI R., SZMIDT J.: Technologia i charakteryzacja struktur tranzystorów cienkowarstwowych (TFT). *Prz. Elektrotech.* 2012 vol. 88 nr 11b s. 1–4.

[P31] KRYSIŃSKI A., TAUBE A., GOŁASZEWSKA-MALEC K., ŚMIETANA M., MROCZYŃSKI R., SZMIDT J.: Technologia i charakteryzacja struktur tranzystorów cienkowarstwowych (TFT). Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 103–108.

[P32] KUCHUK A., KLADKO V. P., GOŁASZEWSKA-MALEC K., GUZIEWICZ M., WZOREK M., PIOTROWSKA A.: The Formation Mechanism of Ni-Based Ohmic Contacts to 4H-n-SiC. *Mater. Sci. Forum* 2012 vol. 717-720 s. 833–836.

[P33] ŁASZCZ A., CZERWIŃSKI A., RATAJCZAK J., TAUBE A., GIERAŁTOWSKA S., PIOTROWSKA A., KĄTCKI J.: Study of Oxides Formed in the HfO_2/Si Structure for High-k Dielectric Applications. *Solid St. Phenom.* 2012 vol. 186 s. 78–81.

[P34] ŁAWNICZAK-JABŁOŃSKA K., KLEPKA M., WOLSKA A., DYNOWSKA E., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Komplementarne zastosowanie metod dyfrakcji i spektroskopii absorpcyjnej promieniowania X do charakteryzacji cienkich warstw Ti-Si-C. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 28–31.

[P35] ŁAWNICZAK-JABŁOŃSKA K., KLEPKA M., WOLSKA A., DYNOWSKA E., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Komplementarne zastosowanie metod dyfrakcji i spektroskopii absorpcyjnej promieniowania X do charakteryzacji cienkich warstw Ti-Si-C. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 640–645.

[P36] MROCZYŃSKI R., TAUBE A., GIERAŁTOWSKA S., GUZIEWICZ E., GODLEWSKI M.: Application of Deposited by ALD HfO_2 and Al_2O_3 Layers in Double-Gate Dielectric Stacks for Non-Volatile Semiconductor Memory (NVSM) Devices. *Appl. Surf. Sci.* 2012 vol. 258 s. 8366–8370.

[P37] SANKOWSKA I., DOMAGAŁA J., YEFANOV O., JASIK A., KUBACKA-TRACZYK J., REGIŃSKI K., SEECK O. H.: Non-Periodicity of Peak-to-Peak Distances in X-Ray Diffraction Spectrums from Perfect Superlattices. *J. Appl. Phys.* (złoż. do red.).

[P38] SANKOWSKA I., JASIK A., KUBACKA-TRACZYK J., DOMAGAŁA J., REGIŃSKI K.: Role of Beryllium Doping in Strain Changes in II-Type InAs/GaSb Superlattice Investigated by High Resolution X-Ray Diffraction Method. *Appl. Phys. A* 2012 vol. 108 nr 2 s. 491–496.

[P39] STRUK P., PUSTELNY T., GOŁASZEWSKA-MALEC K., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Badanie struktur sensorowych na bazie tlenku cynku na oddziaływanie z wybranym środowiskiem gazowym. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 55–56.

[P40] STRUK P., PUSTELNY T., GOŁASZEWSKA-MALEC K., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Badanie struktur sensorowych na bazie tlenku cynku na oddziaływanie z wybranym środowiskiem gazowym. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 635–639.

[P41] ŚWITKOWSKI K., JASTRZĘBSKI C., PAŁKA N., DYCZEWSKI J., BARCZ A.: Performance of a Nitrogen Implanted Large Aperture THz Emitter. *Photon. Lett. of Poland* 2012 vol. 4 nr 1 s. 32–34.

[P42] TAUBE A., KRUSZKA R., BORYSIEWICZ M., GIERAŁTOWSKA S., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: High Quality Gate Insulator/GaN Interface for Enhancement-Mode Field Effect Transistor. *Acta Phys. Pol. A* 2012 vol. 120 nr 6-A s. 22–24.

[P43] TAUBE A., MROCZYŃSKI R., KORWIN-MIKKE K., GIERAŁTOWSKA S., SZMIDT J., PIOTROWSKA A.: Effect of the Post-Deposition Annealing on Electrical Characteristics of MIS Structures with HfO_2/SiO_2 Gate Dielectrics Stacks. *Mater. Sci. a. Eng. B* 2012 vol. 177 s. 1281–1285.

[P44] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie tranzystorów HEMT AlGaN/GaN – wpływ przewodności cieplnej podłoża. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 34–37.

[P45] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie tranzystorów HEMT AlGaN/GaN - wpływ przewodności cieplnej podłoża. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 646–652.

[P46] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie zaawansowanych struktur tranzystorów HEMT AlGaN/GaN. *Elektronika* 2012 vol. LIII nr 9 s. 38–41.

[P47] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie zaawansowanych struktur tranzystorów HEMT AlGaN/GaN. Mat. konf. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012, s. 653–658.

[P48] VOLNIANSKA O., BOGUSŁAWSKI P., KAMIŃSKA E.: Ag and N Acceptors in ZnO: An ab initio Study of Acceptor Pairing, Doping Efficiency, and the Role of Hydrogen. *Phys. Rev. B* 2012 vol. 85 s. 165212.

[P49] WIELGUS M., GROCHOWSKI J., KAMIŃSKA E., PATORSKI K.: Continuous Wavelet Transform for d-Space Distribution Analysis in Nanocrystallic Materials. *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies* [W] *Proc. of SPIE* 2012 vol. 8411 s. 84110A.

[P50] WIELGUS M., PATORSKI K.: Non-Local Fringe Image Filtration: a New Interferometric Data Filtration Paradigm? *Photon. Lett. of Poland* 2012 vol. 4 nr 2 s. 66–68.

[P51] WZOREK M., CZERWIŃSKI A., KUCHUK A., RATAJCZAK J., PIOTROWSKA A., KĄTCKI J.: Ni-Based Ohmic Contacts to Silicon Carbide Examined by Electron Microscopy. *Solid St. Phenom.* 2012 vol. 186 s. 82–85.

[P52] ZAREMBA G., ADAMUS Z., JUNG W., KAMIŃSKA E., BORYSIEWICZ M., KORWIN-MIKKE K.: The Role of Deep Level Traps in Barrier Height of 4H-SiC Schottky Diode. *Mater. Sci. a. Eng. B* 2012 vol. 177 s. 1323–1326.

[P53] ZYTKIEWICZ Z. R., SOBAŃSKA M., KLOSEK K., RESZKA A., WIERZBICKA A., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., SETKIEWICZ M., PUSTELNY T.: MBE Growth of GaN Nanowires on Si(111) Substrates for Gas Sensor Applications. Proc. of the 14th Int. Meet. on Chemical Sensors. Norymberga, Niemcy, 20–23.05.2012, s. 1554–1556.

Prezentacje'2012

[K1] AMARASINGHE V. P., WIELUNSKI L., BARCZ A., FELDMAN L. C., CELLER G. K.: Optimization of H^+ Implantation Parameters for Exfoliation of 4H-SiC Films. 222 Meet. of the Electrochem. Soc. Honolulu, USA, 7–12.10.2012 (plakat).

[K2] BARAŃSKA A., SZERLING A., KARBOWNIK P., BUGAJSKI M., HEJDUK K., ŁASZCZ A., GOŁASZEWSKA-MALEC K.: Kontakty omowe dla GaAs typu n^+ w zastosowaniu dl AlGaAs/GaAs

QCL. XII Sem. "Powierzchnia i Struktury Cienkowarstwowe". Szklarska Poręba, 9–12.05.2012 (kom.).

[K3] BOROWICZ P., ADAMUS Z., EKIELSKI M., PIOTROWSKA A., KUCHUK A., BORYSIEWICZ M., KAMIŃSKA E., LATEK M.: Badania strukturalne warstw węglowych w kontaktach omowych - porównanie widm ramanowskich obserwowanych od strony warstwy krzemkowej oraz podłoża z węglika krzemu. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K4] BORYSIEWICZ M., DYNOWSKA E., KOLKOVSKY V., WIELGUS M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., KAMIŃSKA E., EKIELSKI M., STRUK P., PUSTELNY T., PIOTROWSKA A.: Sputter Deposited ZnO Porous Films for Sensing Applications. 2012 MRS Fall Meet. Boston, USA, 25–30.11.2012 (plakat).

[K5] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., PŁUSKA M., WZOREK M., PIOTROWSKA A.: Fabrication of Polymer Stamp for NIL Patterning of GaN. Nano3D-Kassel. Kassel, Niemcy, 12–19.10.2012 (plakat).

[K6] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., PŁUSKA M., WZOREK M., PIOTROWSKA A., KUCHARSKI R., KOLKOVSKY V., ŻYTKIEWICZ Z.R., GRUSZKA M.: Nanostemplowanie w zastosowaniu do wytwarzania struktur fotonicznych w Gan. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (ref.).

[K7] GOŁASZEWSKA-MALEC K., TAUBE A., KRUSZKA R., BORYSIEWICZ M., EKIELSKI M., JUCHNIEWICZ M., SIDOR Z., NOWEK A., MYŚLIWIEC M., JUNG W., JAKIEŁA R., PRYSTAWKO P., LESZCZYŃSKI M., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Nanoscale Surface Characterisation of AlGaN/GaN HEMTs with Recessed Ohmic and Schottky Contact Geometrie. 41st Jaszowiec Int. School and Conf. on the Physics of Semiconductor. Krynica Zdrój, 8–15.06.2012 (plakat).

[K8] GROCHOWSKI J., GUZIEWICZ M., KRUSZKA R., KOPALKO K., PIOTROWSKA A.: Fabrication and Characterization og p-NiO/n-ZnO Heterojunction Towards Transparent Diode. 35th Int. Spring Sem. on Electronics Technology. Bad Aussee, Austria, 9–13.05.2012 (plakat).

[K9] GUZIEWICZ M., KISIEL R., SZCZEPAŃSKI Z., WZOREK M.: Silver Metallization for SiC Die Assembly and Wire Connections. 11th Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technology. Porquerolles, Francja, 30.05–1.06.2012 (kom.).

[K10] GUZIEWICZ M., KLATA P., GROCHOWSKI J., GOŁASZEWSKA-MALEC K., KAMIŃSKA E., DOMAGAŁA J., WITKOWSKI B., KANDYLA M., CHATZIMANOLIS CH., KOMPITSAS M., PIOTROWSKA A.: Hydrogen Sensing Properties of Thin NiO Films Deposited by RF Sputtering. Eurosensors XXVI. Kraków, 9–12.09.2012 (plakat).

[K11] GUZIEWICZ M., KLATA P., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DYCZEWSKI J., DYNOWSKA E., DYBKO K., SZOT M., STORY T., MYCIELSKI A., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Metallization for Ohmic Contact to PbMnTe Thermoelectric Module. 36th Int. Microelectronics and Packaging Conf. IMAPS-CPMT Poland 2012. Kołobrzeg, 26–29.09.2012 (plakat).

[K12] GUZIEWICZ M., SŁYSZ W., BORYSIEWICZ M., DOMAGAŁA J., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., JUCHNIEWICZ M., SIDOR Z., PISKORSKA-HOMMEL E., WILKENS T.: Superconducting and Structural Properties of Nb(TiN) Films. 11th Workshop on Expert Evaluation & Control of Compound Semiconductor Materials & Technology. Porquerolles, Francja, 30.05–1.06.2012 (kom.).

[K13] GUZIEWICZ M., WZOREK M., KISIEL R.: Multilayer Metallization for SiC Die Assembly and Wire Bonding. 36th Int. Microelectronics and Packaging Conf. IMAPS-CPMT Poland 2012. Kołobrzeg, 26–29.09.2012 (plakat).

[K14] KANDYLA M., CHATZIMANOLIS CH., TSIKOURKITOUDI V., KARTSONAKIS I., CHARITIDIS C., KOMPITSAS M., GUZIEWICZ M.: Structural and Mechanical Properties of RF Magnetron Sputtered NiO Thin Films and Their Surface Sensitizing by Pd-Nanoparticles for Hydrogen Sensing below the

One PPM Limit. 4th Int. Symp. on Transparent Conductive Materials TCM 2012. Hersonissos, Grecja, 21–26.10.2012 (plakat).

[K15] KISIEL R., SZCZEPAŃSKI Z., FIREK P., GROCHOWSKI J., MYŚLIWIEC M., GUZIEWICZ M.: Silver Micropowders as SiC Die Attach Material for High Temperature Applications. 35th Int. Spring Sem. on Electronics Technology. Bad Aussee, Austria, 9–13.05.2012 (plakat).

[K16] KRÓL K., SOCHACKI M., TUREK M., ŻUK J., PRZEWŁOCKI H.M., GUTT T., BOROWICZ P., GUZIEWICZ M., SZUBER J., KWOKA M., KOŚCIELNIAK P., SZMIDT J.: Influence of Nitrogen Implantation on Electrical Properties of Al/SiO2/4H-SiC MOS Structure. The 9th Europ. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials. St. Petersburg, Rosja, 2–6.09.2012 (plakat).

[K17] KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., TAUBE A., SIDOR Z., BORYSIEWICZ M., ŻYTKIEWICZ Z. R., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Kontrolowane trawienia plazmą BCl_3/Ar cienkich warstw AlGaN dla technologii tranzystorów HEMT AlGaN/Gan. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K18] KRYSIŃSKI A., TAUBE A., GOŁASZEWSKA-MALEC K., ŚMIETANA M., MROCZYŃSKI R., SZMIDT J.: Technologia i charakteryzacja struktur tranzystorów cienkowarstwowych (TFT). XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K19] ŁAWNICZAK-JABŁOŃSKA K., KLEPKA M., WOLSKA A., DYNOWSKA E., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Komplementarne zastosowanie metod dyfrakcji i spektroskopii absorpcyjnej promieniowania X do charakteryzacji cienkich warstw Ti-Si-C. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K20] PATORSKI K., WIELGUS M., EKIELSKI M.: Sensitivity Enhanced AFM Nano-Moire Metod. III Kraj. Konf. Nano i Mikromechaniki. Warszawa, 4–06.07.2012 (ref.).

[K21] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DOMAGAŁA J., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., RATAJCZAK J., BAR J., WĘGRZECKI M., PANAS A., ŁASZCZ A., CZERWIŃSKI A., SOBOLEWSKI R.: Ultrathin NbN and NbTiN Nanostructures for Superconducting Photodetectors. Progres in Applied Surface, Interface and Thin Film Science 2012. Florencja, Włochy, 14–19.05.2012 (plakat).

[K22] SŁYSZ W., GUZIEWICZ M., BORYSIEWICZ M., GOŁASZEWSKA-MALEC K., DOMAGAŁA J., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M., RATAJCZAK J., KOLKOVSKY V., BAR J., WĘGRZECKI M., PANAS A., WĘGRZECKA I., SIKORA F., ŁASZCZ A., CZERWIŃSKI A., SOBOLEWSKI R.: Superconducting Thin Films with High Critical Current Densities for Very Sensitive Photodetectors. IXth Int. Conf. on Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons. Kazimierz Dolny, 25–28.06.2012 (plakat).

[K23] STRUK P., PUSTELNY T., GOŁASZEWSKA-MALEC K., BORYSIEWICZ M., PIOTROWSKA A.: Badanie struktur sensorowych na bazie tlenku cynku na oddziaływanie z wybranym środowiskiem gazowym. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (ref.).

[K24] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie tranzystorów HEMT AlGaN/GaN - wpływ przewodności cieplnej podłoża. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K25] TAUBE A., SOCHACKI M., SZMIDT J.: Symulacje i modelowanie zaawansowanych struktur tranzystorów HEMT AlGaN/GaN. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K26] WIELGUS M., GROCHOWSKI J., KAMIŃSKA E., PATORSKI K.: Continuous Wavelet Transform for d-Space Distribution Analysis in Nanocrystallic Materials. Advanced Topics, in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies. Konstancja, Rumunia, 23–26.08.2012 (ref.).

[K27] WZOREK M., GUZIEWICZ M., CZERWIŃSKI A., RATAJCZAK J., PIOTROWSKA A., KĄTCKI J.: Mikrostruktura wielowarstwowych metalizacji kontaktowych Ti/TaSiN/Ag oraz Ni/Au do n-SiC. XI Kraj. Konf. Elektroniki, Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (plakat).

[K28] ZGIRSKI M., NOWEK A., TRUSHKIN S., KRUSZKA R., KAMIŃSKA E., PIOTROWSKA A.: Wytwarzanie bramki typu T tranzystora HEMT metodą litografii elektronowej. XI Kraj. Konf. Elektroniki. Darłówko Wschodnie, 11–14.06.2012 (ref.).

[K29] ZYTKIEWICZ Z.R., SOBAŃSKA M., KLOSEK K., RESZKA A., WIERZBICKA A., KRUSZKA R., GOŁASZEWSKA-MALEC K., SETKIEWICZ M., PUSTELNY T.: MBE Growth of GaN Nanowires on Si(111) Substrates for Gas Sensor Applications. The 14th Int. Meet. on Chemical Sensors. Norymberga, Niemcy, 20–23.05.2012 (plakat).

Patenty'2012

[PA1] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M.: Sposób wytwarzania tranzystora HEMT. Zgł. pat. nr P.398719 z dn. 4.04.2012.

[PA2] GUZIEWICZ M., KAMIŃSKA E.: Metalizacja do półprzewodnikowych materiałów termoelektrycznych na bazie PbTe oraz sposób wykonania tej metalizacji. Zgł. pat. nr P399296 z dn. 25.05.2012.

[PA3] EKIELSKI M., SIDOR Z., JUCHNIEWICZ M.: Sposób wykonania wzorów trójwymiarowych dla technologii przyrządów półprzewodnikowych. Zgł. pat. nr 399788 z dn 3.07.2012.