

WPLYW TRAWIENIA PODŁOŻY 4H-SiC NA EPITAKSJĘ GaN

Piotr Caban^{1,2}, Kinga Kościewicz^{1,3}, Włodzimierz Strupiński¹, K. Pagowska⁴,
R. Ratajczak⁴, Marek Wójcik¹, Jarosław Gaca¹, Andrzej Turos^{1,4}, J. Szmidt²

Przedstawiono wyniki prób osadzania azotku galu na podłożach z węgliku krzemu w technologii epitaksji ze związków metalorganicznych w fazie pary w obniżonym ciśnieniu (LP MOVPE). W szczególności zbadano wpływ trawienia podłoża oraz ich odchylenia od osi (0001) na morfologię powierzchni oraz strukturę krystalograficzną osadzanego GaN. Stwierdzono, że trawienie podłoża ma wpływ na chropowatość powierzchni warstw epitaksjalnych, ale również poprawia strukturę krystalograficzną. Warstwy GaN zostały scharakteryzowane przy wykorzystaniu pomiarów AFM, HRXRD, RBS oraz pomiaru efektu Hall'a. Zaobserwowano, że najbardziej odpowiednim z analizowanych podłoży do epitaksji GaN jest 4H-SiC są te, które nie mają odchylenia od osi kryształu (0001).

Słowa kluczowe: LP MOVPE, GaN, 4H-SiC

WSTĘP

Znaczna poprawa efektywności przyrządów bazujących na GaN jest możliwa tylko przez poprawę podłoża, rozumianej, jako zmniejszenie ilości defektów, które mogą propagować się z podłoża do warstwy oraz dopasowania stałych sieci warstwy

¹ Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, e-mail:piotr.caban@itme.edu.pl

² Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

³ Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa

⁴ Instytut Problemów Jądrowych, 05-400 Świerk/Otwock

epitaksjalnej. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie podłoży do homoepitaksji z GaN, co niestety obecnie jest nadal rozwiązaniem zbyt drogim i hamuje rozwój przyrządów z azotku galu.

Aktualnie uważa się, że najlepszym podłożem do epitaksji jest węgiel krzemu (SiC). Małe niedopasowanie sieciowe (3.4%) pozwala nawet na otrzymanie GaN o strukturze kubicznej, która jest strukturą o większej symetrii niż struktura wurcytu i eliminuje efekt polaryzacji kryształu. Inne właściwości SiC są też lepsze niż innych półprzewodników. Wysokie przewodnictwo termiczne oraz współczynnik rozszerzalności termicznej zbliżony do GaN, klasyfikuje go jako najlepszy materiał podłożowy do epitaksji GaN, w szczególności do struktur mających zastosowanie w półprzewodnikowych przyrządach mocy. Właściwości SiC pozwalają na zastosowanie go jako podłoża w strukturach przyrządów wysokiej mocy, o podwyższonej temperaturze pracy i odporności na działanie dużego natężenia pola elektromagnetycznego, czyli tak powszechnych dzisiaj urządzeniach telekomunikacji bezprzewodowej (np.: Wi-Fi, GSM), a w szczególności w systemach radarowych.

Wiadomym jest, że proces przygotowania podłoży ma duży wpływ na otrzymywane na warstwach epitaksjalnych przyrządy i może bardzo zmniejszyć chropowatość warstwy epitaksjalnej. Komercyjne podłoża SiC, ze względu na trudny proces obróbki kryształu, zwykle pokryte są rysami. Typowy przykład powierzchni płytki komercyjnej pokazuje Rys.1a. Słaba morfologia podłoża nie jest akceptowalna przy wzroście warstw epitaksjalnych, istnieją jednak metody przygotowania podłoży do wzrostu, które wykonują specjalizujące się w tym laboratoria (np. Novasic), nie podając jednak szczegółów procesu obróbki. Istnieją również przykłady przygotowania podłoży w trakcie wzrostu (*in-situ*) w specjalnym procesie trawienia [1].

O możliwościach poprawy świadczą warstwy epitaksjalne o bardzo niskiej chropowatości (RMS blisko 0.3 nm), które uzyskano przy wytwarzaniu struktur HEMT bazujących na GaN [2]. Najniższą chropowatość powierzchni (RMS = 0.18 nm) udało się uzyskać w przypadku wzrostu GaN na podłożach SiC zorientowanych wzdłuż płaszczyzny krystalograficznej m kryształu [3]. Udało się także uzyskać znaczną poprawę doskonałości krystalicznej warstw, o czym świadczy zmniejszenie szerokości połówkowych refleksu 200 pochodzącego od warstwy epitaksjalnej GaN, mierzonych za pomocą techniki HRXRD nawet do ~ 50 arcsec [2, 4]. Istnieją również doniesienia o zaletach wzrostu GaN na zorientowanych podłożach SiC [5].

Celem przeprowadzonych badań było pokazanie wpływu dezorientacji oraz przygotowania podłoży przed wzrostem GaN na jego strukturę krystalograficzną i morfologię. Przedstawione badania pokazują, że wzrost azotku galu na podłożach 4H-SiC zorientowanych wzdłuż kierunku (0001), połączony z procesem przygotowania podłoża prowadzi do poprawy jakości uzyskiwanych warstw epitaksjalnych.

2. EKSPERYMENT

Cześć doświadczalna pracy została podzielona na dwie części. W pierwszej opisano przygotowanie podłoży do wzrostu, natomiast w drugiej – osadzanie azotku galu. W prezentowanych badaniach jako podłoża do epitaksji wykorzystano płytki podłożowe typu N, 4H-SiC o orientacji (0001) oraz z dezorientacją 4° i 8° w kierunku (11-20). Dla zbadania wpływu domieszkowania podłoża na proces epitaksji wykonano proces osadzania, w którym wykorzystano podłoża 4H-SiC półizolacyjne (SI), o orientacji (0001) oraz z dezorientacją 8° w kierunku (11-20).

Przygotowanie podłoża oraz epitaksja GaN dotyczyły strony o polarności krzemowej SiC. Płytki podłożowe zostały pocięte na kawałki o rozmiarze 1.5 cm x 1.5 cm, umyte w alkoholu, wodzie dejonizowanej i wysuszone w azocie. Następnie połowa z nich została poddana specjalnemu procesowi przygotowania podłoży, który został opisany poniżej, a pozostała część podłoży została użyta jako podłoża o przygotowaniu powierzchni takim jak otrzymano od dostawcy komercyjnego płytek „epi-ready”.

Trawienie powierzchni podłoża zostało przygotowane w reaktorze do osadzania chemicznego w atmosferze gazowej z gorącymi ścianami, z poziomym grzejnikiem grafitowym pokrytym SiC i TiC, grzany indukcyjnie przez generator RF. Trawienie odbywało się w mieszaninie $H_2 + C_3H_8$ [6], w temperaturze ~1600°C przez 10 minut. Warunki w jakich przeprowadzono procedurę przygotowania podłoży były optymalne dla podłoży SiC, z odchyleniem 8° od osi kryształu [7]. Aby uzyskać powtarzalność oraz możliwość porównania wyników eksperymentu trawienie podłoży zostało przeprowadzone podczas jednego procesu. Następnie osadzono azotek galu, również podczas jednego procesu wzrostu na podłożach trawionych (oznaczonych E) oraz na podłożach z powierzchnią przygotowaną przez producenta - podłoży nietrawionych (oznaczonych N).

Warstwy GaN zostały osadzone na węglu krzemu (podłoża z powierzchnią trawioną i z wykończeniem producenta) w urządzeniu AIX 200/4 RF-S do epitaksji związków półprzewodnikowych ze związków metalorganicznych w fazie pary w obniżonym ciśnieniu (LP MOVPE). Na początku wzrostu osadzona została, jako warstwa zwilżająca 100 nm warstwa AlN [8-9], a następnie warstwa GaN ~1300 nm.

Źródłem reagentów były: trójmetylek aluminium (TMAI, 20 ml/min), trójmetylek galu (TMGa, 20 ml/min) i amoniak (NH_3 , 2000 ml/min jednakowo dla AlN oraz GaN). Temperatura wzrostu dla AlN to 1070°C i 1115°C dla GaN. Ciśnienie w reaktorze zostało ustalone na 50 mbar dla obydwu warstw. Jako gaz nośny został wykorzystany wodór oczyszczony w oczyszczalnikach palladowych. W przeciwieństwie do osadzania GaN na szafirze z procedury wzrostu usunięto wygrzewanie podłoży w wodorze w wysokiej temperaturze.

Zbadano wpływ trawienia podłoży SiC oraz dezorientacji podłoża na wzrost GaN oraz warstwy zwilżającej AlN, natomiast na warstwach osadzonych na podłożach

półizolacyjnych zmierzono również efekt Hall'a. Morfologia powierzchni podłoży oraz osadzonych warstw została zanalizowana mikroskopem optycznym z kontrastem Nomarskiego oraz mikroskopem sił atomowych (AFM).

Pomiary rentgenowskie zostały przeprowadzone przy zastosowaniu wysokorozdzielczego dyfraktometru rentgenowskiego, którego układ optyczny wyposażony jest w monochromator germanowy Bartelsa wykorzystujący odbicie od płaszczyzn sieciowych 440. Wykorzystano ceramiczną lampę rentgenowską produkcji firmy Philips z anodą miedziową wytwarzającą wiązkę promieniowania rentgenowskiego o długości 0.15405 nm. Mierzono szerokość połówkową σ_{\perp} symetrycznego refleksu 200, pochodzącego od warstwy epitaksjalnej GaN, zarejestrowaną metodą skanowania przestrzeni odwrotnej kryształu w kierunku prostopadłym ($\theta/2\theta$ scan mode) do płaszczyzn odbijających, a także szerokość połówkową σ_{\parallel} tego refleksu zarejestrowaną metodą skanowania w kierunku równoległym (ω scan mode) do wspomnianych płaszczyzn [10].

Pomiary RBS/channeling zostały wykonane przy wykorzystaniu ionów ^4He o energii 3.77 MeV w IIM, Forschungszentrum w Dreźnie.

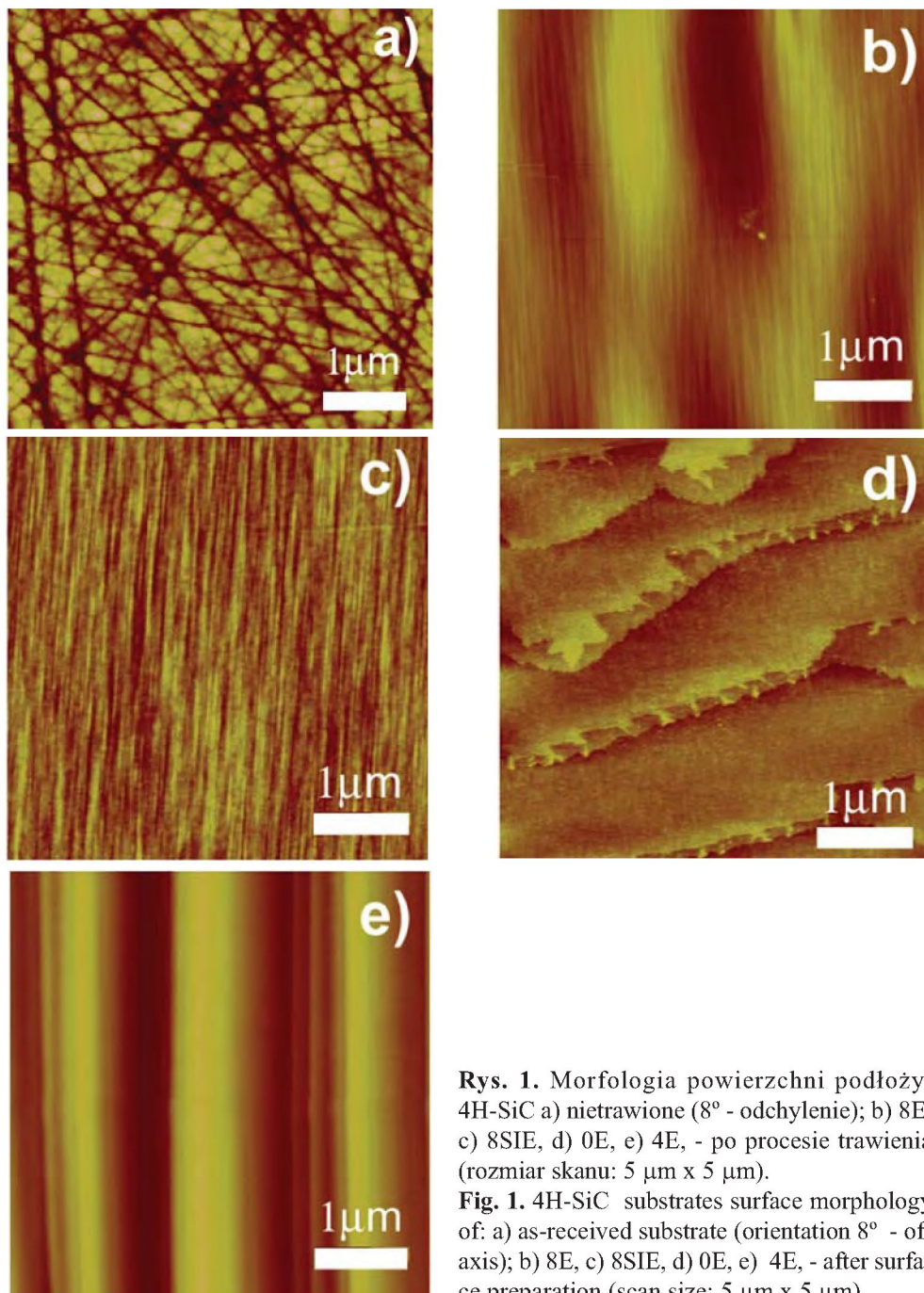
Wszystkie warstwy GaN osadzone na półizolacyjnych i przewodzących podłożach nietrawionych i trawionych wykazywały wysoką rezystywność (na osadzonych warstwach nie można zmierzyć efektu Hall'a).

3. REZULTATY I DYSKUSJA WYNIKÓW

Efekt polepszenia jakości powierzchni podłoży w wyniku trawienia, miał miejsce na wszystkich badanych podłożach. Porównanie Rys. 1a z pozostałymi (Rys. 1b – 1e) pokazuje, że podczas przygotowania podłoża mieszanina wodoru i propanu reaguje z powierzchnią SiC i usuwa z niej rysy.

Analiza otrzymanych warstw oraz efektów trawienia w nanoskali (AFM) wykazała, że proces przygotowania podłoży z odchyleniem od osi kryształu (0001) zachodzi w odmienny sposób niż dla innych orientacji. Należy zaznaczyć, że zastosowane w procesie przygotowania badanych podłoży warunki trawienia zostały zoptymalizowane dla podłoży przewodzących tylko dla podłoży typu N, 4H-SiC z 8° odchyleniem od osi (0001). Wynika to z faktu, że proces ten został opracowany dla urządzenia CVD wykorzystywanego do homoepitaksji SiC, w której wykorzystuje się głównie podłoża z 8° odchyleniem od osi (0001).

Dla tej dezorientacji podłoża, wyniki AFM (Rys. 1b-c) pomiaru jednorodności powierzchni pokazały, że próbki 8E i 8SIE są lepsze niż 8N i 8SIN. W Tabeli 1 przedstawiono rezultaty pomiarów chropowatości dla badanych dezorientacji podłoży. W przypadku 0N i 0E (Rys. 1d) proces przygotowania podłoży również zmniejszył chropowatość powierzchni podłoży. Zastosowane warunki trawienia zmieniły wartość RMS z 1.84 nm do 0.05 nm (R_a z 1.49 nm do 0.11 nm).



Rys. 1. Morfologia powierzchni podłoży: 4H-SiC a) nietrawione (8° - odchylenie); b) 8E, c) 8SIE, d) 0E, e) 4E, - po procesie trawienia (rozmiar skanu: $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$).

Fig. 1. 4H-SiC substrates surface morphology of: a) as-received substrate (orientation 8° - off axis); b) 8E, c) 8SIE, d) 0E, e) 4E, - after surface preparation (scan size: $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$).

Tabela 1. Chropowatość powierzchni mierzona AFM (w nm) dla próbek: nietrawionych (N) oraz trawionych (E) z różnym odchyleniem od osi, a także warstw GaN osadzonych na podłożach bez trawienia (N-GaN) i trawionych (E-GaN).

Table 1. The AFM surface roughness results (in nm) for: as-received (N) and etched (E) differently off-cut substrates and also for GaN layer on the as-received (N-GaN) and etched (E-GaN) substrates.

Odchylenie podłoża [deg]	[nm]	N	E	N-GaN	E-GaN
0	RMS	1.84	0.05	1.90	0.06
	Ra	1.49	0.11	1.50	0.14
4	RMS	1.64	11.39	1.60	7.48
	Ra	1.25	9.53	1.36	6.40
8	RMS	1.75	1.37	2.21	1.36
	Ra	1.37	1.22	1.89	1.36
8SI	RMS	1.32	0.10	1.31	1.59
	Ra	0.96	0.17	1.17	1.26

Niestety proces ten nie nadaje się do trawienia podłoża z odchyleniem 4° , po usunięciu rys, powierzchnia zaczyna trawić się selektywnie i chropowatość powierzchni dramatycznie wzrasta (Rys. 1e).

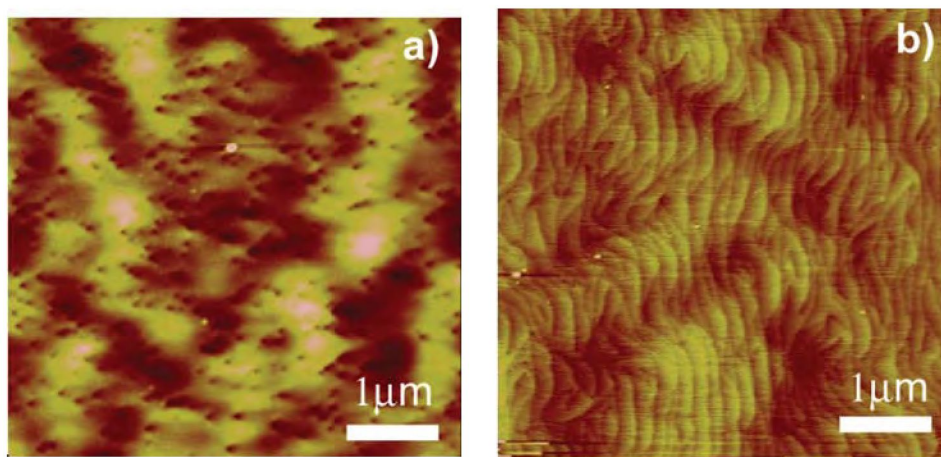
Wyniki chropowatości powierzchni warstwy azotku galu osadzonej na analizowanych podłożach przedstawiono w Tabeli 1.

Można wnioskować, że w przypadku warstw osadzanych na podłożach z odchyleniem 8° proces przygotowania podłoża ma wpływ na chropowatość warstwy GaN tylko w przypadku SiC typu N. Dla SI SiC nie ma poprawy wartości RMS, natomiast w przypadku warstw trawionych osadzonych na podłożach z odchyleniem 4° warstwa epitaksjalna powieliła morfologię podłoża, w rezultacie otrzymana warstwa jest bardzo chropowata.

Najlepsze wyniki uzyskano dla podłoża z odchyleniem 0° . Chropowatość powierzchni warstwy GaN osadzonej na podłożu 0E osiągnęła najniższą wartość w porównaniu do podłoża z inną dezorientacją. Dzięki przedstawionemu sposobowi przygotowania podłoża, bez optymalizacji warunków trawienia tej orientacji, zdołano zmniejszyć wartość RMS z 1.90 nm ($R_a = 1.50$ nm) do RMS = 0.06 nm ($R_a = 0.14$ nm).

Również odchylenie podłoża ma duży wpływ na epitaksję GaN. Warstwy GaN na podłożach z odchyleniem od kierunku (0001) charakteryzują się większą wartością chropowatości powierzchni niż warstwy osadzone na podłożach z 0° odchyleniem

od osi kryształu. W przypadku wzrostu na podłożach z odchyleniem na powierzchni warstwy epitaksjalnej pojawia się duża ilość defektów (nanodziurek) (Rys. 2a). Związane jest to z kształtem powierzchni warstwy zwilżającej AlN. W przypadku wzrostu na podłożach zorientowanych niejednorodność powierzchni osadzanego AlN wypełnia GaN i zapewnia przejście z trójwymiarowego do dwuwymiarowego modu wzrostu warstwy epitaksjalnej. Dzieje się tak również w przypadku podłoży z odchyleniem, jednak kosztem powstania nanodziurek na powierzchni warstwy epitaksjalnej. Na Rys. 3 przedstawiono symulację obrazu powierzchni AlN uzyskaną za pomocą mikroskopu sił atomowych.



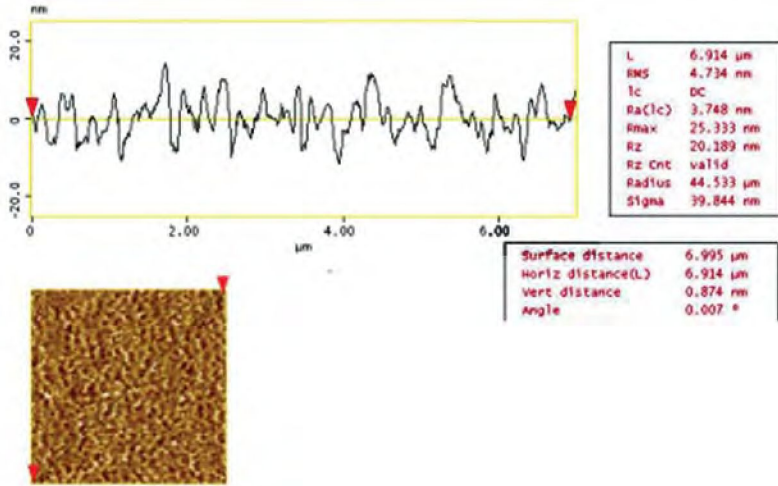
Rys. 2. Morfologia powierzchni GaN osadzonego na: a) 4H-SiC 8° - odchylenie (8E), b) 4H-SiC 0° - odchylenie (0E). Rozmiar skanu 5 μm x 5 μm.

Fig. 2. Surface morphology of a GaN grown on: a) 4H-SiC 8° - off axis (8E), b) 4H-SiC 0° - off axis (0E). The scan size is 5 μm x 5 μm.

W przypadku wzrostu na podłożach z odchyleniem 0° (Fig. 2b), mamy do czynienia z dyslokacjami krawędziowymi, śrubowymi oraz mieszanymi (dla 0E-GaN gęstość dyslokacji wynosi $(3-4) \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$) ale w porównaniu z warstwami GaN osadzonymi na podłożach z odchyleniem, to ciągle niewielka liczba (np. dla 8E-GaN gęstość dyslokacji wynosi $(1-2) \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$).

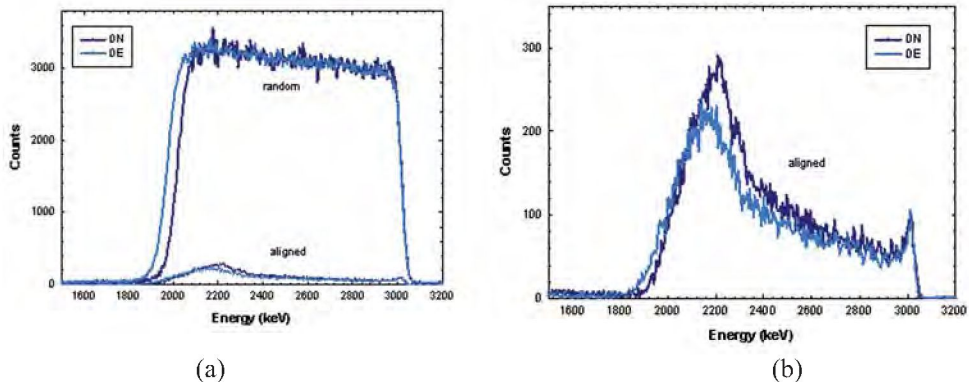
Wyniki pomiarów rentgenowskich zostały przedstawione w Tabeli 2. Poszerzenie σ_{\perp} symetrycznego refleksu 200 pochodzącego od warstwy epitaksjalnej GaN mierzone w kierunku prostopadłym do płaszczyzn odbijających zależy od wielkości bloków i od wartości naprężeń, w kierunku wzrostu systemu epitaksjalnego. Jest ono odwrotnie proporcjonalne do doskonałości krystalicznej systemu w tym kierunku. Natomiast poszerzenie σ_{\parallel} tego refleksu mierzone w kierunku równoległym do płaszczyzn odbijających zależy jedynie od lateralnej jakości strukturalnej systemu epitaksjalnego i jest odwrotnie proporcjonalne do lateralnej doskonałości warstwy.

Wyniki rentgenowskie pokazały poprawę struktury krystalograficznej azotku galu osadzanego na podłożach trawionych. Przygotowanie podłoża ma wpływ na mozaikowość struktury osadzonego GaN poprzez redukcję dezorientacji ziaren (pochylenie i obrót) względem siebie co można obserwować po zmianie wartości poszerzenia σ_H .



Rys. 3. Symulacja obrazu powierzchni warstwy zwilżającej AlN osadzonej na podłożu nietrawionym 4H-SiC z 8° odchyleniem otrzymana przez AFM (rozmiar skanu 7 μm x 7 μm) wraz z przekrojem.

Fig. 3. Surface morphology (AFM) of a AlN wetting layer deposited on a 4H-SiC 8° - off axis. The scan size is 7 μm x 7 mm.



Rys. 4. (a) Widmo random i aligned pomiaru RBS/channeling dla próbki 0° - odchylenia 4H-SiC (0E – trawiona, 0N – nietrawiona); (b) widmo aligned (tylko pik Ga). Grubość próbki jest liniową funkcją energii jonów rozproszonych [11].

Fig. 4. (a) Random and aligned RBS/channeling spectra for 0° off-cut 4H-SiC (0E – etched, 0N – not-etched); (b) aligned spectra (Ga peak only). Thickness of the epilayer is a linear function of energy [11].

Tabela 2. Wyniki XRD FWHM (w arcsec) dla epitaksji AlN(warstwa zwilżająca)/GaN na 4H-SiC typu N ze stopniem dezorientacji 0°, 4°, 8° oraz półizolującej 4H-SiC z odchyleniem 8° oznaczonej jako 8SI. Z powodu bardzo szerokiego pików pochodzącego od SiC nie można było zmierzyć σ_{\perp} oraz σ_{\parallel} dla warstw AlN osadzonych na podłożach z 8° odchyleniem.

Table 2. XRD FWHM results (in arcsec) for AlN (wetting layer)/GaN deposited on 4H-SiC N-type with the misorientation angle 0°, 4°, 8° and for semiinsulating 4H-SiC 8° off-axis marked as 8SI. Due to wide peak of the SiC substrates it was not able to get the value of σ_{\perp} and σ_{\parallel} for the AlN layers deposited on substrates with 8° off-cut.

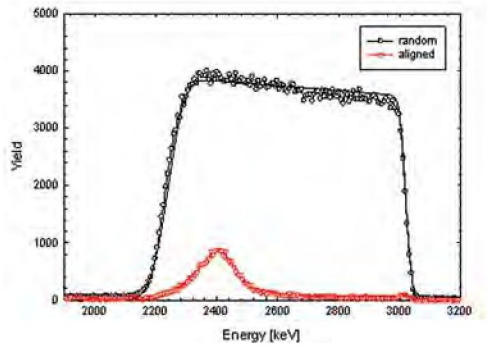
Odchylenie podłoża [deg]	σ_{\perp} [arcsec]				σ_{\parallel} [arcsec]			
	N-AlN	E-AlN	N-GaN	E-GaN	N-AlN	E-AlN	N-GaN	E-GaN
0	87	28	136	40	78	80	275	80
4	157	60	199	95	85	123	276	206
8	-	-	72	85	-	-	197	184
8SI	-	-	100	78	-	-	188	60

Jednak, ze względu na wpływ na parametry przyrządów, najważniejszy, jak się wydaje, jest stopień uporządkowania krystalograficznego w kierunku wzrostu warstwy epitaksjalnej GaN. Miarą tego uporządkowania, jak wcześniej wspomniano, jest poszerzenie σ_{\perp} . Najlepszy wynik uzyskano dla 0N-GaN (FWHM = 40 arcsec) oraz 8SIE-GaN (FWHM = 78 arcsec).

Pomiary warstw AlN/GaN techniką RBS/channeling pokazały, że przygotowanie podłoży poprawia jakość krystaliczną osadzanych warstw epitaksjalnych. Jednak najważniejszy wynik uzyskano dla warstw osadzanych na podłożach trawionych, zorientowanych (0E). Na Rys. 4a. pokazano widmo RBS/channeling dla GaN osadzonego na podłożu nietrawionym 0N oraz trawionym 0E. Duży pik o energii w zakresie 1900-3000 keV odpowiada rozpraszaniu przez atomy Ga natomiast ciągłe widmo przy niższych energiach powstaje przez rozpraszanie atomów podłoża. Szerokość pików pochodzącego od rozpraszania na atomach Ga określa grubość warstwy GaN. W przypadku próbek osadzanych na 0N i 0E grubość ta wynosi 1500 nm. Widmo mierzone na próbce o powierzchni próbki zorientowanej (Rys. 4b) prostopadle do wiązki jonów pokazało właściwą strukturę krystalograficzną badanych warstw. Im mniejsza wartość rozpraszania, tym mniejsza koncentracja defektów. Duża koncentracja defektów w pobliżu interfejsu SiC/AlN/GaN (w okolicach energii jonów rozproszonych 2200 keV) jest typowa dla wzrostu heteroepitaksjalnego GaN, a w tym przypadku związane z warstwą zwilżającą AlN. Liczba zgromadzonych defektów, w tym obszarze, jest trzykrotnie niższa w przypadku wzrostu na podłożach SiC niż na podłożach szafirowych (Rys. 5) .

Według wyników RBS/channeling warstwa GaN jest zdeformowana od interfejsu aż do 400 nm od niego. Część warstwy znajdująca się powyżej jest dobrej jakości,

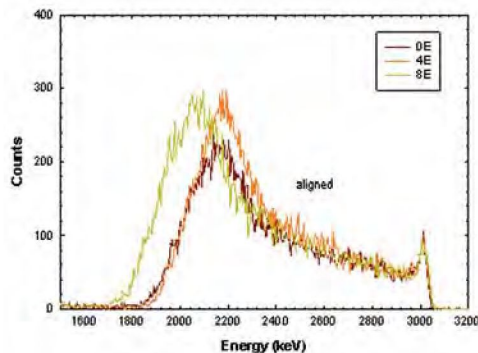
jednak można zaobserwować pewne różnice. Przez współczynnik χ_{min} można opisać stosunek jonów rozproszonych na próbce w pomiarze zorientowanym (aligned) oraz niezorientowanym (random) do powierzchni próbki. Dla bardzo dobrych warstw GaN χ_{min} jest bliskie $\approx 1.5\%$. Dla GaN na podłożach nietrawionych χ_{min} jest ponad 2% podczas gdy dla podłoży trawionych jest równe 1.5%, co jest bardzo dobrym wynikiem.



Rys. 5. Widma random i aligned pomiaru RBS/channeling dla próbki GaN osadzonej na podłożu szafirowym.

Fig. 5. Random and aligned RBS/channeling spectra for GaN epilayer deposited on a sapphire substrate.

Z otrzymanych rezultatów (Rys.6) wynika również fakt, że liczba defektów gromadzących się na interfejsie podłoże/warstwa zwiększa się wraz ze stopniem odchylenia podłoża.



Rys. 6. Widma aligned pomiaru RBS/channeling dla próbek 4H-SiC trawionych (E): 0°, 4° i 8° odchylenia.

Fig. 6. Aligned RBS/channeling spectra for the etched (E) samples 4H-SiC: 0°, 4° i 8°.

PODSUMOWANIE

Osadzono azotek galu na podłożach 4H-SiC o różnych dezorientacji 0°, 4°, 8°. Porównano również wpływ przygotowania podłoża do epitaksji. Pomiary chropowatości powierzchni osadzonego GaN pokazały, że właściwe trawienie podłoża przed wzrostem ma kluczowy wpływ na powierzchnię osadzonej warstwy. Najlepszy wynik $RMS = 0.06 \text{ nm}$ ($R_a = 0.14 \text{ nm}$) uzyskano dla warstwy GaN osadzonej na trawionym podłożu 4H-SiC zorientowanym w kierunku (0001), jest on trzykrotnie lepszy niż doniesienia literaturowe.

Również wyniki pomiarów rentgenowskich pokazały, że najlepszą jakość struktury krystalicznej uzyskano dla warstw osadzonych na trawionych podłożach: 4H-SiC 0° - odchylenia. Wysoką jakość GaN na trawionych 4H-SiC z 0° - odchylenia, potwierdziły badania RBE/channeling.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów efektu Hall'a sugerują wysoką rezystywność otrzymanych warstw.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Xie Z. X., Wei C. H., Li L. Y., Edgar J. H., Chaudhuri J., Ignatiev C.: *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.* 4S1, G3.39, (1999)
- [2] di Forte Poisson, M.-A.; Magis, M.; Tordjman, M.; Aubry, R.; Sarazin, N.; Peschang, M.; Morvan, E.: LP-MOCVD growth of GaAlN/GaN heterostructures on silicon carbide: application to HEMT devices, *J. Crystal Growth*, 272, (2004), 305-311
- [3] Kawashima T., Nagai T., Iida D., Miura A., Okadome Y., Tsuchiya Y., Iwaya M., Kamiyama S., Amano H., Akasaki I.: Epitaxial lateral growth of m-plane GaN and Al_{0.18}Ga_{0.82}N on m-plane 4H-SiC and 6H-SiC substrates, *J. Crystal Growth* 298, (2007), 261–264
- [4] M.-A. Di Forte-Poisson, Romann A., Tordjman M., Magis M., J. Di Persio, Jacques Ch., Vicente P.: LP MOCVD growth of GaN on silicon carbide, *J. Crystal Growth* 248, (2003), 533–536
- [5] Rudzinski M., Jezierska E., Weyher J. L., Macht L., Hageman P. R., Borysiuk J., Rödle T. C., Jos H. F., Larsen P. K., *Physica Status Solidi*, 204, 12, , (2007), 4230-4240
- [6] Hallin C., Owman F., Martensson P., Ellison A., Konstantinov A., Kordina O., Janzen E.: In situ substrate preparation for high-quality SiC chemical vapour deposition, *J. Crystal Growth*, 181, (1997), 241-253
- [7] Strupiński W., Kosciwicz K., Weyher J., Olszyna A.: International Conference Silicon Carbide and Related Materials 2007 (ICSCRM2007)
- [8] Boeykens S., Leys M.R., Germain M., Belmans R., Borghs G.: Influence of AlGaIn nucleation layers on structural and electrical properties of GaN on 4H-SiC, *J. Crystal Growth.*, 272, (2004), 312-317

- [9] Moran B., Wu F., Romanov A.E., Mishra U.K., Denbaars S. P., Speck J. S.: Structural and morphological evolution of GaN grown by metalorganic chemical vapor deposition on SiC substrates using an AlN initial layer, *J. Crystal Growth*, 273, (2004), 38-47
- [10] Luger P.: Rentgenografia strukturalna monokryształów, PWN Warszawa 1989
- [11] Tesmer J. R., Nastasi M. (red): Handbook of modern ion beam materials analysis, *Materials Research Society*, Pittsburg, 1995, s. 46, rozdz. 4.2.4.2

SUMMARY

THE INFLUENCE OF THE 4H-SiC SUBSTRATS ETCHING ON GAN EPITAXY

The influence of surface preparation and off-cut of 4H-SiC substrates on morphological and structural properties of GaN grown by low pressure metalorganic vapour phase epitaxy was studied. Substrate etching has an impact on the surface roughness of epilayers and improves its crystal quality. The GaN layers were characterized by AFM, HRXRD, RBS/channelling and Hall effect measurements. It was observed that on-axis 4H-SiC is most suitable for GaN epitaxy and that substrate etching improves the surface morphology of epilayer.

Key words: LP MOVPE, GaN, 4H-SiC