

Wpływ światła na rezystancję powierzchniową heterostruktury AlGaIn/GaN

Streszczenie. Rezystancja powierzchniowa jest jednym z najczęściej wykorzystywanych parametrów elektrycznych wytworzonych cienkich warstw. Szczególną cechą rezystancji powierzchniowej jest jej skalowalność, którą często wykorzystuje się w ocenie jakościowej przyrządów półprzewodnikowych zaprojektowanych w różnej skali.

W pracy przedstawiono wpływ pobudzenia UV na GaN. Na podstawie zaprezentowanej metody zbadano wpływ światła na rezystancję powierzchniową oraz uzyskano charakterystykę widmową heterostruktury AlGaIn/GaN. Pomiary wykonano z wykorzystaniem struktury testowej typu Hall bar. Wzrost heterostruktury AlGaIn/GaN uzyskano metodą MOCVD. Pomiary przeprowadzono w temperaturze pokojowej natomiast czynnikiem pobudzającym było światło z zakresu 280-640 nm. W pracy zbadano i omówiono zmianę rezystancji powierzchniowej w funkcji długości fali światła pobudzającego, analizowano również obecność głębokich poziomów w heterostrukturze AlGaIn/GaN.

Abstract. Sheet resistance is most commonly used electrical parameters of thin films produced. A special feature of sheet resistance is its scalability, which is often used in the qualitative assessment of semiconductor devices designed at different scales. The paper presents the effect of UV excitation on GaN. Based of presented method, influence of light on sheet resistance was investigated and spectral characteristic of AlGaIn/GaN heterostructure were obtained. Based on presented method, influence of light on sheet resistance was examined and spectral characteristic of AlGaIn/GaN heterostructure were obtained. Measurements were made using the Hall bar test structure. Grown by obtained MOCVD methods. The Hall bar test structures were fabricated and investigated at room temperature and light in 280-640 nm range. The work examines and discusses the change of sheet resistance as a function light was also analyzed in the presence of deep level AlGaIn/GaN heterostructure. (**Light influence on the sheet resistance of AlGaIn/GaN heterostructure**).

Słowa kluczowe: rezystancja powierzchniowa, głębokie poziomy energetyczne, MOCVD, heterostruktura AlGaIn/GaN.

Keywords: sheet resistance, deep energy levels, MOCVD, AlGaIn/GaN heterostructure.

Wprowadzenie

Rezystancja powierzchniowa jest parametrem określającym rezystancję kwadratowego wycinka cieniwej warstw. Wytwarzanie warstw odbywa się metodami np. osadzania z fazy gazowej (PVD) lub osadzanie z par chemicznych związków metaloorganicznych (MOCVD).

Rezystancja powierzchniowa jest oznaczana symbolem R_s jak również R_{\square} (rezystancja na kwadrat). Przedstawiony parametr jest niezależna od skali badanej próbki, dlatego często jest wykorzystywany do porównania parametrów elektrycznych przyrządów wykonanych w różnej skali np tranzystorów HEMT. Rezystancję powierzchniową wykorzystuje się również w celu określenia jednorodności warstw rezystywnych i przewodzących, obszarów dyfuzyjnych i implantowanych, cienkich warstw homo- i hetero- epitaksjalnych osadzanych na izolacyjnych podłożach i obszarów z dwuwymiarowym gazem elektronowym (2DEG).

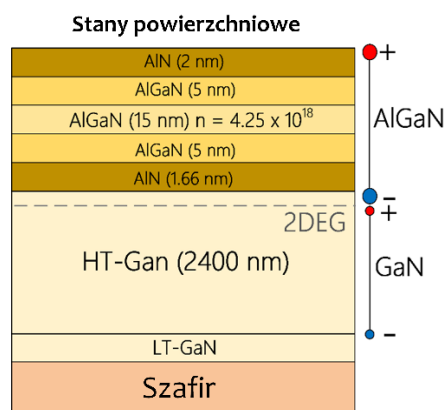
Tranzystory AlGaIn/GaN często są wykorzystywane w energetyce i telekomunikacji [1, 2]. Aby uzyskać dobre parametry elektryczne przyrządu ważny jest precyzyjny pomiar rezystancji powierzchniowej na podłożu AlGaIn/GaN z dwuwymiarowym gazem elektronowym [3].

W niniejszej pracy przedstawiono pomiary spektralne badanej heterostruktury, które porównano z pomiarami fotoluminescencji. W dotychczasowych pracach badano wpływ światła [4, 5, 6] na heterostrukturę AlGaIn/GaN, ale nie przeprowadzono badań spektralnych z wyznaczeniem krawędzi absorpcji i obserwacji występowania głębokich poziomów.

Eksperyment

Heterostruktura AlGaIn/GaN została wykonana na 2" podłożu szafirowym o orientacji typu C metodą osadzanie z par chemicznych związków metaloorganicznych (MOCVD). Heterostruktura składa się z następujących warstw począwszy od górnej warstwy AlN (2nm), AlGaIn (5 nm), n-AlGaIn (15 nm, $n_d = 4,25 \cdot 10^{18}$), AlGaIn (5 nm), AlGaIn (1,66 nm), HT-GaN (2400 nm), LT-GaN. Schematycznych układ osadzonych warstw przedstawiono na rys. 1. Wykonano pomiar koncentracji nośników 2DEG i prędkości nasycenia

w heterostrukturze AlGaIn/GaN, które wynoszą odpowiednio $N_{2DEG} = 2 \cdot 10^7$ cm/s, $v = 1 \cdot 10^{13}$ cm⁻².

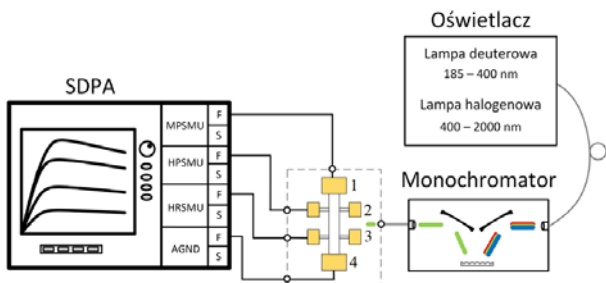


Rys.1. Schemat warstwowy heterostruktury AlGaIn/GaN wyhodowanym na podłożu szafirowym o płaszczyźnie C

Pomiary rezystancji powierzchniowej heterostruktury AlGaIn/GaN przeprowadzono na strukturze testowej Hall bar. Pomiar rezystancji powierzchniowej przeprowadzono oświetlając strukturę połączonym źródłem światła z lampy deuterowej i halogenowej. Monochromator Horiba microHR został wykorzystany do wyboru konkretnej długości fali pobudzającej strukturę testową. Szerokość widma monochromatora została ustawiona na 2 nm. Pomiary elektryczne wykonano przy użyciu analizatora parametrów przyrządów półprzewodnikowych N1500A (SPDA) z wykorzystaniem dodatkowych modułów pomiarowych. Pomiar wykonano w następujący sposób: pomiędzy kontaktami 1 i 4 wymuszono przepływ prądu. Pomiar napięcia przeprowadzono na kontaktach 2 i 3. Schemat pomiaru rezystancji powierzchniowej pokazano na rys. 2.

Struktura testowa była oświetlana długością fali w zakresie 280 do 400 nm przez lampę deuterową, natomiast w zakresie od 400 do 640 wykorzystano lampę

halogenową. W badanym zakresie pomiarowym utrzymywano stałą moc światła na poziomie 40 $\mu\text{W}/\text{cm}$. W wyniku oświetlenia struktury różną długością fali zostanie w sposób kontrolowany zaburzony rozkład ładunku wewnątrz heterostruktury. Nastąpi zmiana koncentracji stanów powierzchniowych oraz dwuwymiarowego gazu elektronowego. Zmiana koncentracji 2DEG będzie zauważalna w postaci zmian rezystancji powierzchniowej. Przypuszcza się, że podczas pomiaru zostaną zaobserwowane krawędzie pasm dla AlGaIn i GaN oraz innych związków.



Rys.2. Schemat blokowy stanowiska do pomiarów rezystancji powierzchniowej i zaniku fotoprzewodnictwa

Wykorzystując strukturę Hall bar i równanie 1 można obliczyć rezystancję powierzchniową znając wymiary geometryczne długość i szerokość struktury oraz znając różnicę potencjałów $U_2 - U_1$ i wartość wymuszonego prądu I .

$$(1) \quad R_S = \frac{U_2 - U_1}{I} \frac{L}{W} = \frac{L}{q\mu_n W N_{2DEG}}$$

gdzie: q - ładunek elektryczny, μ_n - ruchliwość nosników, N_{2DEG} - koncentracja dwuwymiarowego gazu elektronowego.

Wyniki

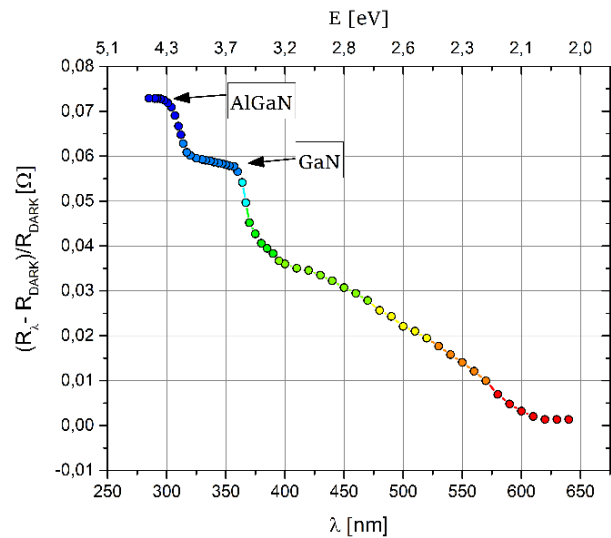
Charakterystyka przedstawiona na rys. 3 przedstawia względne zmiany rezystancji powierzchniowej R_S . W pierwszej kolejności wyznaczono rezystancję ciemną $R_{S\text{DARK}}$, a następnie wyznaczano rezystancję powierzchniową dla różnych długości fali $R_{S\lambda}$. W celu obliczenia zmian względnych R_S wykorzystano równanie 2.

$$(2) \quad \Delta R_S = \frac{R_{S\lambda} - R_{SDARK}}{R_{SDARK}}$$

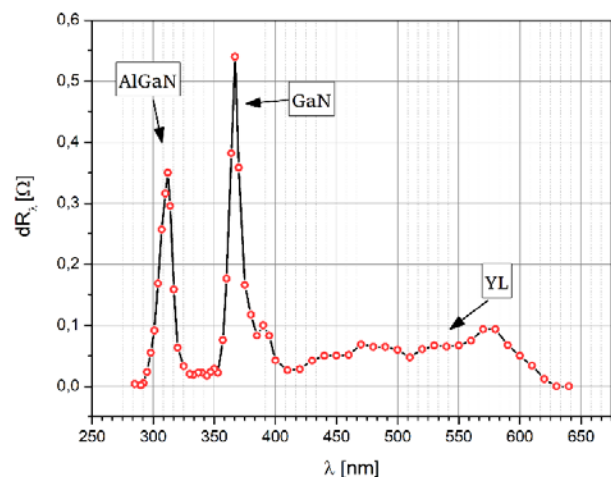
gdzie: ΔR_S - względne zmiany rezystancji powierzchniowej, $R_{S\text{DARK}}$ - rezystancja powierzchniowa ciemna, $R_{S\lambda}$ - oświetlona rezystancja powierzchniowa.

Wyznaczając wartości względnych zmian rezystancji powierzchniowej, a następnie wykreślając w funkcji długości fali można zaobserwować krawędzie absorpcji dla związków AlGaIn i GaN. Poniżej krawędzi absorpcji GaN wartości R_S nie osiągnęła rezystancji ciemnej ($R_{S\text{DARK}}$). Wykonując pomiar dla większych długości fali osiągnięto zbliżoną wartość $R_{S\text{DARK}}$ dopiero przy około 640 nm.

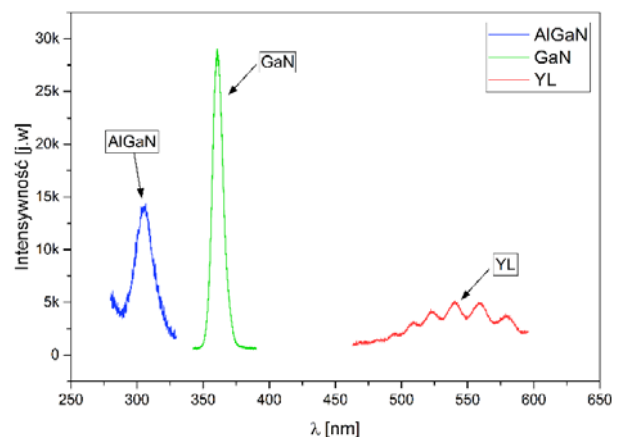
Wykorzystując charakterystykę 3, na jej podstawie wyznaczono względne przyrosty rezystancji powierzchniowej które przedstawiona na rys 4. Pomiar jak również metodykę pomiarową zweryfikowano wykonując pomiar fotoluminescencji przedstawiony na rys 5.



Rys.3. Zmiany rezystancji względnej w funkcji długości fali



Rys.4. Względne przyrosty rezystancji powierzchniowej w funkcji długości fali pobudzenia



Rys.5. Fotoluminescencja testowej heterostruktury

Oświetlenie heterostruktury AlGaIn/GaN coraz krótszymi długościami fali zaburza bilans ładunku w strukturze, w efekcie stany powierzchniowe zostają zapełnione. Uwolnione nośniki zwiększają koncentrację 2DEG (następuje zmniejszenie rezystancja powierzchniowej). Wykorzystując zaproponowaną metodę można wyznaczyć krawędzie pasm energetycznych, obecność głębokich poziomów, które przejawiają się w postaci względnych

przyrostów rezystancji powierzchniowej. Poprawność metody pomiarowej potwierdzono z pomiarem foluminescencji. Tego typu metoda pomiarowa umożliwia nie tylko analizę heterostruktury pod względem energetycznym, ale również analizę pod kontem parametrów elektrycznych, co może być bardzo przydatne w analizie fizycznej parametrów przyrządowych takich jak np. N_{2DEG} , μ_n .

Wnioski

Przedstawiona metoda pomiarowa umożliwia analizę energetyczną i elektryczną heterostruktury AlGaIn/GaN. Wyznaczenie krawędzi absorpcji heterostruktury AlGaIn/GaN na podstawie względnych przyrostów rezystancji powierzchniowej w funkcji długości fali pobudzenia. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że fotoprzewodnictwo ma wpływ na generację nosników w barierze i buforze oraz przejścia związane obecnością głębokich poziomów energetycznych odpowiedzialnych za występowanie tzw. żółtej luminescencji.

Podziękowania: praca była współfinansowana w ramach projektów narodowego centrum badań i rozwoju techmastrateg nr1/346922/4/ncbr/2017 i lider nr 027/533/1-5/13/ncbr/2014, projektu narodowego centrum nauki nr dec-2015/19/b/st7/02494, badań statutowych politechniki wrocławskiej oraz słowacko-polskiego programu współpracy międzynarodowej. Jej powstanie było możliwe dzięki wskaźnikom produktu i wskaźnikom rezultatu osiągniętym w ramach projektów współfinansowanych przez unię europejską w ramach europejskiego fundusz

rozwoju regionalnego, poprzez dotację zinnowacyjnej gospodarki (poig.01.01.02-00-00-008/08-05) oraz w ramach projektu narodowego centrum badań i rozwoju w ramach programu badań stosowanych nr. 178782.

Autorzy: mgr inż. Piotr Pokryszka, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Mikroelektroniki i Nanotechnologii, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław; dr inż. Bogdan Paszkiewicz, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Wydziałowy Zakład Mikroelektroniki i Nanotechnologii, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław.

LITERATURA

- [1] Mishra U.K., Parikh P., Wu Yi-Feng, AlGaIn/GaN HEMTs-an overview of device operation and applications, *Proceedings of the IEEE*, 90 (2002), 1022-1031
- [2] Palacios T., Chakraborty A., Rajan S., High-power AlGaIn/GaN HEMTs for Ka-band applications, *IEEE Electron Device Letters*, 26 (2005), ~781-783
- [3] Pokryszka P., Paszkiewicz B., MEASUREMENT OF AlGaIn/GaN HEMT, *Photonics and Microsystems*, 26 (2016), ~70-74
- [4] Yun-Chorng Chang, Effects of illumination on the excess carrier dynamics and variations of the surface states in an AlGaIn/GaN heterostructure, *Journal of Applied Physics*, 88 (2010)
- [5] Yun-Chorng Chang, Yun-Li Li, Tzung-Han Lin, Jinn-Kong Sheu, Structure with Sub-Bandgap Laser Light and Above-Bandgap Illuminations, *Japanese Journal of Applied Physics*, 46 (2007), 3382-3384