



Osadzanie warstw CdTe na podłożach GaAs metodą rozpylania katodowego

PAWEŁ MADEJCZYK, WALDEMAR GAWRON

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii,
Instytut Fizyki Technicznej, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki eksperymentów zmierzających do otrzymania warstw buforowych CdTe na podłożach GaAs. Chropowatość próbek z udanych eksperymentów zawiera się w przedziale 30-40 nm, co wstępnie kwalifikuje te warstwy do dalszych eksperymentów w systemie MOCVD. Uzyskano również dostateczną jednorodność grubości osadzonej warstwy CdTe na całej powierzchni podłoża GaAs. Badania struktury krystalograficznej otrzymanych warstw wykazały istnienie dwóch orientacji (100) i (111), co sugeruje, że otrzymane warstwy nie są monokrystaliczne.

Słowa kluczowe: CdTe, rozpylanie katodowe, podłoża GaAs

1. Wstęp

Warstwy CdTe mogą służyć jako powłoki pasywacyjne na heterostrukturach z HgCdTe lub jako warstwy buforowe między podłożami GaAs a osadzonymi warstwami HgCdTe. Pierwsze próby osadzania warstw CdTe w WAT metodą rozpylania katodowego były prowadzone kilkanaście lat temu [1, 2]. Jednakże zapotrzebowanie na warstwy buforowe CdTe o wysokiej gładkości powierzchni osadzanych na podłożach GaAs pojawiło się ostatnio wraz z rozwojem technologii MOCVD [3]. Jedną z przyczyn dużej chropowatości powierzchni warstw HgCdTe są słabej jakości buforowe CdTe otrzymywane w metodzie MOCVD lub MBE. Istnieje zatem potrzeba poszukiwania metod otrzymywania wysokiej jakości warstw CdTe na podłożach GaAs. Skłoniło to autorów niniejszej pracy do wznowienia procesów osadzania warstw CdTe na podłożach GaAs metodą rozpylania katodowego. Procesy rozpylania katodowego przeprowadza się najczęściej w podwyższonych temperaturach [4].

2. Opis eksperymentu

Eksperymenty były prowadzone w laboratorium Zakładu Fizyki Ciała Stałego WAT w Systemie L400 Sp firmy LEYBOLD AG (rys. 1). W celu sprawdzenia jakości buforów CdTe metodą rozpylania katodowego na podłożach GaAs przeprowadzono serię procesów osadzania.



Rys. 1. Zdjęcie Systemu L400 Sp firmy LEYBOLD AG

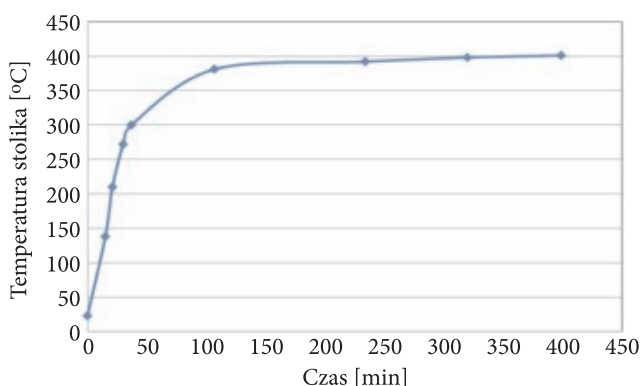
TABELA 1

Parametry procesów osadzania warstw CdTe na podłożach GaAs

Numer procesu	Numer podłoża /rodzaj	Rodzaj procesu	Próżnia wstępna [mbar]	Moc [W]	Czas	argon	Podgrzewanie stolika/ temp podłoża [°C]	Grubość [μm]
1	8/GaAs	CdTe/S	$1 \cdot 10^{-7}$	40	1 h 30'	20%	60/400	1
2	20/GaAs	E/CdTe/S	$9 \cdot 10^{-8}$	40	1 h 55'	20%	60/400	1,3
3	11/GaAs	CdTe/S	$2 \cdot 10^{-7}$	40	1 h 30'	20%	60/400	1
4	21/GaAs	CdTe/S	$2 \cdot 10^{-7}$	40	1 h 30'	20%	60/400	1

Zgodnie z danymi zamieszczonymi w tabeli 1 przedstawione procesy były prowadzone przy stałej mocy 40 W, natomiast temperatura podłoża wynosiła 400°C. Zawór przepustnicy argonu utrzymywany był w położeniu 20% i pozwalał na utrzymywanie próżni roboczej na poziomie $2 \cdot 10^{-3}$ mbara. Czas rozpylania wynosił od 1 h 30' do 1 h 55', co pozwoliło na otrzymanie warstw o grubości od odpowiednio 1 μm do 1,3 μm.

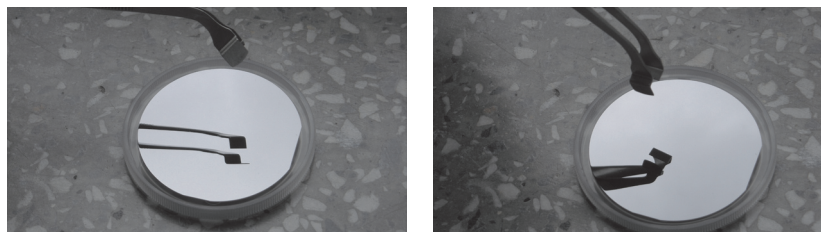
Po włożeniu podłoża do komory moment rozpoczęcia procesu jest uwarunkowany dwoma czynnikami. Po pierwsze próżnia wstępna powinna osiągnąć wartość $< 10^{-6}$ mbara, po drugie temperatura stolika powinna osiągnąć zadaną wartość. W zależności od historii stanowiska dostateczna próżnia wstępna jest osiągana po czasie od 0,5 godz do 2 godzin. Z rysunku 2 wynika, że czas, po którym stół osiąga zadaną temperaturę, to około 6 godzin. Jednakże ze względów ekonomicznych procesy rozpylania były rozpoczynane po około 2 godzinach. Jak wynika z rysunku 2, temperatura stolika jest już wtedy bliska w granicach błędu pomiarowego temperaturze zadanej. Odchylenia temperatury w granicach kilku procent od zadanej nie powinny mieć znaczącego wpływu na warunki osadzania. Zweryfikują tę hipotezę następane eksperymenty prowadzone w innych temperaturach.



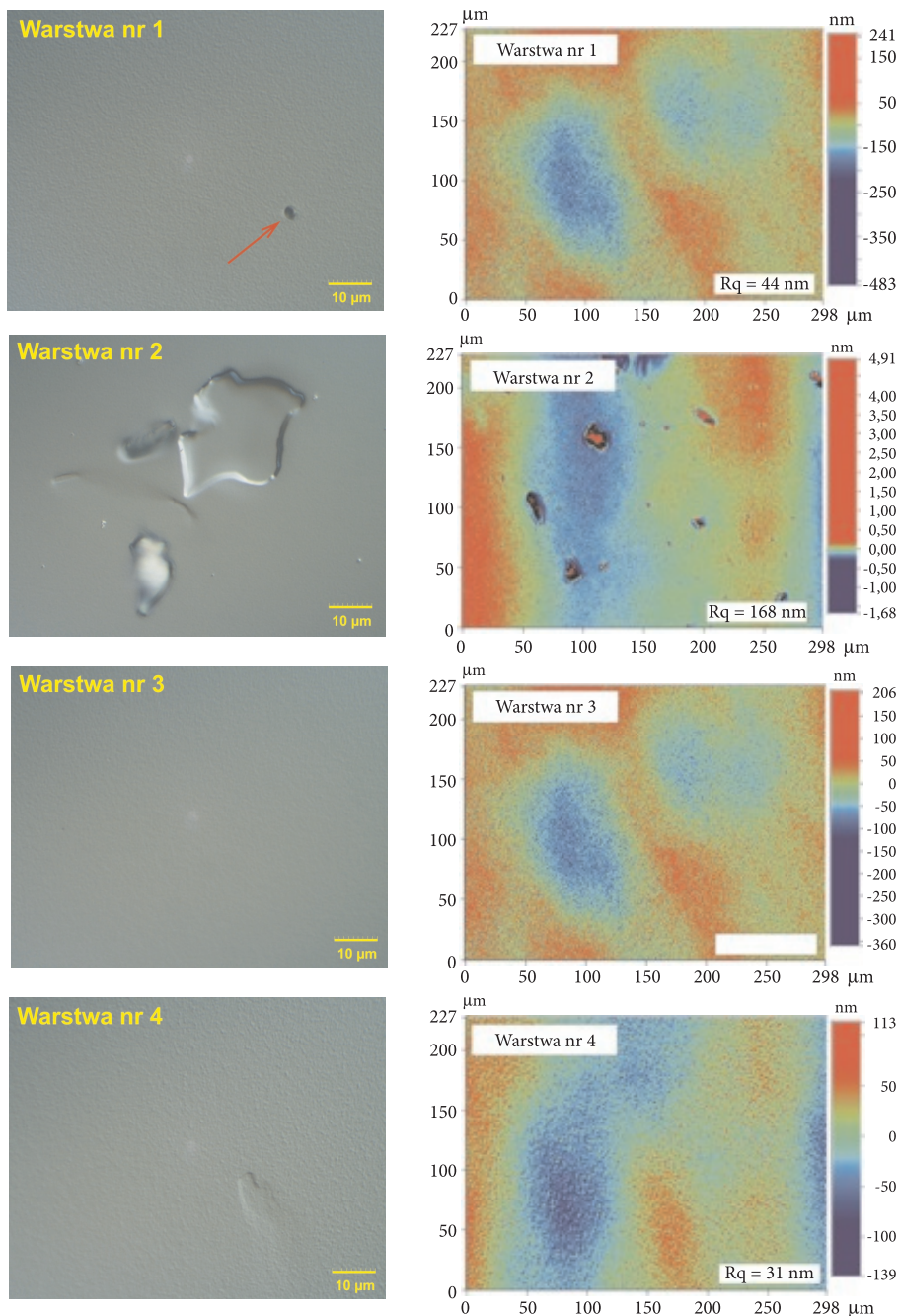
Rys. 2. Temperatura stolika w funkcji czasu jego podgrzewania

3. Charakteryzacja otrzymanych warstw

Pierwszym kryterium oceny jakości warstwy jest kontrola wzrokowa dokonywana nieodzwrotnie bezpośrednio po wyjęciu warstw CdTe z komory. W przypadku udanych procesów warstwy są błyszczące, bez widocznych defektów bądź obszarów zmatowiałych. Na rysunku 3 przedstawiono typowe zdjęcia powierzchni warstw



Rys. 3. Zdjęcia powierzchni warstw buforowych CdTe po procesie nanoszenia metodą rozpylania katodowego

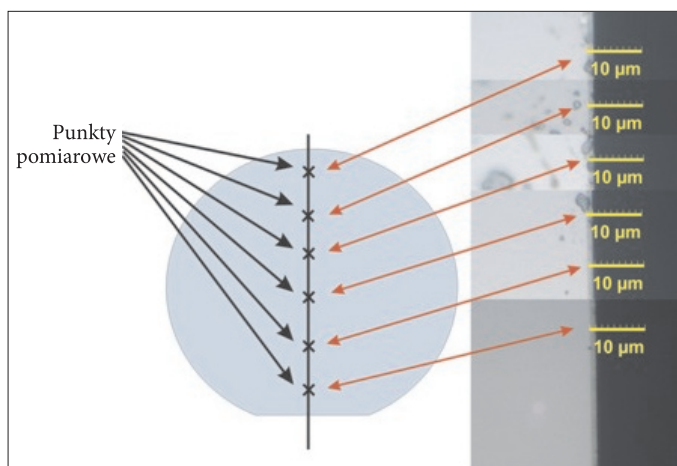


Rys. 4. Morfologia powierzchni warstw z procesów 1-4 zgodnie z tabelą 1. Po lewej stronie zamieszczono zdjęcia wykonane mikroskopem optycznym z kontrastem Nomarskiego, po stronie prawej nierówności powierzchni otrzymane profilometrem optycznym

buforowych CdTe po procesie nanoszenia metodą rozpylania katodowego. W przypadku nieudanych procesów mogą pojawiać się obszary zmatowiałe bądź pyły. Przyczyna nieudanych procesów może być związana z awaryjnym wyłączeniem zasilania, zanieczyszczonym podłożem, pyłami z targetu, błędami natury ludzkiej i innymi.

Na rysunku 4 przedstawiono morfologię powierzchni warstw z procesów 1-4 zgodnie z tabelą 1. Po lewej stronie zamieszczono zdjęcia wykonane mikroskopem optycznym z kontrastem Nomarskiego, po stronie prawej nierówności powierzchni otrzymane profilometrem optycznym. Na warstwie CdTe Nr 4 widoczne są nierówności charakterystyczne dla pyłów pochodzących z nierównomiernie trawionego targetu, które opadają na początku procesu, rzadziej w jego trakcie i następnie zostają pokrywane osadzającą się warstwą.

Na rysunku 5 przedstawiono sposób sprawdzenia jednorodności grubości warstwy CdTe osadzonej w procesie nr 1. Podłoże GaAs zostało przełamane wraz z osadzoną na nim warstwą wzdłuż środka zgodnie z prostą zaznaczoną na rysunku 5. Na prostej oznaczono sześć punktów pomiarowych, w których określono grubość, stosując wyskalowaną podziałkę tak, jak pokazano z prawej strony rysunku. Wyniki pomiarów zostały potwierdzone przez rezultaty otrzymane z prążków interferencyjnych uzyskanych z transmisji ze spektrofotometru fourierowskiego. Uzyskano dobry stopień jednorodności grubości osadzonych warstw CdTe — dostępne metody pomiarowe nie pozwoliły na określenie ewentualnych niejednorodności.



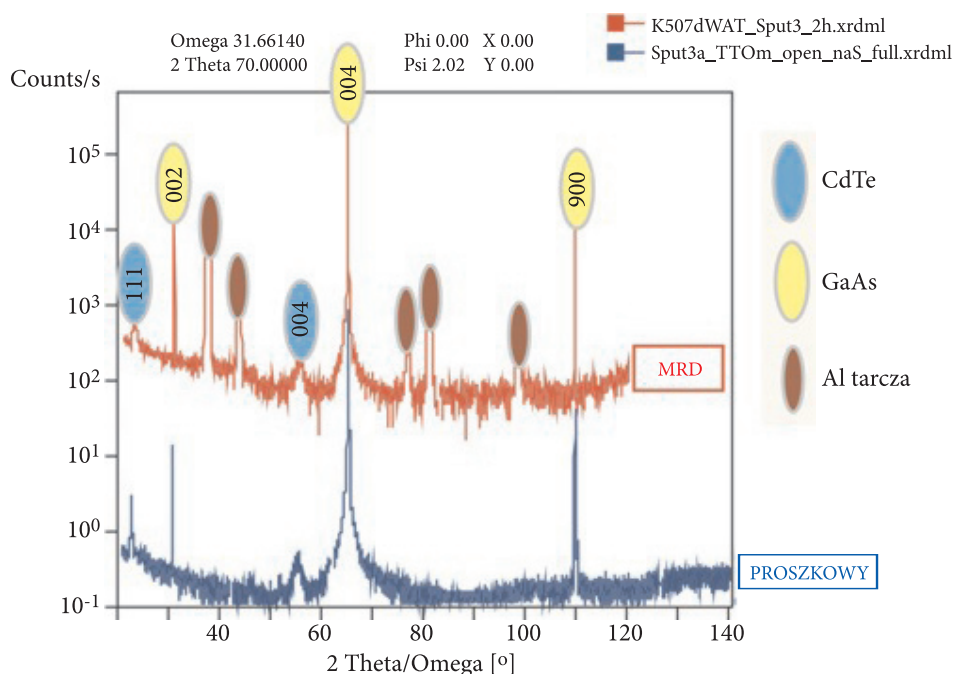
Rys. 5. Sprawdzenie jednorodności grubości napylenia warstwy CdTe w procesie nr 1

W celu przeprowadzenia dalszej charakteryzacji warstwy CdTe naniesione na podłożu kryształu GaAs ciętego wzdłuż płaszczyzn krystalograficznych (00.1) zostały poddane badaniom krystalograficznym w Instytucie Fizyki PAN. Badanie struktury krystalograficznej obejmowało:

- ustalenie monokrystaliczności warstw,
- określenie parametrów sieci.

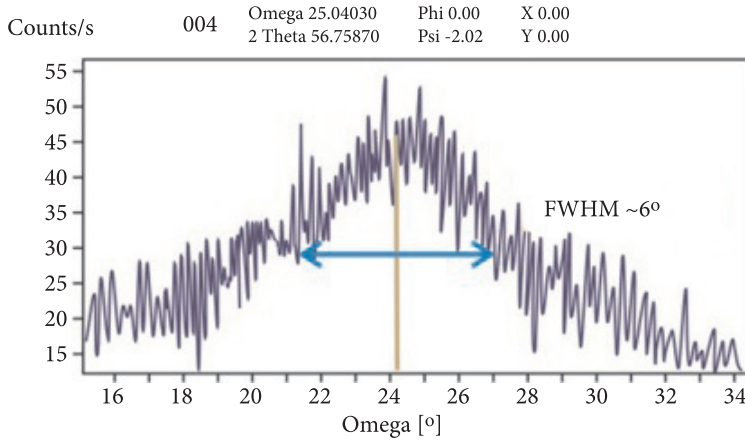
Urządzenia wykorzystane przy charakteryzacji to dyfraktometry HRXRD Philips X'Pert MRD i proszkowy X'Pert MPD.

W celu ustalenia monokrystaliczności warstwy zmierzono widmo dyfrakcyjne $2\theta/\theta$ w zakresie kątowym od 15° do 140° na dyfraktometrze proszkowym X'Pert MPD. Dodatkowo porównano wynik z widmem (zakres $20-120^\circ$) otrzymanym za pomocą wysokorozdzielczego dyfraktometru X'Pert MRD (fala padająca zmonochromatyzowana, płaska). Widma zestawiono na rysunku 6.

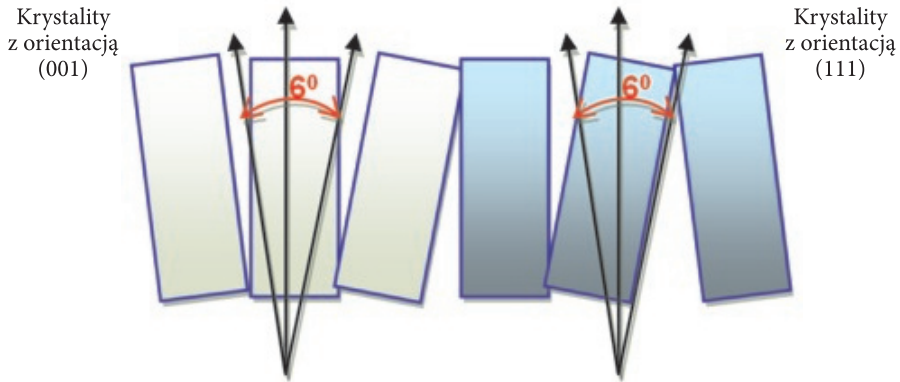


Rys. 6. Krzywe dyfrakcyjne $2\theta/\theta$ dla SPUT3; dyfraktogramy otrzymane przy użyciu różnych dyfraktometrów

Krzywe dyfrakcyjne wykazują obecność materiału podłoża GaAs, pierwszy refleks (002), drugi refleks (004), trzeci refleks (006), rząd odbicia dla płaszczyzn (001), materiału warstwy CdTe i dla krzywej zmierzonej przy pomocy X'Pert MRD — materiału tarczy Al. (naświetlany promieniami X obszar większy niż powierzchnia próbki [plamka $1,5 \times 14 \text{ mm}^2$]). W warstwie CdTe widoczne refleksy od płaszczyzn (111) i (001) (drugi rząd, tj. refleks 004). Warstwa nie jest więc monokrystaliczna. Kryształy mają wyraźną uprzywilejowaną orientację. Dezorientacja od kierunku [001] jest rzędu 6° , co pokazuje szerokość (FWHM) krzywej odbić refleksu 004 z rysunku 7. Krzywa odbić dla refleksu 111 ma podobną szerokość.



Rys. 7. Refleks 0 0 4, krzywa odbić (ω — skan) dla SPUT3; dyfraktogramy otrzymane przy użyciu dyfraktometru X'Pert MRD; schemat dezorientacji kryształitów



Rys. 8. Schemat dezorientacji kryształitów

Zarówno kryształity z uprzywilejowaną orientacją (001) jak i (111) mają dezorientację rzędu 6° , co schematycznie zostało zilustrowane na rysunku 8.

Z pomiarów nie wynika, czy kryształity grupują się przestrzennie, czy też są wymieszane. W ramach oświetlonej powierzchni, tj. rzędu $2 \times 12 \text{ mm}^2$, obserwowany jest sygnał zarówno od kryształitów o powierzchni (001) jak i (111) równoległej do podłoża.

4. Podsumowanie

Przeprowadzono serię eksperymentów zmierzających do otrzymania warstw buforowych CdTe na podłożach GaAs. Chropowatość próbek z udanych eksperymentów

zawiera się w przedziale 30-40 nm, co wstępnie kwalifikuje te warstwy do dalszych eksperymentów w systemie MOCVD. Uzyskano również dostateczną jednorodność grubości osadzonej warstwy CdTe na całej powierzchni podłoża GaAs. Badania struktury krystalograficznej otrzymanych warstw wykazały istnienie dwóch orientacji (100) i (111), co sugeruje, że otrzymane warstwy nie są monokrystaliczne. Może to być niestety przyczyną kłopotów z uzyskaniem na takiej warstwie dobrej jakości heterostruktury w technologii MOCVD. Ostatecznie przydatność otrzymanych warstw buforowych CdTe powinny zweryfikować próby osadzania na nich warstw HgCdTe w systemie MOCVD.

Praca była finansowana częściowo przez projekty badawcze PBZ MNiSW 02/I/2007 i projekt kluczowy POIG 01.03.01-14-016/08.

Artykuł wpłynął do redakcji 12.04.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2010 r.

LITERATURA

- [1] K. ADAMIEC, J. RUTKOWSKI, S. BEDNAREK, E. MICHALSKI, *RF sputtering deposition of CdTe on GaAs substrate*, SPIE Proceedings, 3179, 1997, 25-27.
- [2] J. RUTKOWSKI, K. ADAMIEC, A. ROGALSKI, *RF magnetron sputtering deposition of CdTe passivation on HgCdTe*, SPIE Proceedings, 3287, 1998, 327-335.
- [3] P. MADEJCZYK, A. PIOTROWSKI, W. GAWRON, K. KŁOS, A. ROGALSKI, J. RUTKOWSKI, *Morphology issues of HgCdTe samples grown by MOCVD*, Proc. of SPIE, 7298 2009, 729825-1.
- [4] H. ARIZPE-CHAVEZ, R. RAMIREZ-BON, F. J. ESPINOZA-BELTRAN, O. ZELAYA-ANGEL, *Confinement effects on CdTe:O sputtered films prepared at high substrate temperature*, Superficies y Vacío, 8, 1999, 120-124.

P. MADEJCZYK, W. GAWRON

CdTe sputtered films on GaAs substrates

Abstract. In this report, the results of CdTe buffer layers deposition on GaAs substrates by RF sputtering are presented. Surface roughness of CdTe layers was in the range from 30 nm to 40 nm. These CdTe layers are promising material as buffer layers for HgCdTe deposition in MOCVD technology. Sufficient thickness uniformity has been achieved on the whole surface of GaAs substrate. X-ray measurements show that deposited CdTe layers have two crystallographic orientations: (100) and (111) what suggest that those layers are not monocrystallic ones.

Keywords: CdTe, RF sputtering, GaAs substrates