

Wytwarzanie cienkich warstw tlenku cynku typu p

Opis osiągnięcia

Opisane poniżej osiągnięcie polega na opracowaniu technologii wytwarzania cienkich warstw p-ZnO o grubości od ułamka do pojedynczych mikrometrów, charakteryzujących się koncentracją dziur $p \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ i ruchliwością $\mu \sim 10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, co jest rekordowym wynikiem w skali światowej.

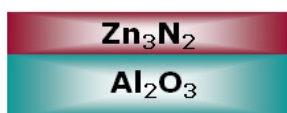
U podstaw opracowanej technologii leży koncepcja wytwarzania cienkich warstw tlenkowych na drodze utleniania termicznego stosownych metali. Istotą i oryginalnością opracowanej u nas metody jest użycie jako materiału wyjściowego cienkowarstwowych struktur metalicznych związków binarnych cynku, takich jak azotki, antymonki czy arsenki, w których cynk stanowi bazę dla otrzymania ZnO, zaś azot, antymon lub arsen są źródłem domieszki akceptorowej.

Proces wytwarzania cienkich warstw p-ZnO prowadzony jest dwuetapowo. W pierwszym etapie, stosując technikę rozpylania katodowego (w tym reaktywnego) wytwarzane są cienkowarstwowe struktury Zn-N, Zn-As lub Zn-Sb. W kolejnym etapie, stosując technikę wygrzewania w przepływie tlenu wytwarzane są domieszkowane na typ p warstwy tlenku cynku, odpowiednio ZnO:N, ZnO:As lub ZnO:Sb. W zależności od stosowanej domieszki, niezbędną była optymalizacja procesów wzrostu wyjściowej struktury cienkowarstwowej oraz parametrów obróbki termicznej.

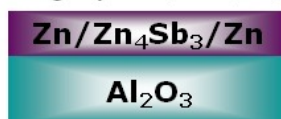
Schemat opracowanej metody przedstawiono na rys. 1, na rys. 2 pokazano wyniki pomiarów składu, a na rys. 3 - pomiary transmisji domieszkowanych na typ p warstw ZnO.

a) etap I

reaktywne rozpylanie katodowe
target: Zn; plazma: N_2/Ar

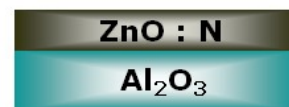


reaktywne rozpylanie katodowe
targety: Zn, Zn_4Sb_3 ; plazma: O_2/Ar

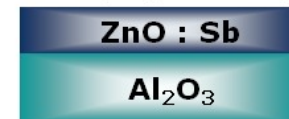


b) etap II

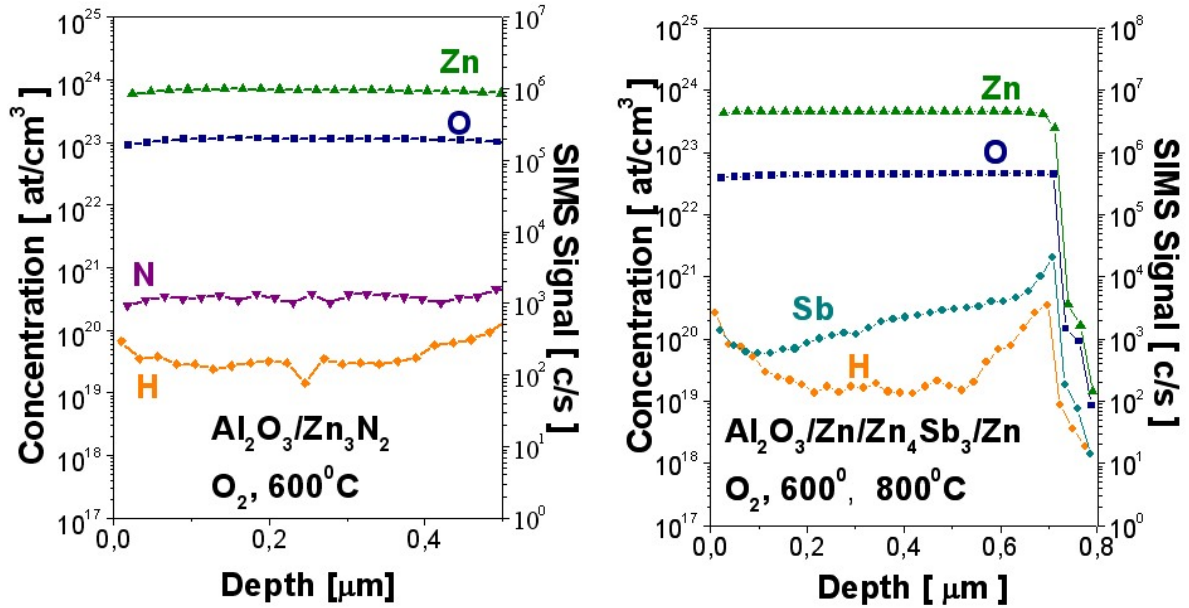
utlenianie termiczne
 600°C , O_2



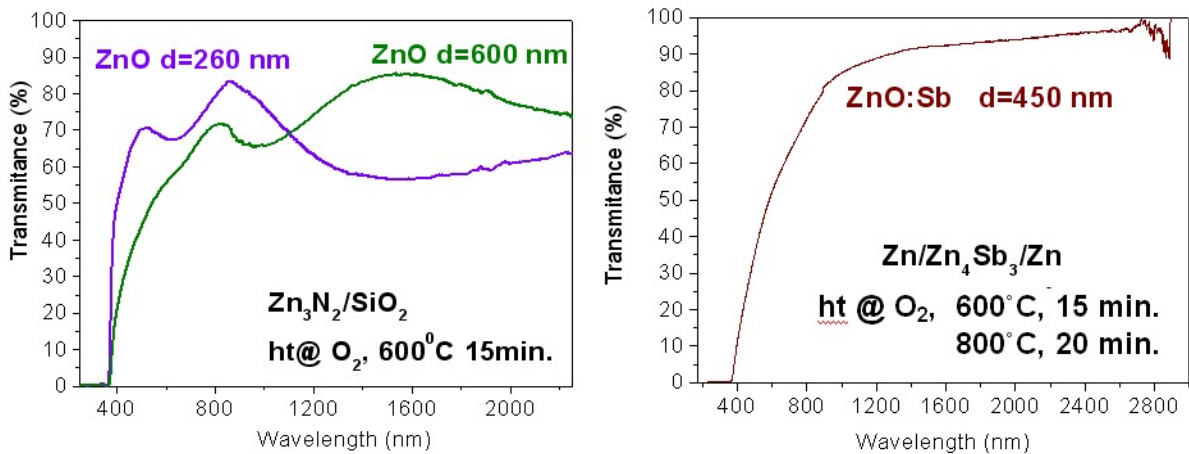
utlenianie termiczne
 600°C , O_2 + 800°C , O_2



Rys. 1. Schemat procesu wytwarzania cienkich warstw ZnO:N i ZnO:Sb:
a) wytwarzanie cienkich warstw Zn_3N_2 i $\text{Zn}/\text{Zn}_4\text{Sb}_3/\text{Zn}$,
b) utlenianie cienkich warstw Zn_3N_2 i $\text{Zn}/\text{Zn}_4\text{Sb}_3/\text{Zn}$.



Rys. 2. Profile głębokościowe składu warstw ZnO:N i ZnO:Sb otrzymane metodą SIMS.



Rys. 3. Transmisja warstw ZnO:N i ZnO:Sb.

Zastosowanie

Tlenek cynku ZnO jest jednym z najbardziej perspektywicznych półprzewodników do zastosowań w przezroczystej i wysokotemperaturowej elektronice oraz fotonice. Dzięki szerokiej przerwie wzbronionej samoistna koncentracja nośników w ZnO jest znacznie niższa niż w konwencjonalnych półprzewodnikach takich jak Si i GaAs, co umożliwia pracę w wysokich temperaturach przy niskich prądach upływu. ZnO charakteryzuje się przy tym istotnie wyższą odpornością na promieniowanie jonizujące, co umożliwia pracę w przestrzeni kosmicznej i reaktorach jądrowych. W fotonice siłą napędową do zastosowań ZnO jest wysoka stabilność swobodnego ekscytonu, przekraczająca ponad dwukrotnie energię wiązania swobodnego ekscytonu w GaN (i ~14-tokrotnie w GaAs). Rosnące zapotrzebowanie przemysłu na wydajne źródła światła białego sprzyjają rozwojowi technologii ZnO,

potencjalnie bardziej efektywnego od GaN, emitera światła niebieskiego i ultrafioletu. Wymiernym tego dowodem jest pojawienie się już na rynku dobrej jakości monokrystalicznych podłoży i warstw epitaksjalnych ZnO typu n.

Znaczenie naukowe, ekonomiczne i społeczne

Barierą dla zastosowania ZnO w przyrządach półprzewodnikowych są trudności w wytworzeniu materiału typu p. Niezależnie od metody i warunków syntezy, nominalnie niedomieszkowany ZnO jest typu n. Opracowana przez nas metoda może w tej kwestii stanowić przełom. Pokazaliśmy, że nie tylko azot, ale również antymon i arsen pozwalają efektywnie domieszkować ZnO na typ p. Spośród pierwiastków grupy V jedynie azot charakteryzuje się promieniem jonowym zbliżonym do tlenu. Dlatego też do niedawna prace nad wytwarzaniem ZnO typu p koncentrowały się na optymalizacji domieszkowania azotem. Otrzymane przez nas wyniki są spójne z niedawno opublikowanym modelem teoretycznym, w świetle którego w trakcie domieszkowania ZnO domieszką grupy V o dużym promieniu jonowym powstaje kompleks $Sb_{Zn}-2V_{Zn}$ ($As_{Zn}-2V_{Zn}$), który jest płytkim akceptorem w ZnO.

Uzyskane nagrody i wyróżnienia

- 1) Zaproszenie do wygłoszenia referatów wykładów na renomowanych konferencjach:
 - E. Kamińska, i in., *p-Type Doping in ZnO*, XXXV International School on the Physics of Semiconducting Compounds, June 17-23, 2006, Ustroń-Jaszowiec
 - E. Kamińska, i in., *Growth of p-type ZnO by oxidation of Zn-based compounds*, 13th International Conference on II-VI Compounds, September 10-14, 2007, Seul (Korea).
- 2) Strona internetowa dot. osiągnięć projektu AMORE – <http://www.cordis.lu/marketplace>

Źródła finansowania

Badania były finansowane ze środków przeznaczonych na działalność statutową ITE oraz współfinansowane przez Komisję Europejską i MNiSW (w ramach projektów 5-go Programu Ramowego Unii Europejskiej - AMORE, NANOPHOS).

Twórcy osiągnięcia:

Eliana Kamińska, Anna Piotrowska, Krystyna Gołaszewska, Renata Kruszka, Ewa Papis-Polakowska, Iwona Pasternak, Marek Guziewicz, Adam Barcz, Emil Kowalczyk (ITE), Jacek Kossut, Ewa Przeździecka, Tomasz Dietl, Elżbieta Dynowska (IF PAN)