

Emil Tymicki¹, Katarzyna Racka¹, Krzysztof Grasz^{1,2}, Tadeusz Łukasiewicz¹, Maciej Gała¹,
Kinga Kościwicz^{1,3}, Rafał Jakiela^{1,2}, Ryszard Diduszko¹, Jerzy Krupka⁴

¹Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

²Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

³Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa

⁴Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Emil.Tymicki@itme.edu.pl

WPROWADZENIE

Domieszka azotu w węglu krzemu (SiC) jest jedną z powszechnie znanych domieszek resztkowych. Azot w SiC determinuje przewodnictwo elektryczne typu *n*, a wprowadzenie tej domieszki w kontrolowany sposób, na odpowiednim poziomie, pozwala kształtować właściwości elektryczne materiału.

Właściwości elektryczne SiC zależą także od rodzaju jego politypu, metody otrzymania oraz temperatury. W wytwarzanych metodą PVT kryształach objętościowych SiC:N można uzyskać koncentracje nośników swobodnych $n \sim 10^{16}-10^{20} \text{ cm}^{-3}$ [1, 2]. Przykłady z literatury wskazują również na to, że azot może przyczyniać się do stabilnego wzrostu politypu 4H-SiC [2].

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI STRUKTURALNYCH

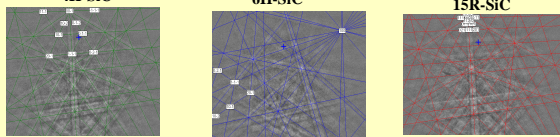
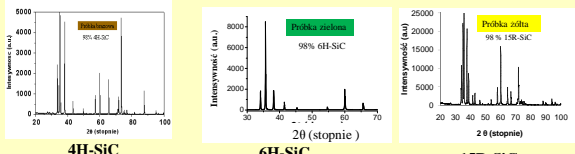
0 vol.% N₂

3 vol.% N₂

10 vol.% N₂

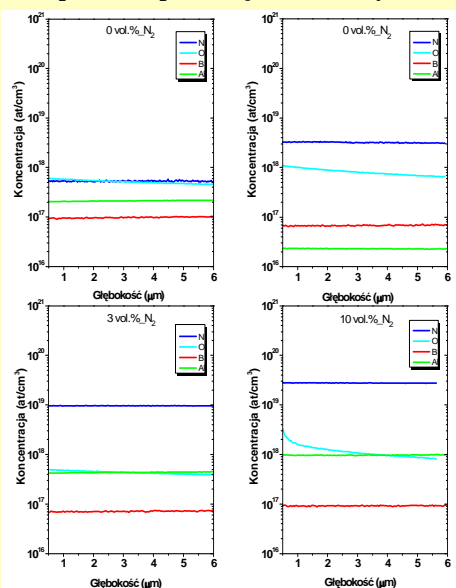


Dyfrakcja rentgenowska



Obecność politypów 4H-, 6H- i 15R-SiC we wszystkich badanych kryształach

Spektroskopia mas jonów wtórnych



♦ w kryształach intencjonalnie niedomieszkowanych azotem:

$$[N] \sim 5,33 \times 10^{17} - 3,20 \times 10^{18} \text{ at/cm}^3;$$

♦ główne źródła domieszki azotu w kryształach niedomieszkowanych to materiały źródłowe SiC o różnej resztkowej zawartości azotu (użyte do procesu wzrostu) oraz elementy grafitowe układu do procesów monokryształizacji;

♦ w kryształach SiC:N (3 vol% lub 10 vol%): $[N] \sim 1-2 \times 10^{19} \text{ at/cm}^3$.

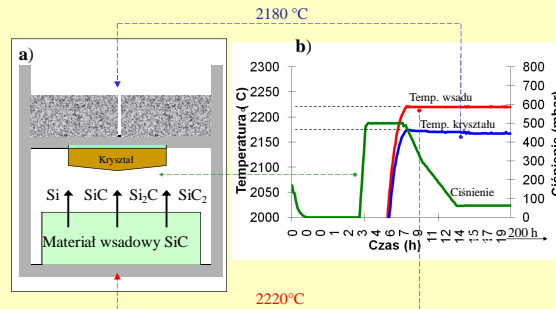
MONOKRYSTALIZACJA SiC

♦ Wzrost kryształów SiC odbywał się metodą PVT na stronie węglowej monokryształicznego zarodka, tzn. w kierunku [000-1];

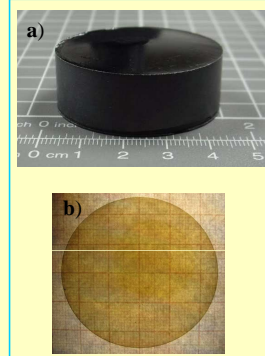
♦ kryształy SiC wzrastały w procesach, w których atmosfera wzrostu wzbogacona była o różną zawartość domieszki azotu: 3 vol.% lub 10 vol.%;

♦ przeprowadzono także procesy wzrostu SiC w atmosferze argonu, celem uzyskania kryształów stanowiących materiał porównawczy dla kryształów intencjonalnie domieszkowanych azotem;

♦ szybkość wzrostu kryształów SiC kształtowała się w przedziale 0,05-0,3 mm/h.



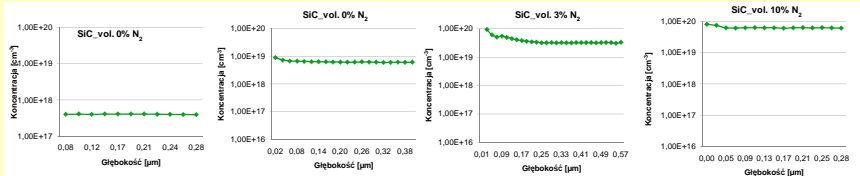
Rys. 1. (a) Układ do wzrostu monokryształów SiC metodą PVT z fazy gazowej, (b) parametry procesu wzrostu.



Rys. 2. (a) Przykładowy dwucalowy kryształ 4H-SiC, o grubości 25 mm, otrzymany metodą PVT; (b) widok płytki wyciętej z kryształu.

BADANIE WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNYCH

Trawienie elektrochemiczne - pomiary charakterystyk C-V



Badane kryształy wykazywały typ *n* przewodnictwa elektrycznego i koncentracje nośników w 300 K:
 $n \sim 3,92 \times 10^{17} - 6,14 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

Pomiary rezystywności w 300 K metodą bezkontaktową (przy zastosowaniu promieniowania mikrofalowego)

- ♦ Rezystywność kryształów zależała od stopnia domieszkowania azotem i kompensacji ładunku elektrycznego, zachodzącej z udziałem domieszki donorowej N i domieszek resztkowych akceptorowych, takich jak B czy Al;
- ♦ dla kryształów SiC intencjonalnie niedomieszkowanych azotem: $\rho \sim 0,56 \Omega\text{cm}$ oraz $\rho \sim 0,03 \Omega\text{cm}$;
- ♦ dla SiC_{3 vol.% N₂} oraz SiC_{10 vol.% N₂}: $\rho \sim 0,01 \Omega\text{cm}$.

PODSUMOWANIE

- ♦ domieszka azotu stabilizuje wzrost politypu 4H-SiC;
- ♦ wraz ze wzrostem ilości domieszki azotu w atmosferze wzrostu/objętości kryształu zaobserwowano mniej wrzących politypu 15R;
- ♦ w kryształach SiC_{10 vol.% N₂} (o dużej zawartości azotu i małym udziale wrzących politypu 15R), ilość defektów w postaci mikrokanalików (mogą one powstawać m.in. na granicy politypów 15R i 4H/6H) była na tym samym poziomie, co w zarodku, użytym do procesu wzrostu;
- ♦ wraz ze wzrostem ilości domieszki azotu (vol.%) w atmosferze wzrostu, rosła koncentracja nośników *n* w otrzymywanych kryształach,
- ♦ nie zaobserwowano wyraźnej różnicy w rezystywności kryształów SiC_{3 vol.% N₂} oraz SiC_{10 vol.% N₂} (z literatury wiadomo, że granica rozpuszczalności N w SiC wynosi: $[N] \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ [2]).

LITERATURA

- [1] G.L. Harris, H.S. Henry, A. Jackson, Carrier mobilities and concentration in SiC, in: G.L. Harris (Ed.), „Properties of Silicon Carbide”, an INSPEC publication, the Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1995, pp. 63-68.
- [2] N. Ohtani et al., J. Cryst. Growth, Vol. 311, pp. 1475-1481, 2009.