

Badania elipsometryczne krzemu implantowanego fosforem

1. WSTĘP

Bombardowanie powierzchni ciała stałego jonami domieszki wywołuje uszkodzenia radiacyjne. Ten nieunikniony i ważny efekt uboczny implantacji determinuje w znacznym stopniu elektryczne własności domieszkowanego krzemu. Nie dziwi zatem podejmowanie prac poświęconych kontroli tworzenia i usuwania defektów radiacyjnych.

Proces implantacji wysoką dawką jonów prowadzi do zmian parametrów optycznych silnie zdefektowanej, powierzchniowej warstwy krzemu [1, 2]. Stwierdzono [3-6], iż parametry elipsometryczne Ψ i Δ mogą zależeć zarówno od grubości, jak i stopnia nieuporządkowania zdefektowanej warstwy. Badano wpływ dawki implantowanych jonów i wygrzewania poimplantacyjnego na wartości parametrów elipsometrycznych Ψ i Δ [3-6]. Wielu autorów [7-9] obserwowało również pojawienie się efektów barwnych na powierzchni krzemu implantowanego wysoką dawką jonów w temperaturach przewyższających 100°C . Takie warunki implantacji prowadzą do tworzenia struktur warstwowych zawierających powierzchniową warstwę krystaliczną i zagrzebaną warstwę amorficzną [8, 9].

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań elipsometrycznych krzemu implantowanego w temperaturze pokojowej różnymi dawkami jonów P^+ i wygrzewanego poimplantacyjnie.

Podjęto również próbę wyjaśnienia efektów barwnych wywołanych przez wygrzewanie.

2. DANE DOŚWIADCZALNE

W eksperymentach stosowano polerowane płytki krzemu typu p o orientacji $\langle 111 \rangle$ z opornością $9\Omega\text{cm}$. Procesy implantacji prowadzono w temperaturze pokojowej zachowując we wszystkich doświadczeniach energię jonów P^+ równą 60 keV. Dawki jonów zmieniano w zakresie $1 \times 10^{14} - 2 \times 10^{15}$ atomów/ cm^2 . Procesy implantacji wykonywano przy użyciu implantatora jonów MPB 202 RP firmy Balzers.

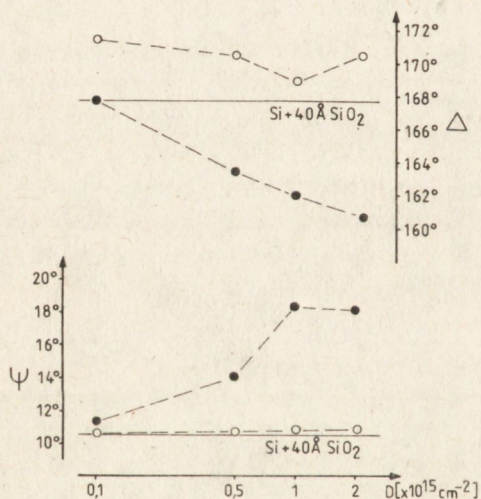
Wyrzeczwanie poimplantacyjnie prowadzono w strumieniu azotu w temperaturach od 450°C do 575°C. Czas wyrzeczwania zmieniano w zakresie 30 - 120 minut. Pomiary elipsometryczne poprzedzało chemiczne oczyszczanie powierzchni próbek. Badania elipsometryczne prowadzono przy użyciu elipsometru Ellipsometer II, firmy Applied Materials Inc., wyposażonego w źródło światła w postaci lasera He-Ne o długości fali 632,8 nm i pracującego przy niezmiennym kącie padania światła równym 70°.

Wybrane próbki poddano pomiarom kanałowania z zastosowaniem wiązki jonów 4He⁺ o energii 2 MeV.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Na rysunku 1 przedstawiono zależność parametrów elipsometrycznych ψ i Δ od dawki jonów dla próbek wyłącznie implantowanych oraz wyrzeczanych poimplantacyjnie w temperaturze 575°C przez 120 minut. Uzyskane wyniki nie odbiegają od prezentowanych przez innych autorów [3-5].

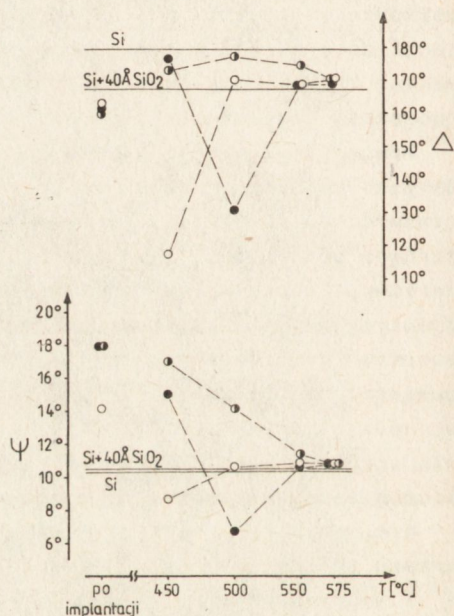
Na rysunku 2 pokazano zmiany parametrów elipsometrycznych ψ i Δ



Rys. 1. Zależność wartości parametrów elipsometrycznych ψ i Δ implantowanego krzemu od dawki jonów fosforu

● - próbki implantowane

○ - próbki wyrzeczane po implantacji /T=575°C, t=120 min/



Rys. 2. Zależność wartości parametrów elipsometrycznych ψ i Δ implantowanego krzemu od temperatury wyrzeczania

Czas wyrzeczania 120 min

○ - dawka $0,5 \times 10^{15} \text{P}^+ \text{cm}^{-2}$

● - dawka $1 \times 10^{15} \text{P}^+ \text{cm}^{-2}$

⊙ - dawka $2 \times 10^{15} \text{P}^+ \text{cm}^{-2}$

Na rysunku zaznaczono wartości współczynników elipsometrycznych ψ i Δ charakterystycznych dla czystego krzemu oraz dla krzemu z warstwą SiO₂ o grubości 40 Å

wywołane przez 120 minutowe izochroniczne wygrzewanie płytek krzemowych implantowanych różnymi dawkami fosforu w temperaturze pokojowej. Implantacja dawkami: 5×10^{14} i 1×10^{15} atomów/cm², a następnie wygrzewanie próbek w temperaturach nie przekraczających 550°C powoduje wyraźne obniżenie wartości Ψ i Δ w stosunku do krzemu nieimplantowanego, jak i implantowanego wysoką dawką jonów (rys. 2).

Spadkowi wartości parametrów elipsometrycznych towarzyszy pojawienie się efektów barwnych. Efekty te jednak znikają pod wpływem 120 minutowego wygrzewania w temperaturze 550°C. Ponadto nie obserwuje się efektów barwnych na płytkach implantowanych, ale nie wygrzewanych.

W celu wyjaśnienia genezy obserwowanego zjawiska, dla próbek wykazujących powierzchniowe zabarwienie, przeprowadzono pomiary kanałowania. Mikroanaliza jądrowa wykazała obecność bardzo cienkiej (kilkaset angstromów), silnie zdefektowanej warstwy powierzchniowej. Wydaje się, iż niespodziewane zmiany parametrów elipsometrycznych połączone z występowaniem powierzchniowego zabarwienia można przypisać zjawisku interferencji na cienkiej, niekompletnie zrekrystalizowanej warstwie krzemu.

Jakkolwiek efekty interferencyjne występujące w próbkach implantowanego krzemu były już poprzednio opisywane, towarzyszyły wszakże wysokotemperaturowemu procesowi implantacji [7-9]. Co więcej, efekty te były charakterystyczne dla próbek wykazujących zagrzebaną warstwę zamorfizowaną [8, 9].

W naszych eksperymentach nie stwierdzono powierzchniowej warstwy monokrystalicznej, a mimo to efekt interferencyjny był wyraźnie widoczny.

Zastosowanie zatem analizy elipsometrycznej jako metody określania stopnia rekrystalizacji zdefektowanej warstwy wymaga głębszego poznania zjawisk towarzyszących poimplantacyjnej rekrystalizacji krzemu. Dotychczasowy stan badań pozwala rozróżnić tą metodą pomiarową krzem zamorfizowany, częściowo zdefektowany i monokrystaliczny. Niemożliwe jest, jak dotąd, określenie stopnia zdefektowania podczas procesu termicznej rekrystalizacji.

Tekst dostarczono 1987.04.08

LITERATURA

1. Frederickson J.E., Waddell C.N., Spitzer W.G., Hubler G.K.: Appl. Phys. Lett., 40, 2 /1982/, 172
2. Yen E.T., Masters B.J., Kastl R.: Ion Implantation in Semiconductors, wyd. S. Namba /1975/, 501
3. Lohner T., Mezey G., Kotai E., Paszti F., Kirlyahidi L., Valyi G., Gyulai J.: Nucl. Instr. and Meth., 182/183 /1981/, 591
4. Watanabe K., Motooka T., Hashimoto N., Tokujima T.: Appl. Phys. Lett., 36 /1980/, 451
5. Lohner T., Mezey G., Kotai E., Paszti F., Mannabo A., Gyulai J.: Nucl. Instr. and Meth., 209/210 /1983/, 615
6. Fried M., Lohner T., Jardi E., Vizlethy G. Y., Mezey G., Gyulai J.: Thin Solid Films, 116 /1984/, 191
7. Csepregi L., Kennedy E.F., Lan S.S., Mayer J.W., Sigman T.W.: Appl. Phys. Lett., 29 /1976/, 645
8. Seidel T.E., Pasteur C.A., Tsai J.C.C.: Appl. Phys. Lett., 29, /1976/, 648
9. Freeman J.H., Chivers D.J., Gerd G.A., Hindor G.W., Smith B.J., Stephen J.: Ion Implantation in Semiconductors, wyd. S. Namba, /1975/, 555