

POMIAR CZASU ŻYCIA NOŚNIKÓW MNIJSZOŚCIOWYCH W KRZEMOWYCH WARSTWACH EPITAKSJALNYCH ZA POMOCĄ SONDY RTĘCIOWEJ

*) Andrzej Brzozowski, Jerzy Sarnecki

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania kontaktu rtęciowego przy określaniu generacyjnego czasu życia nośników mniejszościowych w warstwach epitaksjalnych typu n i p.

WPROWADZENIE

Procesy generacji i rekombinacji nośników mają decydujący wpływ na własności półprzewodnika. Jedną z wielkości bezpośrednio związanych z procesami generacji i określających te procesy jest generacyjny czas życia nośników mniejszościowych τ_g .

Wartość czasu życia τ_g zależy od koncentracji zanieczyszczeń i gęstości defektów sieci krystalicznej półprzewodnika, a więc pomiar τ_g jest użyteczną metodą oceny zarówno jakości półprzewodnika, jak i przyrządu półprzewodnikowego.

Najczęściej pomiar τ_g materiału półprzewodnikowego jest przeprowadzany pośrednio - przez badanie własności struktur półprzewodnikowych, np. charakterystyk nierównowagowych kondensatora MOS.

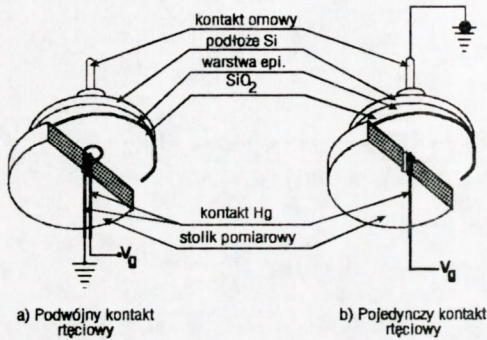
Przy pomiarach τ_g w krzemowych warstwach epitaksjalnych zastosowana została sonda rtęciowa umożliwiająca szybkie uformowanie kontaktów rtęciowych zamiast napyłanych kontaktów metalicznych, co znakomicie skróciło cykl wytwarzania struktury MOS na utlenionej powierzchni płytki krzemowej z warstwą epitaksjalną.

*) INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH,
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

Otrzymane wyniki pomiarów i rozrzuty wartości τ_g w krzemowych warstwach epitaksjalnych są zbliżone do wyników uzyskanych dla warstw o podobnych parametrach z pomiarów typowych kondensatorów MOS.

STOSOWANA APARATURA

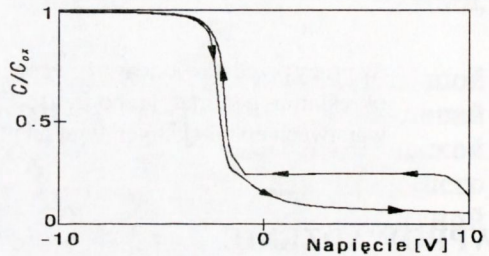
Do pomiarów czasu życia użyto zestawu pomiarowego CSM/16 produkcji Materials Development Corporation (USA). Zestaw ten (model CSM/16) składa



Rys. 1

Dwa rodzaje kontaktów rtęciowych otrzymywanych przy pomocy sondy rtęciowej.

$C_{ox} = 128.153 \text{ pF}$ $C_{fb} = 71.818 \text{ pF}$ $Q_{ss} = 2.405 \text{ E}11 \text{ ions/cm}^2$
 $C_{min}/C_{max} = 0.17$ $C_{fb}/C_{ox} = 0.559$
 $Area = 4.45E-3 \text{ cm}^2$ $V_{fb}(0) = -1.76 \text{ V}$
 $N_{sub} = 2.079 \text{ E}14 \text{ cm}^{-3}$ $V_t = -1.055 \text{ V}$



Rys. 2

Charakterystyka $C(V)$ oraz wyznaczone parametry struktury MOS (warstwa typu p, pojedynczy kontakt rtęciowy).

się z miernika pojemności Boonton 72 współpracującego ze sterowanym cyfrowo źródłem napięcia i systemem mikrokomputerowym RM-1600 oraz z sondą rtęciową (model 811).

Sonda ta umożliwia realizację pojedynczego kontaktu rtęciowego od strony tlenku oraz kontaktu omowego od strony tylnej płytki lub podwójnego kontaktu rtęciowego od strony tlenku, jak przedstawia rys. 1.

W pierwszym przypadku tworzy się struktura MOS będąca odpowiednikiem typowego kondensatora MOS - rys. 1b, natomiast w drugim przypadku kondensator MOS powstaje przy konfiguracji kontaktów rtęciowych zobrazowanej na rys. 1a.

Zestaw umożliwia pomiar czasu życia nośników w półprzewodniku w zakresie od $0,1 \mu\text{s}$ do 5 ms , z powtarzalnością $\pm 10\%$. Oprogramowanie systemu CSM/16 umożliwia przeprowadzenie pomiarów pojemności struktury MOS w funkcji napięcia i czasu, rejestrację i analizę danych pomiarowych oraz prezentację

wyników w postaci krzywych $C(V)$ i $C(t)$. Przetworzenie wyników pomiarów $C(V)$ daje informacje o parametrach struktury MOS takich jak:

C_{ox} - pojemność tlenku.

$C_{min.}$ - pojemność w inwersji.

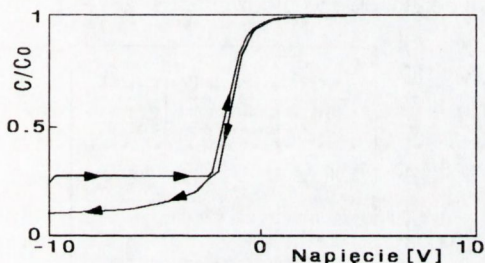
V_{fb} - napięcie płaskich pasm w półprzewodniku.

C_{fb} - pojemność w stanie wyprostowania pasm.

V_t - napięcie progowe.

Q_{ss} - gęstość ładunku stałego stanów powierzchniowych.

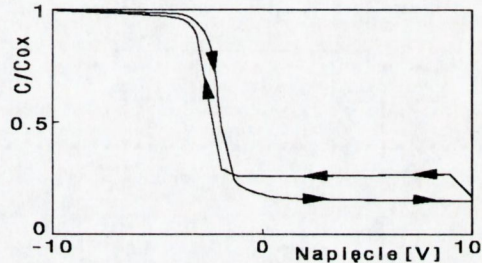
$C_{ox} = 128.906 \text{ pF}$ $C_{fb} = 87.316 \text{ pF}$ $Q_{ss} = 2.637E11 \text{ ions/cm}^2$
 $C_{min}/C_{max} = 0.244$ $C_{fb}/C_{ox} = 0.667$
 $Area = 4.625E-8 \text{ cm}^2$ $V_{fb}(0) = -1.413 \text{ V}$
 $N_{sub} = 5.341E14 \text{ cm}^{-3}$ $V_t = -2.313 \text{ V}$



Rys. 3

Charakterystyka $C(V)$ oraz wyznaczone parametry struktury MOS (warstwa typu n, pojedynczy kontakt rtęciowy).

$C_{ox} = 114.443 \text{ pF}$ $C_{fb} = 61.854 \text{ pF}$ $Q_{ss} = 3.863E11 \text{ ions/cm}^2$
 $C_{min}/C_{max} = 0.16$ $C_{fb}/C_{ox} = 0.539$
 $Area = 3.972E-8 \text{ cm}^2$ $V_{fb}(0) = -2.452 \text{ V}$
 $N_{sub} = 1.767E14 \text{ cm}^{-3}$ $V_t = -1.777 \text{ V}$

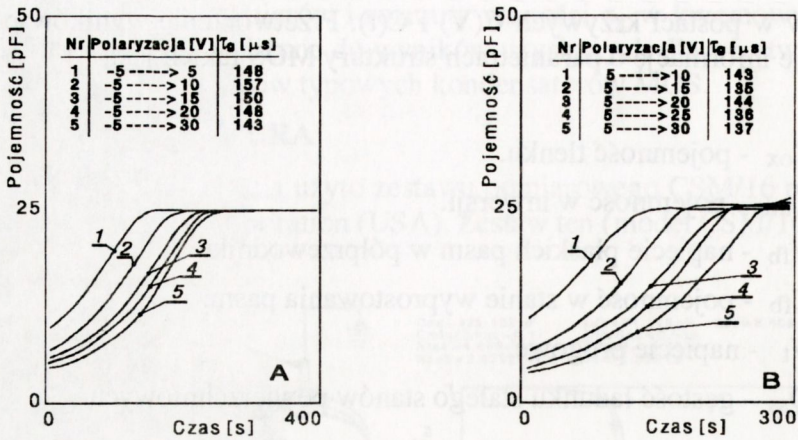


Rys. 4

Charakterystyka $C(V)$ oraz wyznaczone parametry struktury MOS (warstwa typu p, podwójny kontakt rtęciowy).

Analiza zmian pojemności struktury MOS w czasie pozwala na wyznaczenie generacyjnego czasu życia nośników mniejszościowych τ_g i szybkości generacji powierzchniowej S_g oraz na przedstawienie profilu czasów życia w funkcji szerokości obszaru zubożonego.

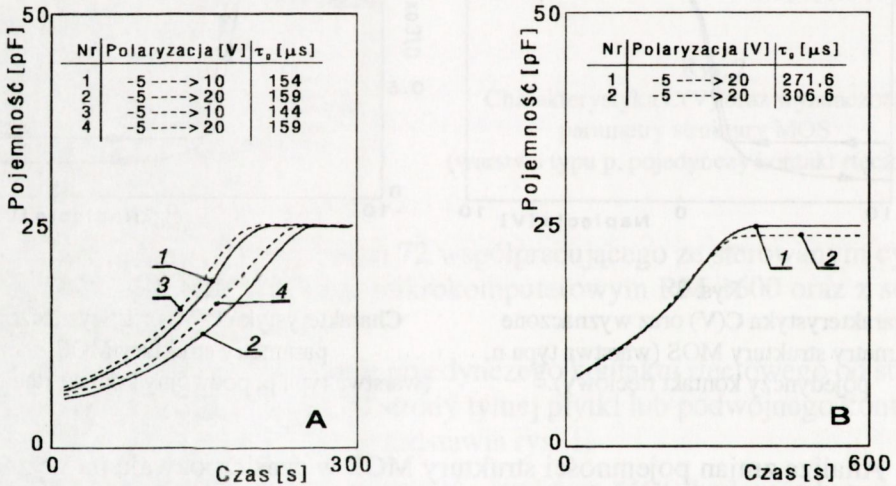
Generacyjny czas życia nośników mniejszościowych i szybkość generacji powierzchniowej wyznaczono przy użyciu procedury obliczeniowej wykorzystującej metodę Zerbsta [1]. Przy określaniu rozkładu wartości czasu życia w głąb warstwy epitaksjalnej stosowano metodę zaproponowaną przez Heimana [2].



Rys. 5

Charakterystyki C(t) struktury MOS w zależności od sposobu polaryzacji struktury (warstwa typu p, pojedynczy kontakt ręciový)

- A - przepolaryzowanie od akumulacji do głębokiego zubożenia,
- B - przepolaryzowanie od inwersji do głębokiego zubożenia.



Rys. 6

Charakterystyki C(t) struktury MOS w zależności od wielkości skoku napięcia (warstwa typu p)

- A - podwójny kontakt ręciový. Rezystywność warstwy około 10 ohmcm
 - linia ciągła - polaryzacja od akumulacji do głębokiego zubożenia
 - linia przerywana - polaryzacja od inwersji do głębokiego zubożenia
- B - pojedynczy kontakt ręciový. Rezystywność warstwy około 100 ohmcm
 - linia ciągła - pojedynczy kontakt ręciový
 - linia przerywana - podwójny kontakt ręciový

PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO POMIARU

Płytki krzemowe z warstwą epitaksjalną typu n/n^+ i p/p^+ o rezystywności podłoża $\rho \approx 0.01 \Omega\text{cm}$ i koncentracji nośników większościowych w warstwie epitaksjalnej w zakresie $(2-5) * 10^{14} \text{cm}^{-3}$ poddano procesom termicznego utleniania. Grubości tlenków zostały zmierzone za pomocą elipsometru f-my Applied Materials i mieściły się w zakresie $1000 \div 1200 \text{ \AA}$. W procesie utleniania otrzymano płytki krzemowe utlenione dwustronnie. W związku z tym, w celu otrzymania dobrego kontaktu omowego, strawiono w HF tlenek z tylnej strony płytki.

POMIARY CHARAKTERYSTYK C(V) DLA STRUKTUR MOS OTRZYMANÝCH ZA POMOCĄ SONDY RTĘCIOWEJ

Przykładowe charakterystyki C(V) dla struktur MOS otrzymane za pomocą sondy rtęciowej na epitaksjalnych warstwach typu n i p przedstawiono na rys. 2, 3, 4. Pomiary charakterystyk przeprowadzono polaryzując strukturę od stanu inwersji do akumulacji i ponownie do stanu inwersji. Z przedstawionych charakterystyk wynika, że zrealizowane za pomocą sondy rtęciowej struktury MOS wykazują mały stosunek C_{\min}/C_{\max} ($C_{\min}/C_{\max} \approx 0.2$) korzystny przy pomiarach czasów życia.

Wyliczona z pomiarów pojemności powierzchnia kontaktu rtęciowego dość dobrze zgadza się z powierzchnią kontaktu podaną przez producenta stosowanego zestawu pomiarowego ($S = 4.53 * 10^{-3} \text{cm}^2$). Otrzymano też dostatecznie dobrą zgodność koncentracji nośników większościowych wyznaczoną z charakterystyki C - V kondensatora MOS, z koncentracją zmierzoną konwencjonalną metodą C - V na tych płytkach przed ich utlenieniem. Wyniki te oraz pozostałe parametry struktury MOS i tlenku zamieszczono na rys. 2 ÷ 4 przedstawiających charakterystyki pojemnościowo - napięciowe.

POLARYZACJA STRUKTURY MOS

Wybór odpowiednich warunków pomiaru τ_g zależał od charakteru zmian pojemności w czasie struktury MOS, po zakłóceniu stanu równowagi struktury przez zmianę przyłożonego napięcia. Przykładowe charakterystyki C-t dla płytki typu p/p^+ (pojedynczy kontakt rtęciowy) oraz wyznaczony z nich metodą Zerbst'a czas życia przedstawiono na rys. 5. Na rys. 5a przedstawiono zmiany pojemności struktury MOS w trakcie powrotu do równowagi, po przepolaryzowaniu jej ze stanu akumulacji do stanu głębokiego zubożenia, a na rys. 5b zmiany te po przepolaryzowaniu struktury MOS ze stanu inwersji do głębokiego zubożenia.

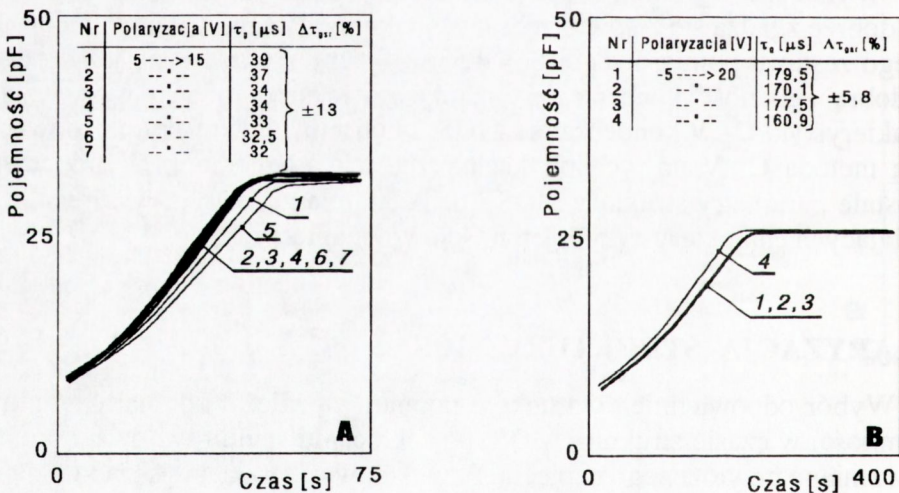
Pomiary wykonano dla kilku różnych zmian napięcia. Analogiczne pomiary dla tej samej warstwy epitaksjalnej przeprowadzone zostały dla struktury MOS otrzymanej za pomocą podwójnego kontaktu ręciewego - rys. 6a.

Przykładowe wyniki pomiarów τ_g dla struktur MOS utworzonych na warstwie epitaksjalnej typu p o wyższej rezystywności przy użyciu pojedynczego i podwójnego kontaktu ręciewego przedstawiono na rys. 6b.

Dla badanych płytek, we wszystkich przypadkach, zwiększenie skoku napięciowego spowodowało wzrost głębokości obszaru zubożonego i wydłużenie czasu powrotu struktury MOS do stanu inwersji lecz nie miało wpływu na zmierzoną wartość generacyjnego czasu życia nośników mniejszościowych. Nie zaobserwowano też istotnych różnic w wyznaczonych wartościach τ_g w zależności sposobu tworzenia struktury MOS za pomocą kontaktów ręciewych.

OCENA POWTARZALNOŚCI POMIARU τ_g W KRZEMOWYCH WARSTWACH EPITAKSJALNYCH

Do oceny powtarzalności pomiarów czasu życia nośników mniejszościowych posłużyły pomiary w jednym punkcie, zarówno dla warstw typu n jak i typu p. Struktury MOS tworzone każdorazowo w tym samym punkcie płytki, następnie po otrzymaniu prawidłowych przebiegów charakterystyk C(t) wyzna-

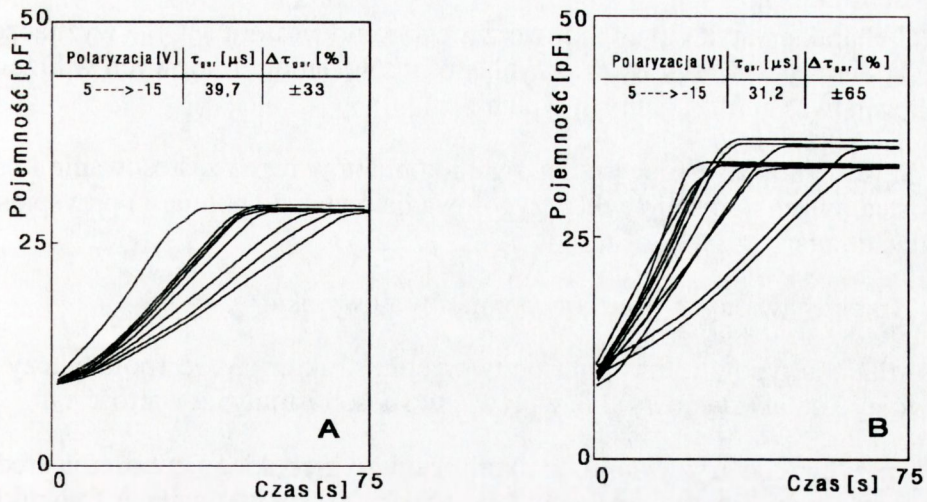


Rys. 7

Charakterystyki C(t). Rozrzuty pomiarowe w jednym punkcie płytki.

A - pojedynczy kontakt ręciewy, warstwa typu n

B - podwójny kontakt ręciewy, warstwa typu p



Rys. 8

Charakterystyki $C(t)$. Rozrzuty pomiarowe na płycie.

A - podwójny kontakt ręciový, warstwa typu n

B - pojedynczy kontakt ręciový, warstwa typu n

czano z nich metodą Zerbsta generacyjny czas życia nośników mniejszościowych. Pomiarý przeprowadzono dla sondy ręciovýj z pojedynczym i podwójnym kontaktem ręciovým. Otrzymane charakterystyki $C(t)$ oraz wyznaczone wartości τ_g i ich rozrzuty przedstawiono na rys. 7. Otrzymano rozrzuty wartości τ_g zbliżone do podanej przez producenta wielkości $\pm 10\%$.

Na rys. 8 zamieszczone są charakterystyki $C(t)$ wykonane za pomocą sondy z pojedynczym i podwójnym kontaktem ręciovým oraz wyznaczone z nich wartości czasu życia nośników w różnych punktach tej samej płytki.

Otrzymane rozrzuty w wartościach τ_g związane są z niejednorodnośc czasu życia nośników mniejszościowych w różnych obszarach badanej warstwy epitaksjalnej. Zaobserwowane rozrzuty wartości τ_g są porównywalne z wynikami przedstawionymi np. w pracy [3] i otrzymanymi dla struktur MOS z napyłonymi kontaktami metalicznymi.

PODSUMOWANIE

Zastosowano sond ręciov przy okreslaniu charakterystyk $C(V)$ i $C(t)$ struktury MOS, w której rol bramki w typowym kondensatorze MOS pełnił kontakt ręciový.

Z charakterystyk $C(t)$, tak utworzonego kondensatora MOS, wyznaczono metodą Zerbsta generacyjny czas życia nośników mniejszościowych w krzemowych warstwach epitaksjalnych typu n i p.

Wyeliminowanie procesu napyłania kontaktów przez zastosowanie kontaktów rtęciowych uprościło cykl przygotowania płytek do pomiaru i przyspieszyło same pomiary.

Z przedstawionych wyników pomiarów τ_g wynika:

- dla obu typów warstw sposób tworzenia struktury MOS (pojedynczy lub podwójny kontakt rtęciowy) nie wpływał w sposób istotny na wartość τ_g ;

- przy przepolaryzowaniu od akumulacji do głębokiego zubożenia średnia wartość τ_g dla warstw typu p była większa o ok. 10% w porównaniu z wynikiem otrzymanym przy przepolaryzowaniu od inwersji do głębokiego zubożenia;

- wielkość skoku napięcia dla obu sposobów polaryzacji nie miała wpływu na wartość τ_g (w granicach dokładności i powtarzalności pomiarów);

- dla pomiarów w tym samym punkcie płytki w konfiguracji podwójnego kontaktu rtęciowego otrzymano powtarzalność $\pm 5,8\%$ (warstwa typu p) i przy pojedynczym kontakcie $\pm 13\%$ (warstwa typu n);

- dla warstwy typu n (pomiar tej samej płytki) przy podwójnym kontakcie rtęciowym rozrzut wartości τ_g wynosił $\pm 33\%$ a przy pojedynczym kontakcie był dwukrotnie większy;

- zastosowanie podwójnego kontaktu rtęciowego umożliwia bardziej powtarzalne pomiary charakterystyk $C(V)$ i $C(t)$.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Zerbst M.: Relaxationseffekte am Halbleiter - Isolator Grenzflächen. Z. Angew Phys., 22, 1966, 30
- [2] Heiman F. P.: On the determination of minority carrier lifetime from the transient response of a MOS capacitor. IEEE Transactions on Electron Devices, vol. ED-14, 1967, 781
- [3] Siennicki A.: Metody identyfikacji parametrów procesów generacyjno-rekombinacyjnych w testowych strukturach MOS. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki. Warszawa 1989