



Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu nr ———

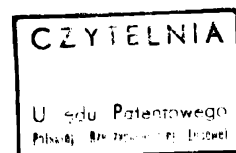
Int. Cl.³ G01R 31/26

Zgłoszono: 81 10 28 (P. 233631)

Pierwszeństwo ———

Zgłoszenie ogłoszono: 82 08 30

Opis patentowy opublikowano: 1985 11 30



Twórcy wynalazku: Wiesław Marciniak, Henryk Madura

Uprawniony z patentu tymczasowego: Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego,
Warszawa (Polska)

Sposób i urządzenie do pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym

Przedmiotem wynalazku jest sposób i urządzenie do pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym.

Znane są dotychczas dwie metody pomiaru koncentracji domieszek i grubości kanału oparte na pomiarze napięcia progowego i napięcia inwersji w funkcji napięcia podłoża.

Pierwsza z nich opisana w publikacji D.S. Wu — „Extraction of average doping density and junction depth in an ion — implanted deep-depletion transistor” — IEEE Trans. on El. Devices, 1980, vol ED-27, no.5, przyjmuje znaczne uproszczenie pomiaru zakładając, że zależność napięcia progowego w funkcji napięcia podłoża jest liniowa. Uproszczenie to jest źródłem błędu pomiaru zwłaszcza dla wyższych napięć podłoża i silnie implantowanych tranzystorów. Ponadto przy tej metodzie pomiaru trzeba znać wartość napięcia płaskich pasm, czyli należy przeprowadzić dodatkowo pomiary tego napięcia.

Druga metoda opisana w publikacji R.A. Haken — „Analysis of the depletion MOS-FET and the use of the D.C. characteristics for determining bulk — channel charge — compled device parameters” — Solid-State Electronics, 1978, vol. 21, umożliwia wyznaczenie jedynie koncentracji domieszek z zależności napięcia inwersji od napięcia podłoża, natomiast grubość kanału można wyliczyć z odpowiednich zależności matematycznych. W metodzie tej trudne do określenia jest napięcie inwersji a zastosowanie tej metody jest ograniczone, gdyż w tranzystorze MOS z kanałem wbudowanym nie zawsze występuje stan inwersji.

W znanych urządzeniach do pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym stosowane są woltomierze do pomiaru napięcia stałego na elektrodach tranzystora oraz mikroamperomierz do pomiaru prądu drenu. Do poszczególnych elektrod tranzystora dołączone są typowe zasilacze napięcia stałego. Zmieniając punkt pracy tranzystora przez zmianę napięcia stałego na bramce i odczytując prąd drenu otrzymuje się pomiary charakterystyk przejściowych tranzystora, z których pośrednio z odpowiednich zależności matematycznych wyznacza się uśrednioną koncentrację domieszek i grubość kanału. Woltomierze mierzące napięcie stałe na bramce, drenie i podłożu tranzystora są dołączone do

bramki, drenu i podłoża oraz masy układu, a mikroamperomierz włączony jest pomiędzy dren a źródło napięcia stałego polaryzującego dren tranzystora.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że na bramkę tranzystora MOS z kanałem wbudowanym podaje się sygnał sinusoidalny i na podłożu również sygnał sinusoidalny lecz przesunięty w fazie o 180 stopni, w stosunku do sygnału na bramce i utrzymuje się stały prąd drenu dla napięć polaryzujących i tak ustala się wielkości amplitudy sygnałów sinusoidalnych aby uzyskać zerową wartość składowej zmiennej prądu drenu.

Znając wartości amplitud sygnałów sinusoidalnych otrzymuje się wielkość pochodnej napięcia progowego na napięciu podłoża. Następnie zachowuje się stałą wartość prądu drenu przez zmianę stałej polaryzacji na podłożu i na bramce i przeprowadza się szereg kolejnych pomiarów otrzymując linię prostą uwidoczniającą zależność pochodnej napięcia progowego po napięciu podłoża w funkcji napięcia podłoża. Wykorzystując otrzymaną prostą, z punktu przecięcia się jej z osią rzędnych wyznacza się uśrednioną wartość koncentracji domieszek natomiast z jej nachylenia wyznacza się grubość kanału tranzystora MOS z kanałem wbudowanym.

Istota urządzenia według wynalazku polega na tym, że zawiera ono generator sinusoidalny połączony z wejściem pierwszego wzmacniacza operacyjnego, którego to wejście połączone jest następnie poprzez rezystor zmienny z jego wyjściem oraz z woltomierzem mierzącym napięcie stałe lub zmienne na bramce i z bramką tranzystora MOS. Do drugiego wejścia pierwszego wzmacniacza operacyjnego dołączony jest rezystor zmienny regulujący poziom napięcia stałego na bramce tranzystora. Jednocześnie wyjście pierwszego wzmacniacza operacyjnego połączone jest poprzez szeregowy układ kondensator-rezystor z wejściem drugiego wzmacniacza operacyjnego i poprzez rezystor zmienny z jego wyjściem, do którego dołączony jest woltomierz mierzący napięcie stałe lub zmienne na podłożu i podłożem tranzystora. Do drugiego wejścia tego wzmacniacza dołączony jest rezystor zmienny regulujący poziom napięcia stałego na podłożu. Dren tranzystora połączony jest poprzez mikroamperomierz, mierzący składową stałą prądu drenu i równolegle do mikroamperomierza włączony nanowoltomierz mierzący składową zmienną prądu drenu, ze źródłem zasilania. Źródło tranzystora MOS połączone jest z masą układu.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia w sposób stosunkowo prosty i dokładny określenie uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym umożliwiając zwiększenie dokładności modeli matematycznych tych tranzystorów przy projektowaniu układów scalonych za pomocą analizy komputerowej. Rozwiązanie znajduje też zastosowanie do kontroli jakości procesu implantacji, umożliwiając pośrednio zwiększenie uzysku produkcyjnego wytwarzanych elementów półprzewodnikowych.

Przedmiot wynalazku jest bliżej omówiony na podstawie rysunku, którego fig. 1 przedstawia liniową zależność pochodnej napięcia progowego po napięciu podłoża w funkcji napięcia podłoża a fig. 2 — uproszczony schemat urządzenia.

Podstawę sposobu według wynalazku stanowi wzór na pochodną napięcia progowego

$$\frac{\delta U_T}{\delta U_{BS}} = \frac{N_A}{N_A + N_D} - \frac{\left(\frac{x_k}{\epsilon_s} + \frac{x_{ox}}{\epsilon_{ox}}\right) \cdot \sqrt{2\epsilon_s q} \frac{N_A \cdot N_D}{N_A + N_D}}{2 \sqrt{\varphi_B - U_{BS}}}$$

gdzie: δU_T — pochodna napięcia progowego, δU_{BS} — pochodna napięcia podłoża, N_A — koncentracja domieszek w podłożu, N_D — koncentracja domieszek w kanale, x_k — grubość kanału, ϵ_s — przenikalność względna półprzewodnikowa, x_{ox} — grubość dielektryka, ϵ_{ox} — przenikalność względna dielektryka, q — ładunek elementarny, φ_B — bariera potencjału złącza kanał-podłoże, U_{BS} — napięcie podłoża.

Z równania tego wynika, że liniowa zależność

$$\frac{\delta U_T}{\delta U_{BS}} = f\left(\frac{1}{\sqrt{\varphi_B - U_{BS}}}\right)$$

umożliwia wyznaczenie koncentracji domieszek N_D oraz grubości kanału x_k o ile znane są wartości N_A oraz x_{ox} . Pozostałe parametry występujące we wzorze są stałymi fizycznymi lub materiałowymi, natomiast wartość φ_B można przyjąć równą 0,7 V.

Z definicji napięcia progowego jako napięcia bramki odpowiadającego określonej stałej wartości prądu drenu wynika, że wyżej wymieniony wzór można przedstawić w postaci

$$\frac{\Delta U_{GS}}{\Delta U_{BS}} = \frac{N_A}{N_A + N_D} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{x_k}{\epsilon_s} + \frac{x_{ox}}{\epsilon_{ox}} \right) \sqrt{2 \epsilon_s q \frac{N_A \cdot N_D}{N_A + N_D}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\phi_B - U_{BS}}}$$

przy czym: ΔU_{GS} — amplituda sygnału sinusoidalnego na bramce, ΔU_{BS} — amplituda sygnału sinusoidalnego na podłożu.

Pomiar zależności przedstawionych w tym wzorze polega na jednoczesnej regulacji napięcia polaryzacji bramki i podłoża oraz regulacji amplitud sygnałów sinusoidalnych ΔU_{GS} i ΔU_{BS} , które są przesunięte względem siebie o 180 stopni, tak aby uzyskać stały prąd drenu dla napięć polaryzujących oraz zerową wartość składowej zmiennej prądu drenu. Otrzymane wyniki pomiarów dają liniową zależność przedstawioną na fig. 1 rysunku. Z nachylenia prostej **P** wyznacza się grubość kanału x_k a z przecięcia się prostej **P** z osią rzędnych wyznacza się koncentrację domieszek N_D .

Schemat przykładowego rozwiązania urządzenia do pomiaru koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym pokazany jest na fig. 2 rysunku.

Urządzenie zawiera generator sinusoidalny **G** połączony poprzez rezystor **R**₁ z wejściem wzmacniacza operacyjnego **W**₁ oraz poprzez rezystor zmienny **R**₂ z wyjściem wzmacniacza **W**₁, woltomierzem **V**₁ i bramką tranzystora **T**. Drugie wejście wzmacniacza **W**₁ połączone jest z rezystorem zmiennym **R**₃ regulującym poziom napięcia stałego na bramce tranzystora **T**. Wyjście wzmacniacza **W**₁ połączone jest poprzez kondensator **C** i rezystor **R**₄ z wejściem wzmacniacza operacyjnego **W**₂ oraz poprzez rezystor zmienny **R**₅ z jego wyjściem oraz z woltomierzem **V**₂ i podłożem tranzystora **T**. Drugie wejście wzmacniacza **W**₂ połączone jest z rezystorem zmiennym **R**₆ regulującym poziom napięcia stałego na podłożu. Źródło tranzystora **T** połączone jest z masą układu, natomiast jego dren połączony jest poprzez mikroamperomierz **A** mierzący składową stałą prądu drenu z baterią zasilania **B**. Równolegle do mikroamperomierza **A** włączony jest nanowoltomierz selektywny **V**₃ mierzący składową zmienną prądu drenu.

Urządzenie do pomiaru koncentracji i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym działa następująco. Sygnał sinusoidalny z generatora **G** o częstotliwości 1 kHz i amplitudzie 20 mV jest podawany przez dopasowujący rezystor **R**₁ na wejście wzmacniacza operacyjnego **W**₁ gdzie jest sumowany ze składową regulowaną rezystorem **R**₃ w zakresie od - 15 V do + 15 V. Rezystor **R**₂ służy do regulacji amplitudy małego sygnału sinusoidalnego. W ten sposób na wyjściu wzmacniacza **W**₁ otrzymuje się napięcie bramki złożone ze składowych stałej i zmiennej o niezależnie regulowanych wartościach amplitud.

Analogicznie działa wzmacniacz operacyjny **W**₂, na którego wyjściu otrzymuje się napięcie podłoża ze składową zmienną przesuniętą o 180 stopni w stosunku do składowej zmiennej napięcia bramki. W obwodzie drenu mierzonej tranzystora **T** jest włączony mikroamperomierz **A** do pomiaru składowej stałej prądu drenu oraz nanowoltomierz selektywny **V**₃ służący jako wskaźnik zerowej wartości składowej zmiennej prądu drenu. Woltomierz **V**₁ mierzy stałe napięcie na bramce a woltomierz **V**₂ napięcie na podłożu.

Dzięki zastosowaniu opisanego sposobu i urządzenia do pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym uzyskuje się wyniki pomiarowe o 30% lepsze od wyników uzyskiwanych w metodach stosowanych dotychczas przez co uzyskuje się lepszą zgodność modeli matematycznych tych tranzystorów z wynikami doświadczalnymi oraz lepiej kontroluje się proces implantacji jonów zwiększając pośrednio uzysk produkcyjny.

Z a s t r z e ż e n i a p a t e n t o w e

1. Sposób pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i grubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym wykorzystujący zależność napięcia progowego od napięcia podłoża, **znamienny tym**, że na bramkę tranzystora podaje się sygnał sinusoidalny (ΔU_{GS}) a na podłoże również sygnał sinusoidalny (ΔU_{BS}) przesunięty względem sygnału (ΔU_{GS}) podanego na bramkę

tranzystora o 180 stopni i przy zachowaniu stałego prądu drenu dla napięć polaryzujących tak ustala się wielkość drugiego sygnału sinusoidalnego (ΔU_{BS}) aby uzyskać zerową wartość składowej zmiennej prądu drenu a następnie — przy zachowaniu stałej wartości prądu drenu — zmieniając stałą polaryzację na podłożu i na bramce — przeprowadza się szereg kolejnych pomiarów otrzymując prostą (P) uwidoczniającą liniową zależność pochodnej napięcia progowego po napięciu podłoża w funkcji napięcia podłoża (U_{BS}), przy czym z punktu przecięcia się prostej (P) z osią rzędnych wyznacza się uśrednioną wartość koncentracji domieszek, natomiast z nachylenia prostej (P) wyznacza się grubość kanału.

2. Urządzenie do pomiaru uśrednionej koncentracji domieszek i gubości kanału w tranzystorach MOS z kanałem wbudowanym zawierające mierniki napięcia i prądu oraz źródła napięcia stałego zasilające dren, podłożę i bramkę, **znamiennie tym**, że zawiera generator sinusoidalny (G) połączony poprzez rezystor (R_1) z jednym z wejść wzmacniacza operacyjnego (W_1) oraz poprzez rezystor zmienny (R_2) z wyjściem wzmacniacza (W_1), woltomierzem (V_1) i bramką tranzystora (T) a wyjście wzmacniacza (W_1) połączone jest poprzez kondensator (C) i rezystor (R_4) z wejściem wzmacniacza (W_2) oraz poprzez rezystor zmienny (R_5) z jego wyjściem, z woltomierzem (V_2) i podłożem tranzystora (T), przy czym do drugich wejść wzmacniaczy (W_1) i (W_2) włączone są odpowiednie rezystory zmiennie (R_3 i R_6), natomiast źródło tranzystora (T) połączone jest z masą układu a jego dren połączony jest, poprzez mikroamperomierz (A) z dołączonym równolegle do niego nanowoltomierzem (V_3), ze źródłem zasilania (B).

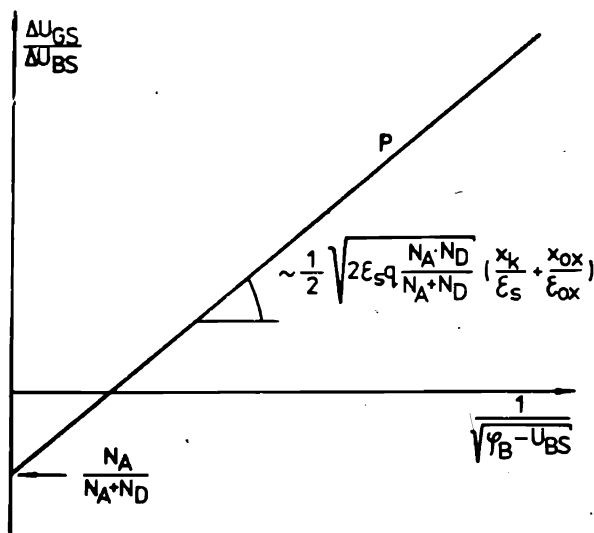


Fig.1

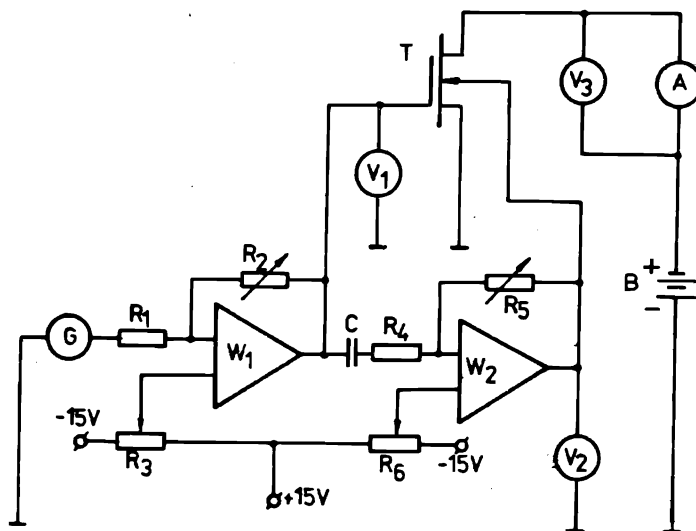


Fig.2