



URZĄD
PATENTOWY
PRL

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

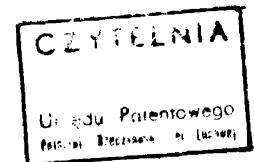
Zgłoszono: 85 03 22 (P. 252506)

Pierwszeństwo _____

Zgłoszenie ogłoszono: 86 09 23

Opis patentowy opublikowano: 1989 11 30

Int. Cl.⁴ H01L 21/66
G01R 31/26



Twórcy wynalazku: Zbigniew Tadeusz Kuźnicki, Jerzy Ranachowski, Hanna Strażyńska

Uprawniony z patentu: Polska Akademia Nauk,
Instytut Podstawowych Problemów Techniki,
Warszawa (Polska)

Sposób określania strukturalnego obszaru przejściowego w skokowych strukturach półprzewodnikowych

Wynalazek dotyczy sposobu określania strukturalnego obszaru przejściowego w skokowych strukturach półprzewodnikowych typu 1-h na podstawie profilu koncentracji nośników swobodnych.

Znany jest z publikacji Kennedy'ego i O'Briena pt.: „On the measurement of impurity atom distributions by the differential capacitance technique” z 1969 r., sposób polegający na wyznaczeniu profilu domieszki z rzeczywistego profilu koncentracji nośników przy pomocy metody numerycznej. Ze względu na swą ogólność sposób ten jest bardzo pracochłonny, a jego pełne wykorzystanie wymaga bardzo złożonych programów numerycznych oraz stosowania pojemnych maszyn cyfrowych.

Innym znanym rozwiązaniem z polskiego opisu patentowego nr 122 087 jest sposób określania rzeczywistego położenia między powierzchniami skokowych złącz 1-h. Sposób ten polega na pomiarze równowagowej koncentracji nośników w warstwie epitaksjalnej, po czym określenie koncentracji nośników na międzypowierzchni z zależności:

$$n_{mo} = n_1 \exp' \left[\begin{array}{c} \ln \frac{n_1}{n_a} \\ \frac{n_1}{n_2} - 1 \end{array} \right]$$

gdzie: n_{mo} - koncentracja nośników na międzypowierzchni; n_1, n_2 - koncentracja równowagowa nośników w podłożu warstwy epitaksjalnej.

Rozwiązanie to umożliwia nieniszczący pomiar grubości cienkich warstw epitaksjalnych eliminujący konieczność obróbki szlifowania badanych próbek. Stosowanie tego rozwiązania uzależnione jest od określenia doświadczalnie rodzaju badanego profilu.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu pozwalającego na nieniszczący pomiar strukturalnych obszarów przejściowych występujących zwłaszcza w strukturach epitaksjalnych.

Zgodnie z wynalazkiem sposób polega na tym, że dla złącz o małym stosunku koncentracji domieszek dokonuje się pomiaru profilu koncentracji nośników swobodnych metodą nieniszczącą, po czym określa się współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego, następnie na podstawie określonego współczynnika X_D porównywanego z rozkładem koncentracji nośników, teoretycznym lub doświadczalnym, odtwarza się krzywą ilustrującą profil koncentracji domieszek wewnątrz obszaru przejściowego poprzez przeniesienie punktów tych rozkładów od międzypowierzchni złącza na poszukiwany profil.

Współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego struktur rzeczywistych wyznacza się z zależności:

$$X_D = \frac{L_1}{L_{D1}} - 1 = \frac{L_2}{L_{D11}} - 1$$

gdzie: L_1 i L_2 to doświadczalnie zmierzone szerokości obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej odpowiednio w obszarze silniej i słabiej domieszkowanym, L_{D1} i L_{D11} - promienie ekranowania odpowiednio w obszarze silniej i słabiej domieszkowanym.

Po przemnożeniu wartości teoretycznej szerokości obszaru ładunku przestrzennego wzorcowej struktury skokowej o tym samym poziomie domieszkowania przez współczynnik X_D określa się szerokość strukturalnego obszaru przejściowego rzeczywistego złącza.

Zgodnie z wynalazkiem inny sposób polega na tym, że dla złącz o dużym stosunku koncentracji domieszek dokonuje się pomiaru profilu koncentracji nośników swobodnych metodą nieniszczącą, po czym określa się współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego, następnie wyznaczony współczynnik X_D porównuje się z rozkładem koncentracji nośników, teoretycznym lub doświadczalnym, po czym odtwarza się krzywą ilustrującą profil koncentracji domieszek wewnątrz obszaru przejściowego przez przeniesienie punktów tych rozkładów od międzypowierzchni złącza na poszukiwany profil domieszek.

Współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego struktur rzeczywistych wyznacza się z zależności:

$$X_D = \frac{L_2}{\sqrt{2} L_{D1}} - 1$$

gdzie: L_2 oznacza doświadczalnie zmierzona szerokość obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej w obszarze domieszkowanym, L_{D1} - promień ekranowania w obszarze domieszkowanym, a szerokość strukturalnego obszaru przejściowego koncentracji domieszek określa się z zależności:

$$L_K = X_D \frac{1}{1 + X_D} L_1 + \sqrt{2} L_{D1}$$

gdzie: L_K oznacza szerokość obszaru przejściowego, L_1 - doświadczalnie zmierzona szerokość obszaru przestrzennego struktury rzeczywistej w obszarze domieszkowania, L_{D1} - promień ekranowania w obszarze domieszkowania.

Rozwiązanie według wynalazku wykorzystuje analityczną metodę opisu własności elektrycznych, przede wszystkim zależności koncentracji nośników od odległości od międzypowierzchni skokowych złącz 1-h.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest możliwość określania struktury na podstawie prostego wzoru dla szerokości obszaru przejściowego oraz wzorca profilu doświadczalnego rozkładu domieszek. Sposób według wynalazku przeznaczony jest dla przypadku profili domieszkowych, charakteryzujących się rozkładem monotonicznym, zbliżonym w kształcie do funkcji rozkładu nośników swobodnych.

Przedmiot wynalazku zostanie bliżej objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym przedstawiony jest wykres rozkładu koncentracji nośników w obszarze przejściowym w funkcji grubości.

Po wykonaniu skokowego złącza l-h, poprzez np. nałożenie warstwy epitaksjalnej na podłoże z tego samego materiału i innym poziomem domieszkowania, albo w trakcie wzrostu warstwy epitaksjalnej poprzez skokowe zmiany poziomu jej domieszkowania, zdejmuje się głównie nieniszczącą metodą pojemnościowo-napięciową rzeczywisty profil koncentracji nośników swobodnych w danej strukturze. Równocześnie oblicza się znanymi metodami teoretyczną szerokość obszaru ładunku przestrzennego lub teoretyczny rozkład koncentracji nośników swobodnych dla tak samo domieszkowanej struktury, przy założeniu, że na międzypowierzchni złącza występuje gradient domieszki $\text{grad } N(x)$.

Dla określenia szerokości obszaru przejściowego L_K obszaru, w którym poziom domieszkowania nie jest stały, wystarczy porównanie szerokości obszaru ładunku przestrzennego obliczonej teoretycznie i zmierzonej doświadczalnie na profilu D przy e-krotnej zmniejszonej różnicy koncentracji nośników na międzypowierzchni n_{m0} oraz koncentracji równowagowej wewnątrz danego obszaru, tzn. odpowiadającej poziomowi domieszkowania N_{D1} w obszarze domieszkowanym lub N_{DII} w obszarze słabiej domieszkowanym.

Odpowiednie punkty na profilach koncentracji nośników swobodnych: doświadczalnym D oraz teoretycznym T, określone są na poziomie koncentracji odpowiednio: n_1 dla obszaru silniej domieszkowanego oraz n_2 dla obszaru słabiej domieszkowanego.

Współczynnik strukturalnego obszaru przejściowego X_D , jednakowy dla każdego punktu profilu bez względu na obszar, można obliczyć na podstawie wzorów analitycznych tylko dla bardzo małych, albo bardzo dużych stosunków koncentracji domieszek w sąsiednich obszarach. Podobnie szerokość strukturalnego obszaru przejściowego L_K , przy czym szerokość L_K zawiera dwa podobszary znajdujące się w jednym lub drugim obszarze złącza: L_{K1} wewnątrz obszaru silniej domieszkowanego oraz L_{K2} wewnątrz obszaru słabiej domieszkowanego.

Dla złącz o małych stosunkach koncentracji domieszek odpowiednie wzory mają następującą postać:

$$L_K = L_{K1} + L_{K2} = X_D L_{D1} + X_D L_{DII}$$

gdzie: L_{D1} i L_{DII} są promieniami ekranowania odpowiednio w obszarze silniej i słabiej domieszkowanym.

$$X_D = \frac{L_1}{L_{D1}} - 1 = \frac{L_2}{L_{DII}} - 1$$

gdzie L_1 i L_2 są szerokościami obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej odpowiednio w obszarze silniej i słabiej domieszkowanym.

W przypadku złącz o dużych stosunkach koncentracji domieszek procedura jest bardziej złożona, bardziej zależna od danych doświadczalnych. Wzór na współczynniku strukturalnego obszaru przejściowego oblicza się na podstawie danych dla obszaru słabiej domieszkowanego.

$$X_D = \frac{L_2}{\sqrt{2} L_{D1}} - 1$$

gdzie: L_{D1} jest promieniem ekranowania w obszarze silniej domieszkowanym, a L_2 jest doświadczalną szerokością obszaru słabiej domieszkowanego.

Szerokość grubszego podobszaru przejściowego, wewnątrz obszaru słabiej domieszkowanego oblicza się na podstawie wzoru:

$$L_{K2} = X_D \sqrt{2} L_{D1}$$

Natomiast szerokość drugiego podobszaru przejściowego węższego wewnątrz obszaru silniej domieszkowanego, ze wzoru:

$$L_{K1} = \frac{X_D}{1 + X_D} L_1$$

gdzie: L_1 jest doświadczalnie zmierzoną szerokością obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej w obszarze silniej domieszkowanym, a X_D posiada wartość obliczoną na podstawie danych dla obszaru słabiej domieszkowanego.

Inny sposób polega na tym, że na podłożu krzemowe o znanej koncentracji domieszek $N_{D1} = 9 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ nanosi się krzemową warstwę epitaksjalną o złożonej przed procesem technologicznym grubości, nie mniejszej niż pięciokrotna wartość promienia ekranowania w nanoszonej warstwie epitaksjalnej. Po wykonaniu warstwy, określa się profil koncentracji nośników ładunku D w funkcji grubości x metodą nieniszczącą, przy użyciu znanych profilografów do określania stromych profili. Określony profil zawiera między innymi informację o rozmyciu profilu domieszkowanego.

Z zależności określającej współczynnik X_D oblicza się wartość tego współczynnika dla dużych stosunków koncentracji domieszek w złączu:

$$X_D = \frac{L_2}{\sqrt{2} L_{D1}} - 1 = 0,82$$

Na podstawie X_D oblicza się grubość obszaru przejściowego profilu domieszkowego z zależności:

$$L_K = \frac{1}{1 + X_D} L_1 + \sqrt{2} L_{D1} = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$$

Na podstawie krzywej doświadczalnej D określonej dla całego złącza lub części krzywej doświadczalnej D w obszarze silniej domieszkowanym i części krzywej teoretycznej T w obszarze słabiej domieszkowanym oraz znajomości powyższych parametrów odtwarza się profil domieszki w całym obszarze przejściowym struktury rzeczywistej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób określenia strukturalnego obszaru przejściowego w skokowych strukturach półprzewodnikowych $I-h$, polegający na określeniu grubości obszaru przejściowego profili domieszkowych, **znamienny tym**, że dla złącz o małym stosunku koncentracji domieszek dokonuje się pomiaru profilu koncentracji nośników swobodnych metodą nieniszczącą, po czym określa się współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego, następnie na podstawie współczynnika X_D porównanego z rozkładem koncentracji nośników, teoretycznym lub doświadczalnym, odtwarza się krzywą ilustrującą profil koncentracji domieszek wewnątrz obszaru przejściowego poprzez przeniesienie punktów tych rozkładów od międzypowierzchni złącza na poszukiwanym profilu domieszek, przy czym współczynnik X_D dla złącz o małym stosunku koncentracji domieszek określa się korzystając z zależności:

$$X_D = \frac{L_1}{L_{D1}} - 1 = \frac{L_2}{L_{D11}} - 1$$

gdzie: L_1 i L_2 to doświadczalnie zmierzone szerokości obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej odpowiednio: w obszarze silnie i słabiej domieszkowanym, L_{D1} i L_{DII} - promienie ekranowania odpowiednio w obszarze silnie i słabiej domieszkowanym, następnie po przemnożeniu wartości teoretycznej szerokości obszaru ładunku przestrzennego wzorcowej struktury skokowej o tym samym poziomie domieszkowania przez współczynnik X_D określa się szerokość strukturalnego obszaru przejściowego złącza rzeczywistego.

2. Sposób określenia strukturalnego obszaru przejściowego w skokowych strukturach półprzewodnikowych l-h, polegający na określeniu grubości obszaru przejściowego profili domieszkowych, **znamienny tym**, że dla złącz o dużym stosunku koncentracji domieszek dokonuje się pomiaru profilu koncentracji nośników swobodnych metodą nieniszczącą po czym określa się współczynnik X_D strukturalnego obszaru przejściowego, a następnie wyznaczony współczynnik X_D porównuje się z rozkładem koncentracji nośników, teoretycznym lub doświadczalnym; po czym odtwarza się krzywą ilustrującą profil koncentracji domieszek wewnątrz obszaru przejściowego przez przeniesienie punktów tych rozkładów od międzypowierzchni złącza na poszukiwany profil domieszek, przy czym współczynnik X_D określa się z zależności:

$$X_D = \frac{L_2}{\sqrt{2} L_{D1}} - 1$$

gdzie L_2 oznacza doświadczalnie zmierzoną szerokość obszaru ładunku przestrzennego struktury rzeczywistej w obszarze słabiej domieszkowanym, L_{D1} - promień ekranowania w obszarze silnie domieszkowanym oraz określa się szerokość strukturalnego obszaru przejściowego koncentracji domieszek z zależności:

$$L_K = X_D \frac{1}{1 + X_D} L_1 + \sqrt{2} L_{D1}$$

gdzie: L_K oznacza szerokość obszaru przejściowego, L_1 - doświadczalnie zmierzoną szerokość obszaru przestrzennego struktury rzeczywistej w obszarze domieszkowania, L_{D1} - promień ekranowania w obszarze silnie domieszkowanym.

