

ВПЛИВ РІВНЯ ЛЕГУВАННЯ КРЕМНІЄВИХ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯК СЕНСОРІВ ПАРІВ АМІАКУ

Пташенко О.О.¹, Пташенко Ф.О.², Гільмутдінова В.Р.¹, Кирничук О.С.¹

¹Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, Одеса, Україна

²Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, Україна

Досліджено вплив рівня легування на поверхневий струм кремнієвих p-n переходів, обумовлений адсорбцією парів води та аміаку. Вимірювання проведено на плавних p-n переходах з градієнтом концентрації домішок від $a_n=1\cdot10^{21}\text{см}^{-4}$ до $a_n=5\cdot10^{23}\text{см}^{-4}$. Проведено чисельні двовимірні розрахунки нерівноважних поверхневих процесів у p-n переходах при адсорбції молекул донорного газу.

Встановлено наявність двох конкуруючих механізмів газової чутливості p-n переходів. Перший з них пов'язаний з впливом електричного поля адсорбованих іонів на струм, обумовлений рекомбінацією електронів і дірок через швидкі поверхневі глибокі центри. Другий механізм – це утворення поверхневого каналу з електронною провідністю, який "закорочує" p-n перехід.

ВАХ рекомбінаційного поверхневого струму відповідали виразу

$$I_R(V) = I_0 \exp[qV/(n_s kT)], \quad (1)$$

де I_0 – стала; q – заряд електрона; k – стала Больцмана; T – температура; $n_s = 2$ – коефіцієнт неідеальності ВАХ. Рекомбінаційний струм був основним при достатньо низьких значеннях парціального тиску аміаку.

Чутливість p-n переходів як сенсорів парів аміаку визначалась за формулою

$$S = \Delta I / \Delta P, \quad (2)$$

де ΔI – зміна струму при зростання парціального тиску парів NH_3 на ΔP при фіксованому значенні напруги. Адсорбція парів аміаку зменшувала рекомбінаційний струм в досліджених p-n переходах, що відповідало від'ємній чутливості, тобто $S_R < 0$. Розрахунки показали, що максимальний темп поверхневої рекомбінації спостерігається у точці, що відповідає максимуму добутку $f_s(1-f_s)$, де $f_s = f_s(x)$ – коефіцієнт заповнення електронами даних центрів. При адсорбції донорних молекул величина f_s зростає, що веде до зменшення темпу поверхневої рекомбінації, тобто до від'ємної чутливості.

Поверхневий канал з електронною провідністю формувался у p-n переходах при достатньо високих значеннях парціального тиску P парів аміаку. ВАХ додаткового поверхневого струму в каналі, обумовленого адсорбцією парів аміаку, мала протяжну лінійну ділянку. Концентрація електронів у каналі зростала при підвищенні P , що відповідало додатній чутливості, тобто $S_{ch} > 0$.

Порогу чутливості p-n переходів як газових сенсорів відповідає таке мінімальне значення P_m парціального тиску парів аміаку, при якому $S = S_{ch} > 0$. Зі зниженням градієнта концентрації домішок у досліджених p-n переходах від $5\cdot10^{23}\text{см}^{-4}$ до $2\cdot10^{21}\text{см}^{-4}$ зменшувався поріг чутливості P_m і зростала газова чутливість S , що пояснюється на основі проведених розрахунків. Подальше зниження градієнта концентрації домішок не приводило до зменшення порогу чутливості, що можна пояснити впливом додаткових факторів, наприклад, дефектності поверхні.

Отримані результати дозволяють оптимізувати структуру p-n переходів як газових сенсорів.