

Вплив домішок германію та кисню на радіаційну стійкість монокристалічного кремнію

М.І. Старчик, А.А. Гроза, В.І. Варніна, П.Г. Литовченко, Л.С. Марченко

Інститут ядерних досліджень НАН України

Методом інфрачервоної спектроскопії та вибіркового травлення досліджено вплив нейтронного опромінення на монокристалічний кремній з вмістом домішки <Ge>: $0 \div 13,3$ ат. %. Досліджувались зразки як n-, так і p- типу провідності, вирощені методом зонної плавки (FZ) та методом Чохральського (Cz). Флюенси опромінення (F) швидкими нейтронами реактора складала $5 \cdot 10^{16}$ та $5 \cdot 10^{19}$ н/см².

Досліджено спектри ІЧ-поглинання кремнію в спектральній області $1500\text{--}4000$ см⁻¹. Виявлено широку (напівширина $\Delta > 500$ см⁻¹) смугу поглинання з максимумом при ~ 2550 см⁻¹ (3,9 мкм) в спектрах зразків кремнію, опромінені швидкими нейтронами реактора. Аналіз отриманих даних показав, що смуга належить позитивно зарядженій дивакансії (V_2^+), а поглинання зумовлено збудженням електрона від краю валентної зони до (b+b') орбіталі в електронній моделі дивакансії.

Виявлено залежність інтенсивності поглинання в смугі 3,9 мкм від концентрації домішки кисню в кремнії. При флюенсах опромінення $\sim 10^{16}$ н/см² інтенсивність поглинання в Cz-Si вдвічі більша, порівняно з FZ-Si і не залежить від типу легуючої домішки (B, P). При збільшенні флюенсу опромінення ($\sim 10^{19}$ н/см²) залежність концентрації дивакансій від домішки кисню стає неістотною.

Аналіз експериментальних даних показав, що введення домішки германію в Cz-Si в концентрації 0,7 ат. % вдвічі підвищує його радіаційну стійкість до утворення дивакансій при нейтронному опроміненні флюенсом $5 \cdot 10^{16}$ н/см². Виявлено, що такий кремній містив малу концентрацію дислокацій ($< 10^4$ см⁻²), а дефекти структури в цьому зливку були розміщені рівномірно.

Дослідження структури FZ-Si (діаметр зливків $d \sim 8$ мм) з вмістом домішки германію від 1,48 до 13,3 ат. % показали, що концентрація дислокацій в кристалах складає $\sim 10^4 \div 10^6$ см⁻². Виявлено, що рівномірність розподілу германію по довжині зливку кремнію супроводжується рівномірністю розподілу структурних дефектів. Зі збільшенням вмісту германію до $12 \div 14$ ат. % можливе накопичення його в шарах пов'язаних з умовами росту зливків кремнію.

При виготовленні детекторів на основі такого кремнію прийнятними для роботи виявилися ті, що зроблені на матеріалі з рівномірним по довжині зливку кремнію розподілом германію (<Ge> ~ 1 ат. %) і дислокацій.