

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С ПОМОЩЬЮ СВЧ-ЗОНДИРОВАНИЯ

Определение интенсивности процессов рекомбинации на поверхности полупроводника является одной из основных задач при создании электронных приборов на основе микро- и нано структур. Для изучения поверхностной рекомбинации обычно применяется импульсная ионизация полупроводника монохроматическим излучением с последующей регистрацией отраженной от этой поверхности СВЧ-волны. Разделение объемного и поверхностного процессов рекомбинации обеспечивается на основе значительного различия их скоростей [1].

В данной работе предлагается оценивать скорость поверхностной рекомбинации S в стационарном режиме по измеренным значениям интенсивности фотовозбуждающего источника I_s и концентрации n_s носителей заряда в приповерхностной области полупроводникового слоя:

$$S = \frac{q_s}{n_s} = \frac{I_s(1-R)}{h\nu n_s},$$

где q_s ($\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$) – поверхностная плотность избыточных носителей заряда, образующихся за 1 с в результате возбуждения; R – коэффициент отражения фотовозбуждающего излучения от образца; ν – его частота.

Для фотовозбуждения кремниевой пластины n -Si применялось излучение лазерного диода с длиной волны 0,96 мкм (мощность ~ 4 мВт). Толщина пластины 0,5 мм. Концентрация носителей в приповерхностной облучаемой области полупроводниковой пластины определялась по частоте ω_0 магнитоплазменного поглощения зондирующего излучения, при которой наблюдается минимальное пропускание. Частота ω_0 зависит от концентрации носителей и от магнитного поля. Если постоянное внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно распространению зондирующей волны, то выражение для концентрации n имеет вид:

$$n = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 m^*}{e^2} (\omega_0^2 - \omega_c^2), \quad (1)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость пластины в постоянном поле;

ϵ_0 – диэлектрическая постоянная; m^* – эффективная масса электрона; e – элементарный заряд; $\omega_c = (eB_0/m^*)$ – циклотронная частота; B_0 – индукция магнитного поля, при которой наблюдается минимальное пропускание.

Изменяемым параметром при измерениях являлась магнитная индукция, определяющая циклотронную составляющую частоты ω_0 . Минимальное пропускание наблюдалось на частотах зондирующего излучения 75 и 78 ГГц, при значениях магнитной индукции 0,5 и 0,75 Тл, соответственно. С использованием этих данных и значения эффективной массы для Si $1,08m_0$ получено значение концентрации электронов в образце $8,8 \cdot 10^{20}$ и $9,1 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Оценка концентрации электронов в приповерхностной облучаемой области с учетом коэффициента поглощения кремния 10^2 м^{-1} на длине волны фотовозбуждающего излучения (0,96 мкм) дает значение, которое может отличаться от полученного из частотных измерений примерно на 2% (с учетом диффузии носителей). Значение скорости поверхностной рекомбинации, рассчитанное по формуле (1) при $I_s = 4 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$, составляет 25 м/с.

Предлагаемая методика не требует использования данных о коэффициенте диффузии и объемном времени жизни носителей и может быть полезной для определения скорости поверхностной рекомбинации при концентрациях электронов $\sim 10^{20} - 10^{21} \text{ м}^{-3}$ с использованием излучений миллиметрового диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palais, O. Contactless measurement of bulk lifetime and surface recombination velocity in silicon wafers / O. Palais, A. Arcari // J. Appl. Phys. – 2003. – Vol. 93, – no. 8. – P. 4686–4690.