

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКА

В.В.Поспелов, Р.А.Сурис, Е.А.Фетисов,

Б.И.Фукс, Р.З.Хафизов

Предложен новый способ измерений малых интегральных плотностей поверхностных состояний на границе между полупроводником и диэлектриком. Оценки показывают, что этот метод позволяет измерять при комнатных температурах плотности состояний вплоть до 10^4 см^{-2} , а при температурах жидкого азота — до $1 + 10 \text{ см}^{-2}$. Приведены результаты экспериментальной проверки метода на структурах с плотностью состояний порядка 10^{10} см^{-2} .

Исследование свойств поверхности — одна из важнейших задач современной физики полупроводников. В этой связи особую актуальность приобретает вопрос о прецизионных измерениях плотности поверхностных состояний (ПС) носителей заряда N_s . Известные методы не позволяют измерять значения N_s ниже $10^9 + 10^{10} \text{ см}^{-2}$ [1 — 3]. Между тем, современная экспериментальная техника дает возможность получать структуры Si — SiO₂ с меньшими значениями N_s на поверхности раздела [4]. Указанная трудность связана в конечном итоге с необходимостью измерять малый заряд ПС на фоне большого объемного заряда в полупроводнике.

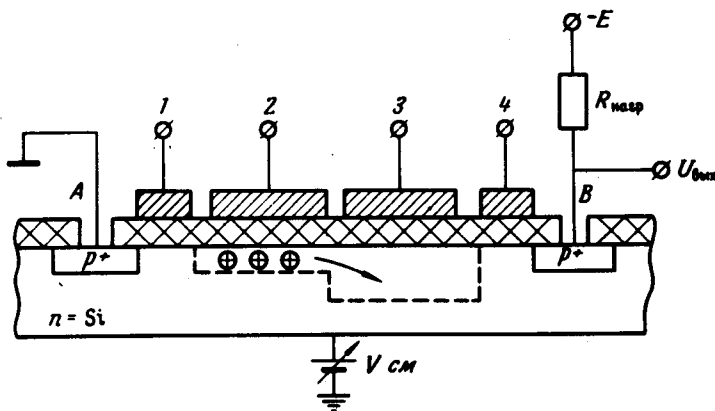


Рис. 1. Схема структуры для определения интегральной плотности поверхностных состояний

Предлагаемый метод определения интегральной плотности ПС основан на эффективном увеличении числа ПС за счет суммирования многократного захвата ими носителей в структуре, содержащей два близко расположенных конденсатора, образованных металлическими электродами на поверхности диэлектрика, покрывающего полупроводник (рис. 1).

Пусть в потенциальную яму, возникшую в полупроводнике под электродом 2 вследствие приложения к нему напряжения соответствующего знака, инжектированы неосновные носители, заряд которых равен Q_0 (для структуры на рис. 1 — это дырки). Инжекцию можно осуществить либо путем локального освещения, либо из p - n -перехода A , предварительно приложив к электроду 1, играющему роль затвора, напряжение, создающее поверхностный канал для неосновных носителей. Уменьшение напряжения на электроде 2 и включение его на электроде 3 заставит свободные носители перетечь из под электрода 2 под электрод 3. Вследствие захвата носителей на ПС под электродом 2 их заряд под электродом 3 окажется уменьшенным на величину $eN_s F$, где F — площадь электрода. Если к подложке приложено достаточно большое напряжение $V_{сж}$, то при напряжении на электроде 2, меньшем этой величины, возникнет поток основных носителей, направленный к поверхности, который приведет к их рекомбинации с захваченными на ПС неосновными носителями. В результате ПС окажутся свободными от дырок и готовыми для последующего захвата. Следующий перенос дырок от электрода 3 к 2 удвоит потери. Ясно, что заряд Q_m , оставшийся после m переносов, окажется равным $Q_0 - eN_s F m$. Следовательно плотность ПС можно найти из формулы

$$N_s = \frac{Q_0 - Q_m}{emF} \quad (1)$$

Величину Q_m можно измерить по току обратно смещенного p - n -перехода B . Для этого необходимо после m -го переноса приложить к электроду 4, играющему роль второго затвора, напряжение, которое создаст канал для дырок, позволяющий им перетечь из-под электрода 3 к p - n -переходу B .

Описанный метод требует выполнения нескольких условий.

Во-первых, расстояние между электродами должно быть достаточно малым, чтобы в промежутке между ними не возникал потенциальный барьер, препятствующий, перетеканию неосновных носителей [5].

Во-вторых, необходимо, чтобы интервал времени τ между началом выключения напряжения на электроде и тем моментом, когда начинается рекомбинация, превосходил характерное время перетекания носителей из-под одного электрода к другому. В противном случае рекомбинируют не только носители, захваченные на ПС, но и свободные. В [5] показано, что оно определяется диффузией носителей. Таким образом, необходимо, чтобы

$$\tau \gg \frac{L^2}{D} \quad (2)$$

где L — ширина электрода, а D — коэффициент диффузии неосновных носителей вдоль поверхности.

В-третьих, время, за которое происходит заметное уменьшение исходного заряда, составляющее величину порядка $m_{max} N_s \tau$, должно быть много меньше времени τ_g , за которое происходит накопление неосновных носителей вследствие тепловой их генерации. Тогда из выражения

(1) и условия (2) вытекает следующее ограничение на минимальную плотность ПС, доступную измерению предлагаемым методом,

$$N_s \approx \frac{Q_0}{e t_{max} F} \gg \frac{Q_0}{e F} \frac{L^2}{D \tau_g} \quad (3)$$

Для изготавливаемых ныне структур Si - SiO₂ при комнатных температурах $\tau_g \sim 10^2$ сек [6]. Таким образом, при $L \approx 10^{-3}$ см, $D \approx 5$ см²/сек и $Q_0/eF \sim 10^{12}$ см⁻², минимальная измеряемая плотность ПС составляет 10^4 см⁻². При температурах жидкого азота, когда τ_g достигает десятков часов, эта величина может быть уменьшена на три - четыре величины

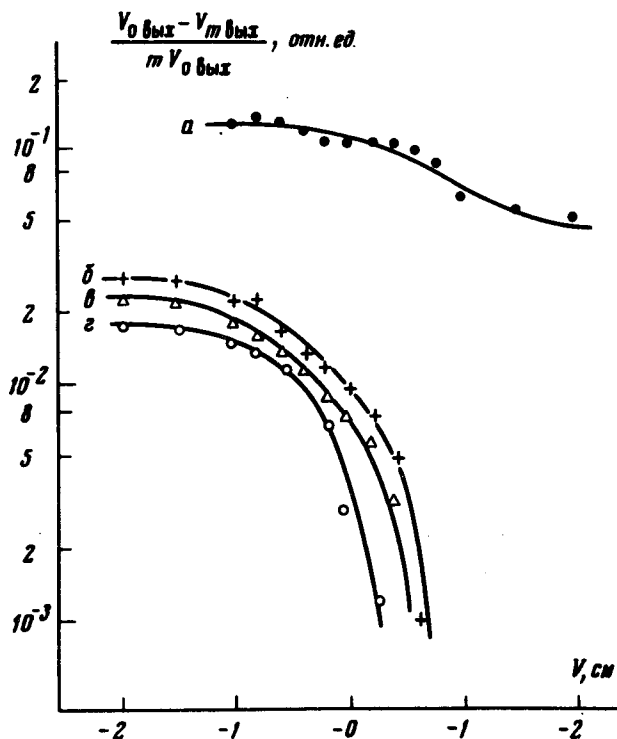


Рис. 2. Зависимости потерь заряда за один перенос от напряжения на подложке для разных времен: (а - 0,1 мксек, б - 2 мксек, в - 5 мксек, г - 20 мксек

Экспериментальная проверка описанного метода была проведена на структуре, представленной на рис. 1, причем зазоры между электродами составляли $1 + 2$ мкм. На рис. 2 приведены зависимости потерь на один перенос от напряжения на подложке V_{CM} и времени τ . Резкое уменьшение потерь с увеличением V_{CM} связано с уменьшением потока электронов к поверхности, вследствие чего рекомбинируют не все захваченные на ПС дырки. Кривая а рис. 2 демонстрирует возрастание потерь из-за неполного переноса свободных дырок (не выполнено условие (2)). Вычисление N_s производилось по кривой г рис. 2, для которой τ заведомо удовлетворяло условию (2). Поскольку начальный

заряд Q_0 , величина которого составляла $e10^{12}F$, практически полностью исчезал после 50 переносов, вычисленная из (1) плотность ПС равна $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, что согласуется с результатами обычных измерений.

Поступила в редакцию
12 февраля 1975г.

Литература

- [1] E.H.Nicollian, A.Goetzberger. Appl. Phys. Lett., 7, 216, 1965.
 - [2] P.V.Gray, D.M.Brown. Appl. Phys. Lett., 8, 31, 1966.
 - [3] G.F.Amelzo. Surface Science, 29, 125, 1972
 - [4] A.D.Lopez. Rev. Scient. Instrum., 44, 200, 1972.
 - [5] W.S.Boyle, G.E.Smith. Bell. Syst. Techn. J., 49, 587, 1970.
 - [6] C.T.Sah, H.S.Fu. Phys. Stat. Sol. (A) 11, 297, 1972.
-