

ВЛИЯНИЕ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА МПД-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ InSb

А. Ф. Плотников, В. И. Савотин, В. Э. Щубин

УДК 537.226; 537.311.322

Исследовалось влияние излучения окружающего фона на фотоэлектрические свойства МПД-структуры из InSb . Показано, что снижение температуры фона от 300 К до 77 К приводит к резкому изменению вольт-фарадных характеристик и тангенса диэлектрических потерь, а также к увеличению вольт-ваттной чувствительности структуры.

В МПД-структурах на основе узкозонных полупроводников с "красной границей", лежащей в окрестности максимума излучения окружающего фона с температурой 300 К (например, InAs , PbTe , InSb , тройные соединения), должно наблюдаться сильное влияние фона на фотоэлектрические свойства таких структур. Это объясняется тем, что фон приводит к образованию значительной избыточной концентрации неосновных носителей в области пространственного заряда (ОПЗ) МПД-структуры. Так, для антимонида индия генерация неосновных носителей, обусловленная "комнатным" фоном существенно превосходит как термогенерацию в слое ОПЗ, так и генерацию с поверхностных состояний /1,2/.

В настоящей работе исследовалось влияние окружающего комнатного фона на равновесные фотоэлектрические характеристики структуры $\text{InSb} + \text{In}_2\text{O}_3 + \text{Ni}$. Исходные образцы представляли из себя монокристаллические пластины толщиной 0,5 мм с концентрацией доноров $3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, которые после химико-механической полировки и травления подвергались анодному окислению в KOH . Толщины получаемых диэлектрических пленок были (1000 - 1500) Å. Поверх диэлектрической пленки методом вакуумного напыления наносились полупрозрачные электроды из Ni (площадь $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$). Исследуемый

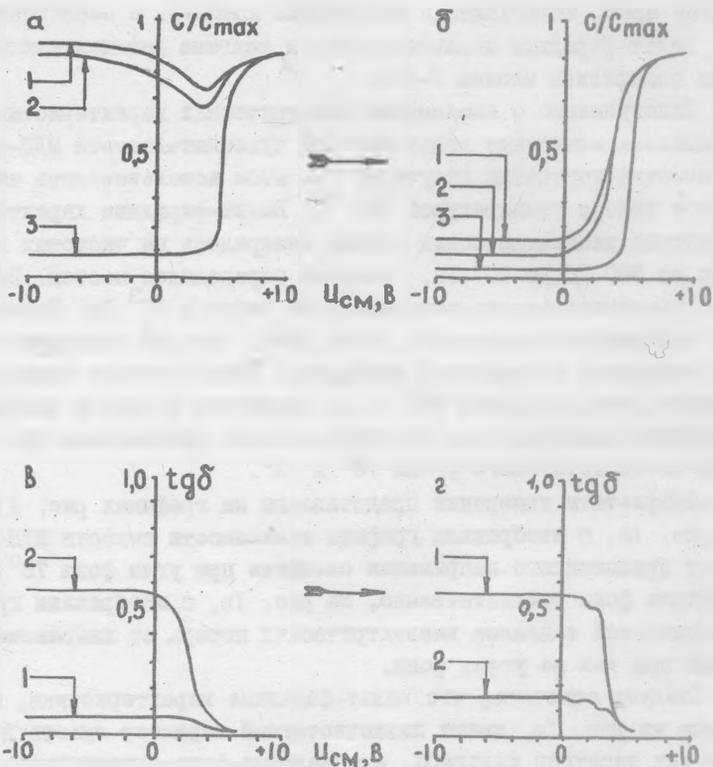
образец вместе с окружающей его цилиндрической диафрагмой, регулирующей уровень фоновой засветки, погружался непосредственно в жидкий азот, заливаемый в стеклянный криостат с сапфировыми окнами.

Вольт-фарадние характеристики и тангенс диэлектрических потерь измерялись мостом Р-571.

Одновременно с изменением электрических характеристик производилось измерение вольт-ваттной чувствительности МДЦ-структур. В качестве источника излучения при этом использовалось абсолютно черное тело с температурой 300°C . Вольт-фарадние характеристики и тангенс диэлектрических потерь измерялись на частотах в диапазоне от 300 Гц до 10^4 Гц , который определялся мостом. Вольт-ваттная чувствительность измерялась на частоте 10^3 Гц . Уровень фона при измерениях определялся углом фона, который задавался диаметром отверстия охлаждаемой диафрагмы. Электрические измерения проводились при угле фона 78° и при полностью закрытой диафрагме. Измерения вольт-ваттной чувствительности проводились при уровне фона соответствующего углам 78° и 23° .

Результаты измерений представлены на графиках рис. 1 и рис. 2. На рис. 1а, б изображены графики зависимости емкости МДЦ-структуры от приложенного напряжения смещения при угле фона 78° в отсутствие фона соответственно. На рис. 1в, г изображены графики зависимостей тангенса диэлектрических потерь от напряжения смещения при тех же углах фона.

Следует отметить, что вольт-фарадние характеристики, изображенные на рис. 1а, имеют низкочастотный характер вплоть до нескольких десятков килогерц, при наличии фона ограниченного углом 78° , тогда как экранировка фона приводит к переходу низкочастотного характера вольт-фарадных характеристик в высокочастотный, который наблюдается вплоть до граничной частоты измерений, определяемой применяемым мостом, 300 Гц . Этот факт свидетельствует о преобладающей роли фоновой генерации неосновных носителей по сравнению с другими механизмами генерации. Чтобы установить граничную частоту, ниже которой вольт-фарадние характеристики имеют низкочастотный вид, в отсутствие комнатного фона проводились измерения времени, за которое МДЦ-структура из неравновесного состояния приходит в равновесное при возбуждении ее импульсным напряжением смещения. Такие измерения показали, что время перехода составляет величину 30 мс . Это означает, что в условиях охла-



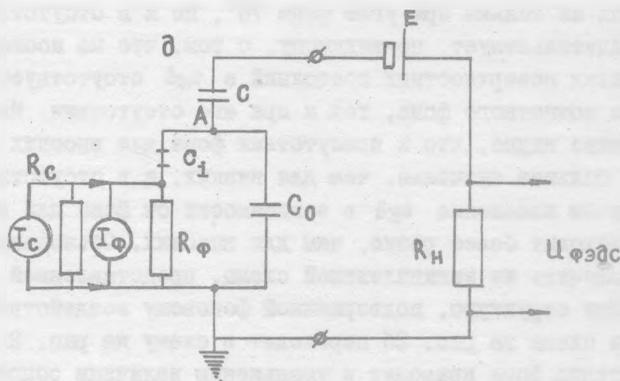
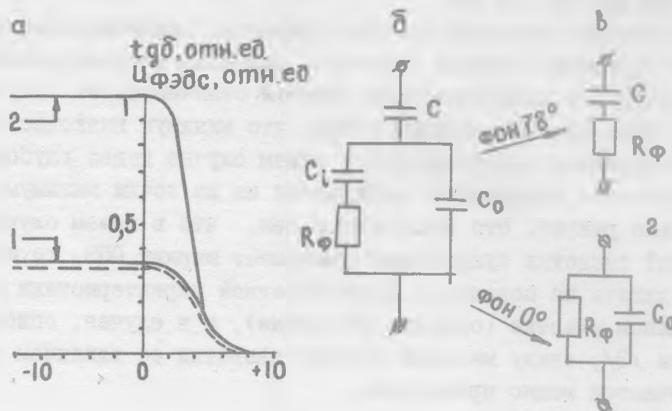
Р и с. 1. Вольт-фарадные характеристики (а, б) и зависимости тангенса диэлектрических потерь от напряжения смещения (в, г) на частотах $f = 10^3$ Гц (1), $f = 10^4$ Гц (2), $f = 10^6$ Гц (3) при угле фона 78° (а, в) и в отсутствие фона (б, г)

денного фона вольт-фарадная характеристика примет низкочастотный вид при $f < 15$ Гц.

Частотная зависимость вольт-фарадных характеристик в зависимости от уровня внешней засветки, подробно анализировавшаяся в работе /3/, в низкочастотной области отличается от полученных нами. Суть отличия состоит в том, что минимум низкочастотных вольт-фарадных характеристик в нашем случае менее глубокий, а их частотная зависимость начинается не из точки минимума, а значительно раньше. Это объясняется тем, что в нашем случае действие фоновой засветки существенно уменьшает ширину ОПЗ, то есть начинает влиять на поведение вольт-фарадной характеристики уже на ее начальном участке (область обеднения), а в случае, описанном в работе /3/, ввиду малости внешней засветки ее влиянием на начальный участок можно пренебречь.

Графики зависимости тангенса диэлектрических потерь от напряжения смещения, представленные на рис. 1в, г, имеют вид насыщающихся кривых не только при угле фона 76° , но и в отсутствие фона. Это свидетельствует, по-видимому, о том, что на исследуемых образцах вклад поверхностных состояний в $\text{tg}\delta$ отсутствует как при наличии комнатного фона, так и при его отсутствии. Из этих рисунков также видно, что в присутствии фона для высоких частот $\text{tg}\delta$ имеет большее значение, чем для низких, а в отсутствие — наоборот, причем изменение $\text{tg}\delta$ в зависимости от фона для низких частот происходит более резко, чем для высоких. Объяснение этому можно получить из эквивалентной схемы, представленной на рис. 2б, в, г. Для структуры, подверженной фоновому воздействию, эквивалентная схема на рис. 2б переходит в схему на рис. 2в, так как воздействие фона приводит к уменьшению величины сопротивления R_{ϕ} , которое при этом становится меньше величины $1/\omega C_{\phi}$, то есть шунтирует эту емкость. Экранировка фона приводит к такому увеличению R_{ϕ} , что емкостью C можно пренебречь и эквивалентная схема переходит в схему, представленную на рис. 2г. При этом увеличение частоты приводит уже к уменьшению $\text{tg}\delta$.

При фотоэлектрических измерениях определялась величина вольт-ваттной чувствительности в зависимости от напряжения смещения и уровня фоновой засветки. Результаты измерений представлены на рис. 2а. Здесь следует отметить два явления, первое — увеличение вольт-ваттной чувствительности при уменьшении фоновой засветки



Р и с. 2. а - зависимость фотоздс (сплошные линии) и $\text{tg}\delta$ (пунктир) от напряжения смещения при угле фона 78° (1) и 23° (2) из частоте $f = 10^3$ Гц; б, в, г, д - эквивалентные схемы: C , C_1 , C_0 - соответственно емкости диэлектрика, инверсного слоя и ОПЗ, E - источник внешнего смещения, R_H - нагрузочное сопротивление

ки и второе – хорошую корреляцию между зависимостью фототока от смещения и тангенсом диэлектрических потерь. При уменьшении угла фона с 78° до 23° вольт-ваттная чувствительность структуры увеличивалась почти в три раза. Эти факты, а также факт независимости формы импульса фотоотклика от напряжения смещения при различных величинах нагрузочного сопротивления (R_H – изменялось в пределах от 10^3 до 10^7 Ом) дает возможность представить упрощенную эквивалентную схему для фотоотклика МДП-структуры в виде, представленном на рис. 2д. Напряжение смещения от внешнего источника E , создавая в структуре ОПЗ (в отсутствие сигнала), вызывает к действию и источник тока I_Φ , мощность которого определяется уровнем фоновой засветки и задается сопротивлением R_Φ . Роль источника I_Φ заключается в уравнивании действия источника внешнего смещения E при воздействии на структуру комнатного фона. При равновесии схемы потенциал точки А имеет вполне определенное значение соответствующее данному уровню фона. Воздействие на МДП-структуру сигнала соответствует подключению к схеме источника I_C , мощность которого определяется мощностью сигнала и задается на схеме сопротивлением R_C . Подключение нового источника к схеме переводит ее в новое положение равновесия, при котором происходит изменение потенциала точки А (рис. 2д) воспринимаемое нами как фотоотклик структуры. Используя эту эквивалентную схему можно объяснить увеличение фотоотклика при уменьшении фоновой засветки увеличением сопротивления R_Φ .

Поступила в редакцию
19 мая 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. И. Стикл, Р. Д. Нельсон и др., ТИИЭР, 63, № 1 (1975).
2. S. R. Hofstein, G. Warfield, Solid-State Electronics, 8, N 3 (1965).
3. R. F. Pierret, C. T. Sah, Solid-State Electronics, 8, N 13 (1970).