

**ИНЖЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКА  
И МЕТАЛЛА В ДИЭЛЕКТРИК, ОБУСЛОВЛЕННАЯ  
ОСВЕЩЕНИЕМ СТРУКТУР Au - ОКСИД InSb-InSb.**

В. С. Вавилов, А. Ф. Плотников,  
А. А. Соколова, В. Э. Шубин

Интенсивное внедрение в технику созданных на основе МОП-структур приборов увеличило интерес к выяснению физических и, в частности, фотоэлектрических свойств этих структур. Изучение фотоэлектрических явлений в МОП-структурах позволяет, с одной стороны, определить их характерные параметры, такие, как приповерхностные изгибы зон полупроводника, энергетические расстояния между зонами разрешенных энергий диэлектрика и полупроводника и т.д. /1,2/; с другой стороны, - использовать МДП-структуры в качестве детекторов и накопителей инфракрасных изображений /3/.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования обусловленной освещением инжекции электронов из полупроводника (и металла) в диэлектрик, а также собственной и примесной фотопроводимости диэлектрика в структурах Au - оксид InSb - \* InSb . Кроме этого, рассматриваются процессы перезарядки локализованных в диэлектрике ловушек под действием освещения МДП-структур инфракрасным и видимым излучением.

МДП-структуры на основе антимонида индия с исходной концентрацией доноров около  $10^{14} \text{ см}^{-3}$  изготавливались предложенным ранее способом /4/. Все из-

---

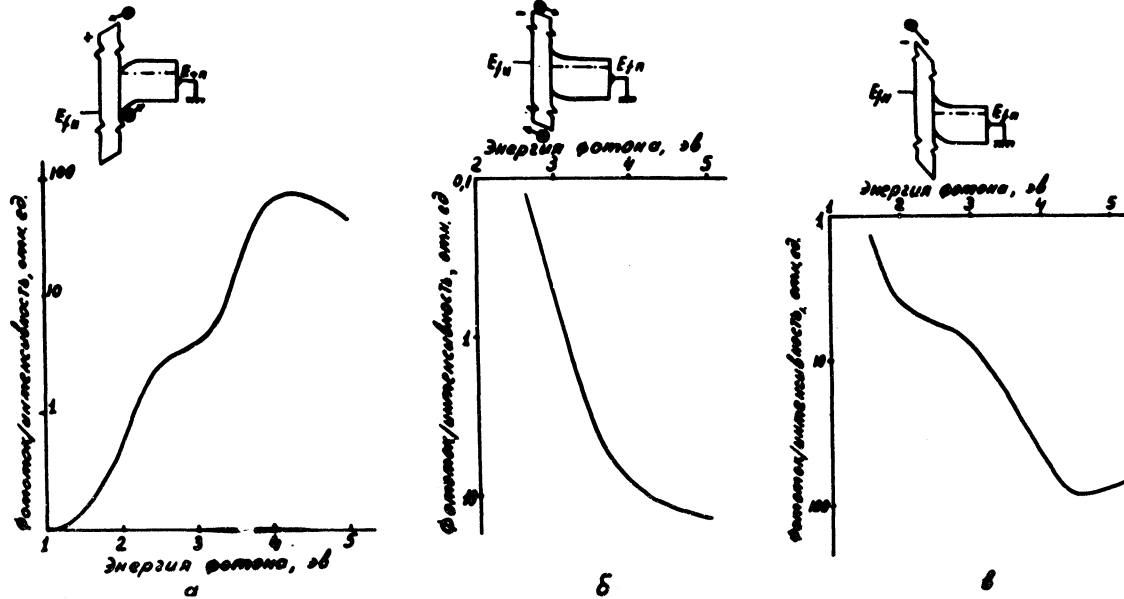
\* ) О природе оксида InSb см. например, /8/.

мерения проведены при температуре  $80^{\circ}\text{K}$ . Экспериментально исследовались вольт-емкостные характеристики /5/ и фототоки короткого замыкания /6/, возникающие при освещении структуры немодулированными потоками излучения. Спектральные зависимости стационарных фототоков измерялись при различных смещениях, приложенных между металлическим электродом и полупроводником. В работе установлено, что зарядовое состояние ловушек, локализованных в оксиде вблизи границы с полупроводником, существенно влияет на вид спектральной характеристики фототока. Поэтому измерение каждой спектральной характеристики производилось только после разрядки ловушек, заряженных в процессе измерения предыдущей кривой. Для этого структура выдерживалась в течение суток при комнатной температуре в темноте.

На рис. 1 представлены спектральные характеристики стационарного фототока при различных смещениях между металлом и полупроводником. Здесь же показаны соответствующие энергетические диаграммы исследуемой структуры.

Спектральная характеристика, измеренная при небольших отрицательных (порядка 1 в) смещениях на металлическом электроде (рис. 1б), не имеет заметного длинноволнового участка. В этой спектральной области фототок линейно зависит от интенсивности освещения и от величины смещения (смещение изменяется в небольших пределах) и, вероятнее всего, обусловлен собственной фотопроводимостью оксида.

Спектральные зависимости фототока, соответствующие либо положительным (рис. 1а), либо значительным отрицательным (рис. 1в) смещениям, имеют длинноволновые участки. Фототоки в этих случаях обусловлены движением электронов, о чем свидетельствует накопление отрицательного заряда на ловушках диэлектрика (суммарный локализованный в диэлектрике заряд определяется по сдвигу вольтемкостных характеристик /5/). Эти факты совместно с соответствующими данным условиям энергетическими диаграммами позволяют считать, что наблю-

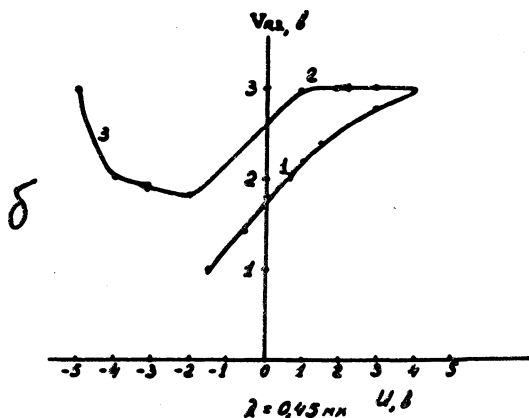
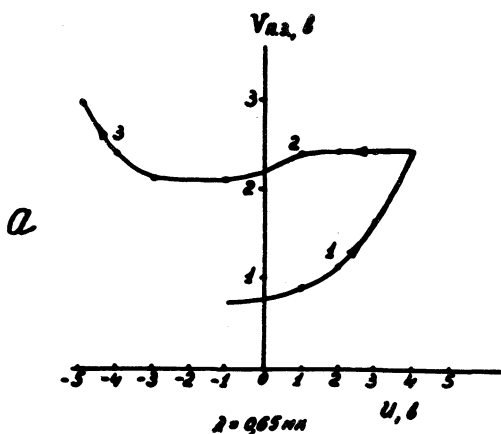


Р и с. 1. Спектры фототока короткого замыкания, измеренные при положительном (а), малом отрицательном (б) и значительном отрицательном (в) смещении между металлом и полупроводником.

даемый при положительных смещениях фототок обусловлен возбуждением электронов из валентной зоны антимонид индия в зону проводимости оксида, а фототок, наблюдаемый при значительных отрицательных смещениях, — возбуждением электронов из золотого электрода в зону проводимости оксида. Определенные из приведенных на рис. 1 данных величины барьеров энергия Ферми золота — зона проводимости оксида, валентная зона антимонид индия — зона проводимости оксида и ширина запрещенной зоны оксида равны соответственно: 1,5; 1,2 и 3 эв. Последние две величины довольно близко совпадают с данными Крэга, Фелана и Диммока, полученными на изготовленных другим способом структурах /2/.

Изменение зарядового состояния ловушек оксида под действием освещения, как упоминалось выше, фиксировалось по сдвигу вольтемкостных характеристик МОП-структуры вдоль оси напряжений. Эксперимент проводился следующим образом: МОП-структура охлаждалась в темноте до азотной температуры, после чего в темноте же измерялась начальная вольтемкостная характеристика. Затем на металлический электрод подавалось необходимое смещение, и структура освещалась монохроматическим потоком излучения определенной длины волны. Время экспозиции выбиралось достаточно большим и одинаковым во всех случаях, с тем чтобы суммарный заряд, локализованный на ловушках, достигал стационарного значения. После выключения освещения, вновь в темноте, измерялась вольтемкостная характеристика, соответствующая новому состоянию ловушек. Данная методика эксперимента позволяет следить за изменением зарядового состояния ловушек, расположенных вдали от границ раздела оксид-полупроводник и оксид-металл, т.е. тех ловушек, которые не могут изменить зарядовое состояние в результате туннельного обмена электронами с соответствующими зонами полупроводника или металла /7/.

На рис. 2а и 2б приведены зависимости потенциалов плоских зон  $V_{пз}$  /5/ от величин смещений  $V$ ,



Р и с. 2. Зависимости потенциалов плоских зон от величины смещения, приложенного между металлом и полупроводником во время освещения структуры светом с длинами волн 0,65 мкм (а) и 0,45 мкм (б).

приложенных между металлом и полупроводником во время освещения структур светом с длинами волн, 0,85 мкм (рис. 2а) и 0,45 мкм (рис. 2б). В первом случае экспонирование при небольших смещениях (как отрицательных, так и положительных) практически не изменяет потенциал плоских зон — перезарядка ловушек не наблюдается ввиду того, что в оксид инжектируется лишь незначительная часть возбуждаемых светом свободных носителей заряда. Экспонирование структуры при больших положительных смещениях приводит к увеличению потенциала плоских зон, что говорит об увеличении числа отрицательно заряженных ловушек, вследствие увеличения числа электронов, инжектируемых из полупроводника в оксид.

Экспонирование структур более коротковолновым излучением ( $\lambda = 0,45$  мкм) приводит к увеличению потенциала плоских зон даже при значительных отрицательных смещениях (рис. 2б).

Максимальное увеличение потенциала плоских зон наблюдалось при освещении структур, к металлическим электродам которых прикладывались смещения порядка +10 вольт. В этих условиях заряжаются практически все ловушки.

Таким образом, участки представленных на рис. 2 кривых, помеченные цифрами 1, показывают, что экспонирование описываемых структур светом с длиной волны короче 1 мкм приводит к увеличению локализованного в оксиде отрицательного заряда вследствие захвата ловушками электронов, инжектируемых из валентной зоны полупроводника в зону проводимости оксида.

Разрядка ловушек происходит несколько иначе. Ей соответствуют участки кривых рис. 2, помеченные цифрами 2. При значительных положительных смещениях разрядка ловушек практически не наблюдается. Локализованный на ловушках отрицательный заряд существенно изменяется лишь в том случае, если структура экспонируется при небольшом отрицательном или положительном смещении, т.е. в условиях, когда зоны

полупроводника практически плоские. При этом из рис. 2 видно, что если освещение структуры светом с длиной волны 0,65 мкм приводит к хотя и явной, но весьма незначительной разрядке, то в случае экспонирования светом с длиной волны 0,45 мкм наблюдается уже существенное опустошение ловушек. Эти данные показывают, что ловушки разряжаются либо в результате возбуждения локализованного на ловушке электрона в зону проводимости оксида (с последующей инжекцией этого электрона в полупроводник или металл), либо в результате рекомбинации электрона с появляющейся в валентной зоне дыркой (собственная фотопроводимость оксида).

Наконец, участки кривых (помеченные цифрами 3), наблюдаемые при значительных отрицательных смещениях, определяются зарядкой ловушек электронами, инжектируемыми в оксид из металла.

Таким образом, в результате приведенных экспериментов установлено, что освещение структур Au - оксид InSb - InSb светом с длиной волны короче 1 мкм сопровождается появлением фототоков, связанных с переносом электрических зарядов через границы раздела металл-оксид и оксид-полупроводник. Протекание этих фототоков сопровождается изменением зарядового состояния ловушек диэлектрика, вследствие одновременного воздействия двух процессов: зарядки ловушек сквозными фототоками и их разрядки путем возбуждения носителей в зону проводимости оксида как с уровней самих ловушек, так и из валентной зоны оксида. Изменяя приложенное к структуре внешнее электрическое поле, можно существенно смещать динамическое равновесие, устанавливаемое между этими процессами, и тем самым либо заряжать ловушки оксида, либо разряжать их.

В заключение авторы выражают благодарность В. В. Ковалевскому, В. Б. Алухтину и В. М. Кононову за помощь в работе.

Поступила в редакцию  
12 февраля 1971 г.

## Л и т е р а т у р а

1. E. O. Johnson. Phys. Rev., 111, 153 (1958)
2. W. E. Krag, R. J. Phelan, J. O. Dimmock. J. Appl. Phys., 40, 3661 (1969).
3. R. J. Phelan, J. O. Dimmock. Appl. Phys. Lett., 11, 359 (1967).
4. В. С. Вавилов, А. Ф. Плотников, В. Э. Шубин. ФТП, 4, 598 (1970).
5. A. S. Grove, B. E. Deal, E. H. Snow, C. T. Sah. Solid-State Electronics, 8, 145 (1965).
6. С. М. Рывкин. "Фотоэлектрические явления в полупроводниках". Москва, Физматгиз, 1963 г.
7. F. P. Heiman, G. Warfield. IEEE Trans. on Electron Devices, ED-12, 167, (1965).
8. K. N. Maffitt, R. K. Mueller. J. Appl. Phys., 35, 1563 (1964).