

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЧ - ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ
СУЛЬФИДА КАДМИЯ

Завертанный В.В., Завертанная Л.С., Комо-
зынский П.А., Петрова О.И.

В современной СВЧ технике весьма остро стоит проблема измерения больших импульсных мощностей, проходящих по волноводному тракту. Существующие методы измерения либо инерционны /калориметрические, термометрические/, либо ограничены по мощности /полупроводниковые детекторы, термисторы/, либо не обеспечивают необходимой механической прочности /пондермоторные/. Наличие безынерционных, механически прочных, не боящихся перегрузок преобразователей сильного СВЧ электрического поля позволило бы в определенной мере решить задачу измерения больших СВЧ мощностей, в частности, создать измерители проходящей мощности и КС ВЧ. Для создания таких преобразователей может быть использован эффект разогрева электронов электрическим полем в полупроводнике, а также изменение электропроводности полупроводников, вызванное СВЧ электрическим полем.

Данная работа посвящена исследованию влияния СВЧ-энергии миллиметрового диапазона на электрические и фотоэлектрические свойства монокристаллов сульфида кадмия.

При исследовании диэлектриков и полупроводников на сверхвысоких частотах применяются различные резонансные, волноводные, оптические, калориметрические и пондермоторные методы [2]. В данной работе применялось расположение образца и тракта передачи СВЧ - энергии соответствующие одному из волноводных методов - методу частичного заполнения волновода [2]. Полупроводниковый образец с контактами располагался в центре

прямоугольного волновода перпендикулярно широкой стенке. Источником высокочастотного сигнала служил магнетрон 6 мм диапазона, работающий в импульсном режиме и генерирующий импульсы длительностью 0,1 мксек. с частотой следования 2000 Гц. При исследовании процессов фотопроводимости в волноводную секцию был введен световод, передающий световой поток, проходящий к образцу от монохроматора УМ-2. Температура исследуемого образца контролировалась медно-константовой термопарой.

Исследовались высокоомные, неоднородные, компенсированные монокристаллы сульфида кадмия / $\rho = 10^6 - 10^8 \text{ Ом см}$ /, выращенные из расплава под давлением и отожженные в парах серы [3]. Омические контакты наносились электролитическим восстановлением торцов кристалла до металлического кадмия [4].

В компенсированном полупроводнике при невысокой скорости термической ионизации примесных уровней может долго сохраняться состояние с термически неравновесной заселенностью уровней /НЗУ/, при котором примеси почти не ионизированы.

Длительно сохраняющуюся неравновесную проводимость - остаточную проводимость /ОП/ в монокристаллах CdS наблюдали многие авторы [7] при низких и при комнатных температурах. При температуре жидкого азота освещение увеличивало проводимость кристаллов CdS , при прекращении освещения начальная низкая темновая проводимость не восстанавливалась. При повторном воздействии света в кристалле накапливалось все большее возбуждение, т.е. все более увеличивалась проводимость.

Шейнкман М.К. и Маркевич И.В. наблюдали состояние с большой остаточной проводимостью - /ОП/ при комнатной температуре и более высоких температурах /до 100°C /, не подвергнутых специальному отжигу кристаллах CdS , нелигиро-

онных и легированных примесями Ag , Au , Na . Оказалось, что для создания ОП достаточно осветить кристалл в течение некоторого времени интенсивным белым светом в интервале температур $20^{\circ}C$ $100^{\circ}C$. После затемнения ток падает сначала быстро, затем спадание становится чрезвычайно медленным, наблюдается ОП. Чтобы вернуть кристалл в исходное состояние без ОП, достаточно в темноте прогреть его до 100° $120^{\circ}C$ и охладить. Образование и разрушение ОП можно повторять на одном и том же кристалле многократно.

Исследование вольт-амперных характеристик /ВАХ/, проведенное в данной работе показало, что образец под воздействием СВЧ переходит в более низкоомное состояние /НО/. Естественно было предположить, что наблюдаемый переход образца в НО состояние под действием СВЧ вызван нагревом кристалла. Измерение температуры кристалла при воздействии СВЧ-излучения на фиксированной длине волны, при средней мощности $P = 2$ Вт в многомодовом волноводе, показали, что температура кристалла достигала $60^{\circ}C$. Оказалось, что СВЧ прогрев неоднородных образцов отличается от обычного теплового прогрева и это различие прежде всего проявляется в кривых нарастания и уменьшения фототока при облучении образца светом из области максимумов спектра фотопроводимости /СФП/.

Кривые релаксации фотопроводимости представлены на рис. I: кривая 1 - при возбуждении образца монохроматическим светом

$\lambda = 589$ нм; 2 - одновременном действии СВЧ и $\lambda = 589$ нм; 3 - облучение светом $\lambda = 589$ нм при температуре $60^{\circ}C$.

Из рисунка видно, что нагрев и СВЧ - нагрев переводят образец в более низкоомное состояние и состояние с остаточной проводимостью, причем при СВЧ-нагреве увеличивается время перехода из состояния ОП в равновесное состояние.

Состояние с ОП в неоднородных полупроводниках и большие времена релаксации объясняются возникновением в кристалле областей с различной проводимостью [5], т.е. областей с более низким ρ_{HO} и более высоким ρ_{BO} удельным сопротивлением, ограниченных потенциальными барьерами. Время спада ОП зависит от величины потенциального барьера и от размеров областей пространственного заряда. В БО области удельное фотосопротивление кристалла значительно выше, чем в соседних и можно считать, что соседние участки выполняют роль контактов, из которых возможна инжекция как электронов, так и дырок. При подаче напряжения на образец происходит инжекция фотовозбужденных дырок в прианодную часть высокоомной области. Вследствие захвата этих дырок на центры быстрой рекомбинации, время жизни электронов уменьшается. Участки с малым временем жизни неравновесных электронов могут возникать в следствие миграции в электрическом поле отрицательно заряженных центров и связанных с ними дефектов [6]. Сравнение кривых релаксации фотопроводимости на рис. 1 позволяет предположить, что СВЧ излучение усиливает процессы миграции заряженных дефектов кристаллической решетки во внешнем электрическом поле.

В данной работе исследовалось также влияние СВЧ-излучения на СФП. На рис. 2 приведены СФП для двух различных направлений электрического поля, приложенного к образцу при обычном нагреве /кривые 1 и 1' / и СВЧ-нагреве /кривые 2 и 2' /. Из рис. 2 видно, что под действием СВЧ-излучения спектральные максимумы расщепляются, т.е. в СФП появляется тонкая структура. Активация фоточувствительности и появление тонкой структуры в СФП зависит от направления электрического поля, приложенного к образцу. Специальными опытами установлено, что с увеличением мощности СВЧ-излучения усиливается расщепление максимумов СФП. Наличие квазилинейчатых СФП обычно связывают с расщеплением энергетических примесных уровней

ней и изменением зарядовых состояний примесных уровней. Исследуемые образцы были неоднородны и имели области с различным удельным сопротивлением /НО и ВО области/. Перезарядка примесных уровней и появление тонкой структуры примесных уровней может быть обусловлено миграцией дефектов во внешнем электрическом поле в НО и ВО областях кристалла. При температурах 300-400 К имеет место электродиффузия не только мелких, но и глубоких доноров [6], это водородоподобный донор - междузельный Cd или комплексы дефектов.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что СВЧ-излучение стимулирует процессы миграции дефектов в неоднородных кристаллах сильнее, чем обычный нагрев и постоянное электрическое поле. Результаты исследований могут быть использованы для разработки элементов приемников СВЧ-излучения данной области миллиметрового диапазона, в проходных измерителях СВЧ-мощности, аттенюаторах, вентелях, переключателях, управляемых световым потоком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кац Л.И., Сафонов А.А. Взаимодействие электромагнитных колебаний сверхвысоких частот с плазмой носителей зарядов в полупроводнике. Изд-во Саратовского университета, 1979.

2. Брант А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. Изд-во физ-мат лит. М., 1963.

3. Сысоев А.А., Сакисов А.А., Адамов Л.С. Влияние термохимической обработки на электрические характеристики монокристаллов сульфида кадмия. Сб. "Монокристаллы и техника", вып. I, 1970, с. 68-72.

4. Демченко В.Г., Гаплевская С.П., Завертанная Л.С., Рвачев А.Л. Получение омических контактов на халькогенидах кадмия электролитическим восстановлением. Сб. Монокристаллы и техника, вып. I/8/, 1973, с. 143-145.

5. Лашкарев В.Е., Любченко А.В., Гейнкман М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках, Киев, "Наукова думка", 1981.

6. Шмилевич А.М., Стус Л.Е., Чемересюк Г.Г., Сердюк В.В. Ионные процессы, протекающие в монокристаллах *CdS* под действием освещения и электрического поля. ФТП, т.15, в.5, 1981, с. 855.

7. Маркевич И.В., Федорус Г.А., Шейнкман М.К. Высокотемпературная остаточная проводимость в кристаллах *CdS(Ag)*, *Cd(Au)*, *CdS(Na)*. ФТП, т.3, 1969, с.1422.

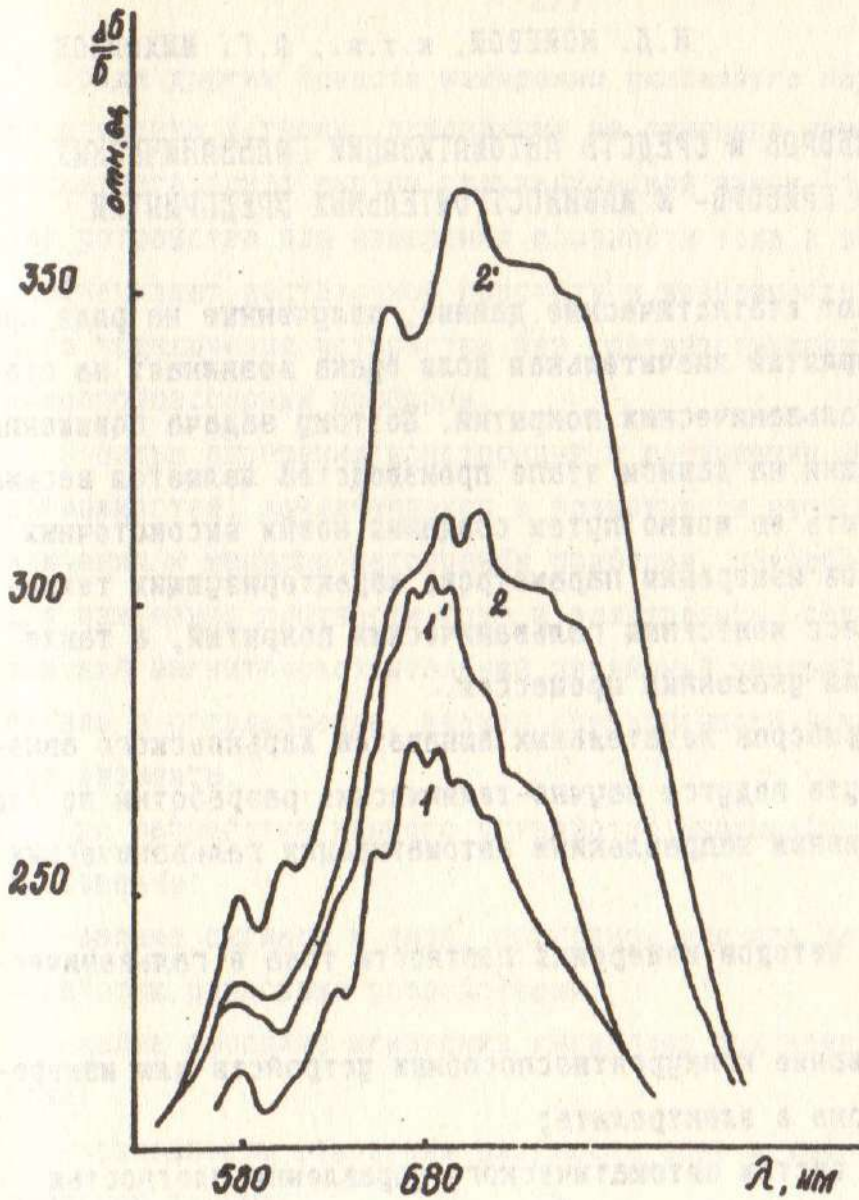


Рис. 2

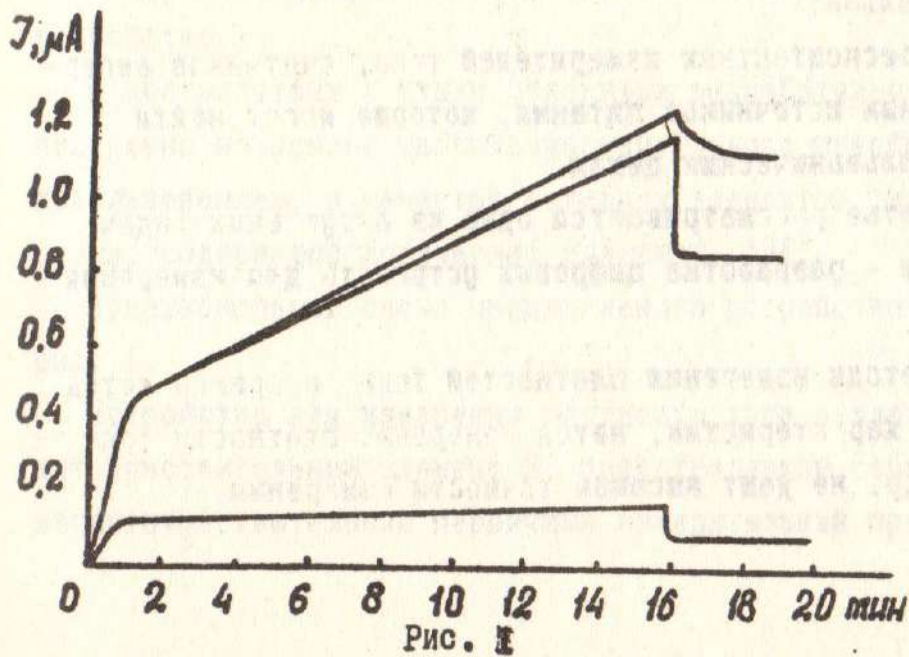


Рис. 3