

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

НЕАДДИТИВНОСТЬ И НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ФОТОТОКА
КВАЗИОДНОРОДНЫХ ПЛЕНОК АМОРФНОГО КРЕМНИЯ

Воробьев Ю. В., Захарченко В. Н., Кильчицкая С. С.,
Комиренко Р. П., Скрышевский В. А., Стриха В. П.

Исследовалось влияние воздействия коротковолновой подсветки и сильного электрического поля на фототок планарных структур Ni— α -Si : H—Ni (пленки α -Si : H получены методом разложения силана в плазме тлеющего разряда). Свет направлялся перпендикулярно электрическому полю в структуре, а измерение фототока проводилось в режиме постоянного поля (сопротивление нагрузки много меньше сопротивления образца). Омичность Ni-контактов специально проверялась. Кроме того, измерения проводились без освещения контактов. Были обнаружены следующие особенности.

1. Подсветка сильно поглощаемым светом с энергией кванта $h\nu \geq 2$ эВ существенно повышает фоточувствительность в длинноволновой области, одновременно меняя форму спектра фототока (см. рис. 1, где кривая 1 получена без подсветки, 2 — с подсветкой, а 4 показывает отношение кривых 2 и 1). Спектр и величина фототока весьма чувствительны к температуре: с повышением температуры увеличивается фоточувствительность [особенно сильно в длинноволновой области (см. кривую 3 на рис. 1, отвечающую 343 К; остальные кривые на рис. 1 получены при комнатной температуре)]. С понижением температуры уменьшается фотопроводимость.

2. Повышение прикладываемого к пленке электрического поля до $\sim 10^3$ В/см вызывает сильные шумы, а в некоторых пленках — регулярные колебания фототока частотой около 100 Гц и амплитудой до 50 % фототока (рис. 2). При этом зависимость величины фототока от напряженности поля E слегка сверхлинейна; период колебаний T падает с ростом E . По форме колебания напоминают релаксационные колебания, получаемые в классическом RC-генераторе с газоразрядной лампой. При длительном выдерживании образца под напряжением на свегу колебания фототока исчезали, а после многочасового «отдыха» возобновлялись.

В исследуемом материале уровень Ферми расположен несколько выше середины щели подвижности. Учитывая крупномасштабные флуктуации потенциала неоднородного высокоомного материала α -Si : H, можно [1] считать этот материал состоящим из проводящих «зерен» n -типа, разделенных высокоомными «вставками», электрическое поле в которых намного превышает среднее поле в образце. Электрическую неустойчивость в таком случае естественно связывать с явлениями пробоя упомянутых вставок.

Длинноволновая фотопроводимость обусловлена электронами, возбуждаемыми в зону подвижности из локализованных состояний, расположенных ниже уровня Ферми. Неаддитивность действия подсветки на фототок в такой модели должна быть обусловлена «сглаживанием» потенциального рельефа при генерации электронно-дырочных пар (т. е. влиянием «внутренней фотоэдс»; ранее такой эффект был зафиксирован нами на модельной $p-i-n$ -структуре α -Si : H [2]). При этом, во-первых, падает сопротивление высокоомных вставок и, во-вторых, расширяются зерна n -типа, что дает дополнительное увеличение

поглощения света и фоточувствительности в длинноволновой области; такой же эффект вызывается повышением температуры. Длинноволновая граница фоточувствительности при этом соответствует расстоянию от уровня Ферми до края зоны подвижности электронов в зернах. В нашем случае это 0.5 эВ, что хорошо согласуется с реальным положением уровня Ферми.

Характерный период наблюдаемых колебаний фототока ($\sim 10^{-2}$ с) близок к времени диэлектрической релаксации высокоомных областей материала τ_p ($\tau_p \approx 10^{-2}$ с соответствует удельному сопротивлению порядка 10^8 Ом·м; см. [3]).

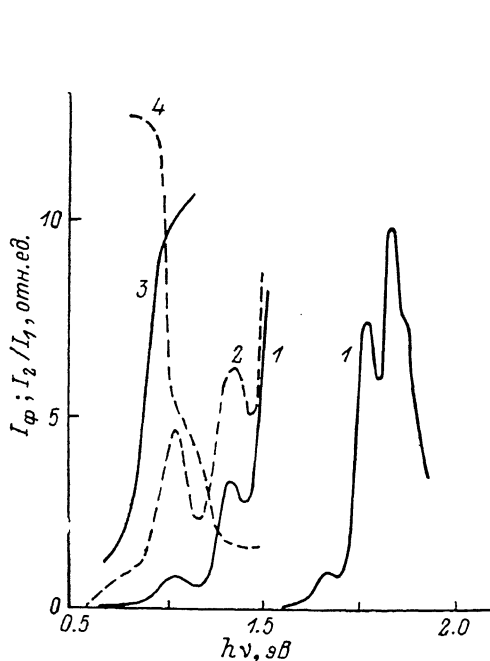


Рис. 1. Спектр фототока одного из образцов (масштаб в области $h\nu < 1.5$ эВ увеличен в 40 раз).

1 — без подсветки (293 К), 2 — при наложении подсветки с $h\nu > 2$ эВ (293 К), 3 — без подсветки при 343 К, 4 — отношение кривых 2 и 1.

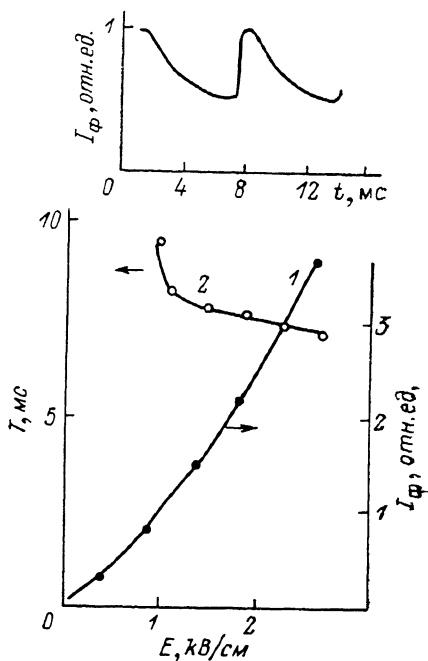


Рис. 2. Полевая зависимость периода колебаний (T) и максимального уровня фототока (I_{ϕ}).

Вверху показана осциллограмма колебаний.

Это обстоятельство, а также релаксационная форма колебаний позволяют связывать их с периодическим нарастанием напряжения на высокоомной вставке («заряд емкости RC-генератора») и последующим обратимым пробоем вставки («разряд емкости»), после чего процесс повторяется.

С такой схемой процесса хорошо согласуются форма колебаний (резкий рост тока в момент пробоя и последующий медленный спад, отвечающий возрастанию напряжения на вставке) и зависимость периода колебаний от поля (с ростом поля сокращается время заряда емкости до пробивного напряжения). При многократном повторении процесса пробой может стать необратимым; тогда колебания прекращаются.

Дополнительным подтверждением изложенной схемы процесса является наблюдаемое на опыте после прекращения колебаний уменьшение поглощения света в длинноволновой области спектра, прилегающей к краю поглощения; это уменьшение связано с «разглаживанием» потенциального рельефа при пробое вставок и соответствующим уменьшением средней напряженности электрического поля в образце (эффект Келдыша—Франца).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления чувствительностью пленок аморфного кремния с помощью подсветки и электрического поля, что позволяет рассматривать этот материал как потенциальный объект функциональной микроэлектроники.

- [1] Шейнкман М. К., Шик А. Я. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 2. С. 209—233.
 [2] Воробьев Ю. В., Кильчицкая С. С., Комиренко Р. П. и др. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 4. С. 661—664.
 [3] Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., 1982. 662 с.

Киевский государственный университет
 им. Т. Г. Шевченко

Получено 26.04.1990
 Принято к печати 24.06.1990

ФТП, том 25, вып. 2, 1991

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СИЛЬНО ЛЕГИРОВАННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА В УСЛОВИЯХ ДЖОУЛЕВА РАЗОГРЕВА

Чайка Г. Е., Вавилов С. Е., Панфилова С. В.

В последние два десятилетия не ослабевает интерес к неустойчивостям в полупроводниках, возникающим в электрических полях. Эти неустойчивости могут быть связаны с появлением отрицательного дифференциального сопротивления и проявляются в поведении вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых образцов. Например, неустойчивости, приводящие к неоднородностям в концентрации носителей вдоль направления протекания тока (домены), связаны с ВАХ N -типа, а неоднородности носителей в поперечном сечении к направлению тока (шнурование тока) — с S -образными ВАХ. Указанные виды ВАХ широко изучены [1-8]. Эти неустойчивости могут проявляться даже при постоянном значении приложенного к образцу электрического поля. Помимо таких ситуаций нередко возникает динамическая неустойчивость, связанная со сдвигом по фазе между током и напряжением. Этот случай реализуется в определенном диапазоне частот приложенного к образцу электрического поля E . Типичным случаем проявления динамической неустойчивости являются процессы, происходящие в лавинно-пролетных диодах [9].

В этом сообщении рассматриваются низкочастотные неустойчивости, возникающие из-за переходов электронов с глубоких примесных уровней в зону проводимости под воздействием джоулева разогрева. Этот процесс происходит на фоне ударной ионизации электронов в образце под воздействием электрического поля. Мы будем считать, что ионизация связана с переходом электронов из заполненной зоны в зону проводимости. Вкладом примесных уровней будем пренебрегать в связи с их малой концентрацией по сравнению с концентрацией собственных носителей в полупроводнике. Переход электронов из связанного состояния в свободное стимулирует джоулев разогрев образца, что приводит к дополнительному высвобождению электронов с примесного уровня. Эти процессы, рассмотренные Осиповым с сотр. (см., например, [4]), приводят к S -образной ВАХ и в конечном итоге к тепловому пробоя образца. Однако еще до теплового пробоя возможно появление неустойчивостей на определенных частотах (динамическая неустойчивость) из-за сдвига фаз между током и напряжением, подобным приведенному в [10].

В такой постановке задача аналогична рассмотренной в [10] с той разницей, что при данном рассмотрении ионизационный член связан с концентрацией электронов в зоне проводимости, а в [10] ионизация происходит под воздействием ионизирующего излучения.

Указанная модель описывается системой кинетических уравнений для электронов в зоне проводимости и электронов на примесных уровнях, дополненная уравнением теплопроводности с учетом джоулева разогрева: