

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ГЕРМАНИЯ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В.А.Рожанов, И.Н.Жадько, Б.К.Сердега, Л.В.Святогор

Использование высокочастотного электрического поля для изучения фотопроводимости полупроводников имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами, поскольку сочетает возможность получения достаточно больших полей с выполнением требования, чтобы длина дрейфа неравновесных носителей была намного меньше длины образца. В этом случае, однако, при возбуждении неравновесных носителей путем интенсивной оптической генерации в исследовавшихся образцах германия возникали нетривиальные явления, описанию которых и посвящена настоящая работа.

Для исследований использовалось импульсно-модулированное высокочастотное напряжение с частотой заполнения $9,0 \text{ МГц}$ и длительностью импульсов $10 - 100 \text{ мксек}$. Выходное сопротивление генератора импульсов 15 ом ; амплитуда напряжения могла изменяться от 0 до 350 в при сохранении прямоугольной огибающей радиоимпульсов.

При исследовании вольт-амперных характеристик образцов $p\text{-Ge}$ с антизапорными контактами было обнаружено, что в широком диапазоне температур ($20 - 300^\circ\text{K}$) при достаточно больших освещенности и напряжении возникал обратимый пробой, когда ток скачком возрастал в $10 - 20$ раз по сравнению с его величиной до пробоя (см. рис.1). Такое явление наблюдалось при исследовании $p\text{-Ge}$ с различной концентрацией акцепторов от $1 \cdot 10^{12}$ до $7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. В настоящей работе исследовался германий с $p = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре. Антизапорные контакты получались сплавлением индия в торцы образцов и образцы перед измерениями травились в H_2O_2 .

Допробойный режим. Для более детального исследования упомянутого явления изучалось распределение $V(x)$ ВЧ- потенциала по длине образцов. На рис.2 показаны такие распределения, полученные путем перемещения металлического зонда по полированной боковой грани одного из образцов. Аналогичные распределения получены и другими методами: при использовании движущегося емкостного зонда и при непосредственном измерении ВЧ потенциала на образцах с несколькими отрезками-зондами. Из рис.2 видно, что распределение для неосвещенного образца линейно (далее, распределение Р – 1). Освещение образца приводило к возникновению вблизи контактов областей повышенного по сравнению со средней частью образца ВЧ поля (распределение Р – 2). Непосредственно перед пробоем амплитуда поля могла достигать $(1 + 2) \cdot 10^3$ в/см в приконтактных областях и $(2 + 3) \cdot 10^1$ в/см в средней части образца. Нормированное к полному ВЧ напряжению на образце распределение Р – 2 стабилизируется уже при сравнительно небольших освещенности L и напряжении V . Так, при изучении образцов с двумя зондами-отрезками, расположенными в средней части образца, отношение $\sigma_K/\sigma_3 = f(L)$ при $V = \text{const}$. (σ_K – проводимость образца на участке токовый контакт – зонд, σ_3 – на участке зонд – зонд) сначала быстро падало по мере роста L , а затем уменьшалось все медленнее; непосредственно перед пробоем σ_K/σ_3 не зависит от L .

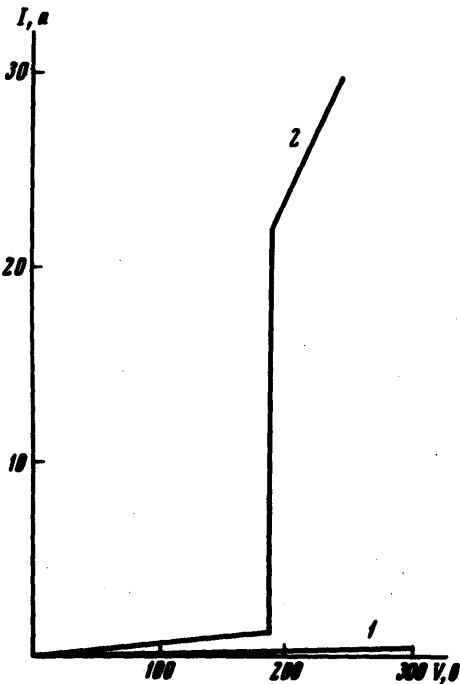


Рис.1. Вольт-амперная характеристика образца $p\text{-Ge}$ с антизапорными контактами. Размеры образца $5,0 \times 0,7 \times 0,6$ мм³; $T = 300^\circ\text{K}$: 1 – неосвещенный образец, 2 – освещенность образца 10^{16} квант/сек

Распределение Р – 2 можно трактовать как существенное обеднение носителями приконтактных областей образца (на длине $\sim 0,7 + 1,0$ мм) по сравнению с его средней частью. Сравнение зависимостей

$\sigma_3(L)_{\text{пп}}$ при постоянном поле $E = 0,1 \text{ в/см}$ для образцов с двумя зондами с $\sigma_3(L)_{\text{вч}}$ при различных ВЧ напряжениях V показало, что они совпадают при небольших V ; при значительных V , особенно при низких температурах, $\sigma_3(L)_{\text{вч}}$ располагается ниже $\sigma_3(L)_{\text{пп}}$. Последнее связано с разогревом носителей. Таким образом концентрация носителей в средней части образца остается неизменной при включении ВЧ поля.

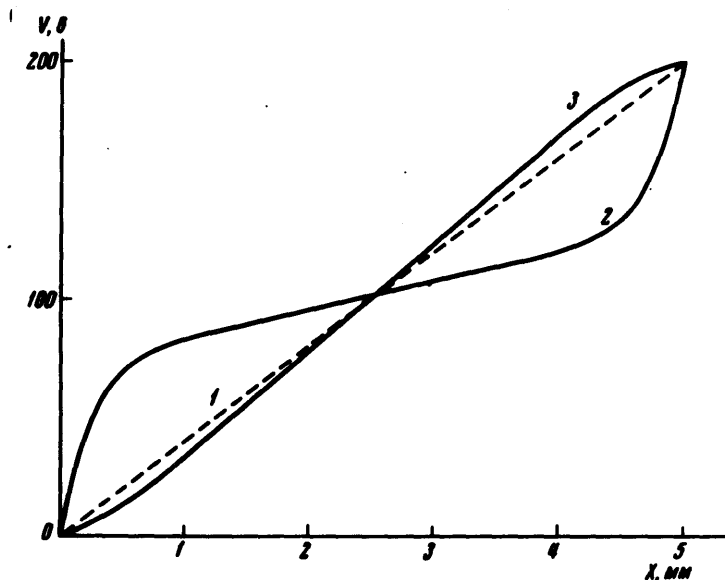


Рис.2. Распределение высокочастотного напряжения по длине образца $p\text{-Ge}$ с антизапорными контактами. Размеры образца те же, что и на рис.1. Напряжение на образце 200 в, $T = 300^\circ\text{K}$: 1 – неосвещенный образец, (P – 1), 2 – допробойный режим. Освещенность образца $2 \cdot 10^{16}$ квант/сек, (P – 2), 3 – послепробойный режим. Освещенность образца $4 \cdot 10^{16}$ квант/сек (P – 3)

Распределению ВЧ напряжения P–2 в освещенных образцах сопутствует особое распределение постоянного поля, проявившегося в виде импульсов постоянного напряжения, синхронных с радиоимпульсами при измерениях между одним из токовых контактов и зондом-отростком, расположенным посередине образца. Амплитуда постоянного напряжения в установившемся режиме составляла $\sim 0,1$ амплитуды ВЧ напряжения. Потенциал зонда при этом был положительным по отношению к обоим токовым контактам.

Характерна кинетика установления тока через освещенный образец: в начале импульса ток всегда превышал установившееся значение (см. рис.3). Время установления тока, представлявшее собой время установления постоянного поля, а также ВЧ поля от исходного P–1 до P–2, обычно падало по мере роста освещенности и напряжения на образце и перед пробоем было равно 3 – 5 мксек.

Пробой. Уже отмечалось, что пробой обедненных носителями приконтактных областей у образцов p -Ge с антизапорными контактами происходил обычно в условиях, когда интенсивность света и величина напряжения на образце достигали определенных критических значений $L_{кр}$ и $V_{кр}$ соответственно. Область значений $L > L_{кр}$ и $V > V_{кр}$, при которых пробой обязательно происходил, качественно определяется зависимостью типа $LV = const$. Распределение $V(x)$ при пробое, полученное, как и ранее, с помощью металлического зонда, существенно изменялось (см. Р-3 на рис.2). Теперь обеднение носителями в приконтактных областях по сравнению со средней частью образца сменилось их обогащением. При комнатной температуре резкий скачок тока при пробое мог приводить к существенному разогреву образца (до $\approx 50^\circ\text{C}$) и тепловой генерации носителей. В результате импульс тока имел быструю компоненту и затем медленно растущую компоненту, связанную с разогревом. Амплитуда тока в некоторых случаях могла достигать $20 - 30 \text{ а}$ при поперечном сечении образца $0,7 \div 1,0 \text{ мм}^2$. При низких температурах медленная компонента тока при пробое отсутствовала.

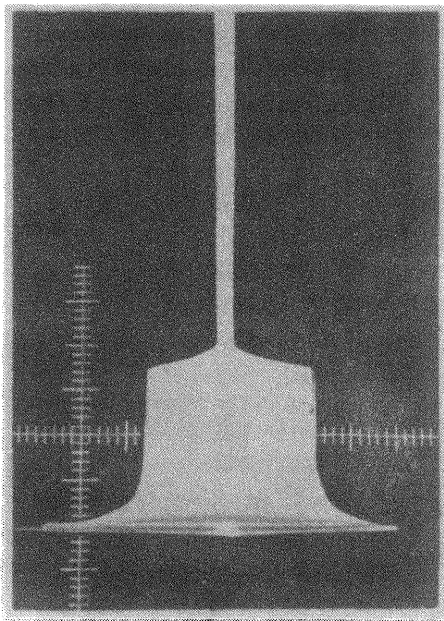


Рис.3. Импульс тока через образец p -Ge с антизапорными контактами. $T = 300^\circ\text{K}$. Длительность импульса 30 мксек

Выше описаны лишь некоторые особенности проводимости образцов p -Ge с антизапорными контактами. Можно отметить лишь, что возникновение распределения типа Р-2 существенно сказывается при измерении времени релаксации фотопроводимости, когда синхронно с радиоимпульсом напряжения образец освещался короткой ($\approx 0,5 \text{ мксек}$) вспышкой света. Измеряемое при этом по огибающей импульса ВЧ тока

время релаксации τ падало по мере роста постоянной подсветки до нескольких $\mu\text{сек}$ при 300°K и, так же как и время установления тока при постоянной освещенности образца, характеризует релаксацию распределения Р-2. Во время пробоя τ скачком возрастало, достигая значения времени релаксации фототока, измеренного в малом постоянном поле ($\approx 100 \mu\text{сек}$).

Все эти явления свидетельствуют о том, что они связаны с биполярной частью проводимости независимо от причин ее возникновения. Это подтверждается также тем, что характерная форма импульса тока, распределение типа Р-2 и пробой наблюдались нами при нагревании неосвещенного образца до $\approx 100^\circ\text{C}$ при постоянной амплитуде ВЧ напряжения. Распределение типа Р-2 наблюдалось нами и на освещенных образцах Ge *n*-типа с антизапорными контактами. У образцов *p*-Ge с запорными контактами наблюдались распределение типа Р-3, что свидетельствует об обогащении приконтактных областей носителями, и растущий во времени импульс тока.

Природа описанных явлений, по-видимому, связана со сложным проявлением эксклюзии в условиях большого ВЧ поля и в настоящее время изучается.

Авторы признательны З.С.Грибникову и Э.И.Рашба за ценные дискуссии и А.П.Мухину за техническую помощь.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
18 мая 1971 г.