

## О ВЛИЯНИИ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ ГЕРМАНИЯ

Ю.А.Осипьян, В.И.Тальянский, А.А.Харламов

Обнаружено, что освещение поверхности германия, полученной сколом в жидком гелии, приводит к необратимому возрастанию электропроводности. Обсуждаются возможные причины этого факта, а также температурного гистерезиса поверхностной проводимости, обнаруженного нами ранее [1].

Ранее нами было обнаружено [1], что поверхность германия, образованная сколом в жидком гелии, обладает электропроводностью в СВЧ диапазоне. Оказалось, что эту проводимость можно существенно увеличить, если после раскола образец нагреть до  $\sim 40\text{K}$ , а затем снова охладить до  $4,2\text{K}$ . Будем называть это явление температурным гистерезисом поверхностной проводимости (ТГ). Качественно аналогичные результаты были получены Вулом и Заварицкой [2] при измерениях на постоянном токе. Ими также была отмечена связь между качеством поверхности и ее проводимостью сразу после скола. Оказывалось, что заметной проводимостью обладала лишь шероховатая поверхность, зеркально-гладкая поверхность (111) вообще не обнаруживала проводимости сразу после скола. После прогрева устанавливалась высокая проводимость независимо от качества скола [2].

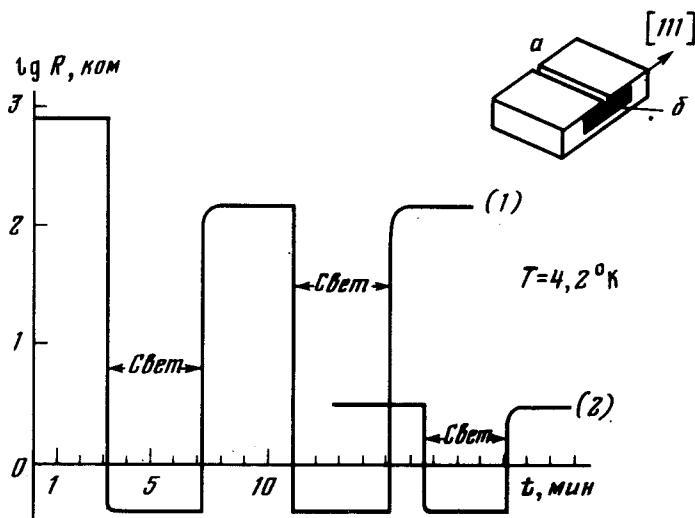


Рис. 1. Влияние подсветки на проводимость поверхности германия на постоянном токе: 1 — измерения проведены при  $T = 4,2\text{K}$  сразу после раскола образца, 2 — измерения проведены при  $T = 4,2\text{K}$  после прогрева образца до  $40\text{K}$ . В верхнем правом углу изображен образец: а — пропил, б — индиевый контакт

В данной работе мы исследовали влияние подсветки на поверхностную проводимость как в СВЧ диапазоне ( $\sim 10^{10}$  Гц), так и на постоянном токе. В обоих случаях образец мог освещаться белым светом от миниатюрной электрической лампочки. Использовались образцы р-Ge с концентрацией акцепторов  $\sim 10^{13}$  см $^{-3}$ . Типичные кривые, получившиеся в результате измерений, изображены на рис. 1 и рис. 2. Основные результаты измерений сводятся к следующему: 1) после освещения импульсом света проводимость поверхности на постоянном токе значительно возрастает. Последующие импульсы света уже не "Запоминаются"; 2) ТГ сохраняется и после освещения поверхности; 3) Как подсветка, так и нагрев намного сильнее изменяют проводимость на постоянном токе, чем в СВЧ диапазоне.

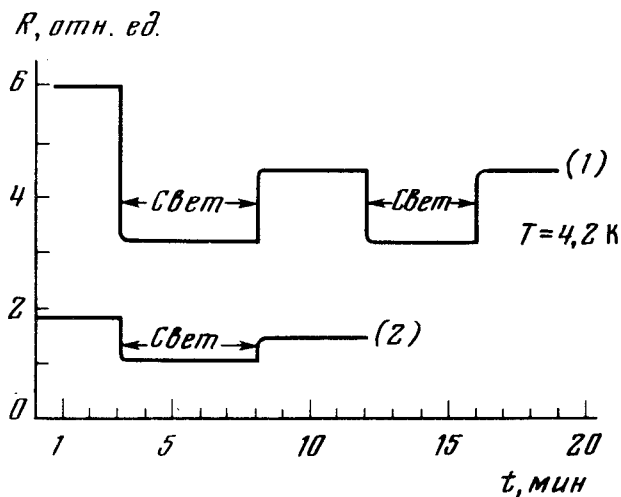


Рис. 2. Влияние подсветки на СВЧ проводимость поверхности германия: 1 — измерения проведены при  $T = 4,2$  K сразу после раскола образца, 2 — измерения проведены при  $T = 4,2$  K после прогрева образца до 40 K

Последнее обстоятельство связано, по-видимому, с неоднородностью поверхности. На поверхности имеются как дефектные участки (ДУ), обладающие высокой проводимостью, так и регулярные участки (РУ) с низкой проводимостью [2]. Проводимость на постоянном токе определяется протеканием заряда по ДУ от контакта к контакту, при этом различные ДУ могут быть разделены потенциальными барьерами, что приведет к высокому сопротивлению поверхности на постоянном токе. Проводимость в СВЧ диапазоне определяется всеми ДУ поверхности, независимо от расположения. Поэтому можно ожидать, что изменения состояния РУ сильнее скажутся при измерениях на постоянном токе, чем в СВЧ диапазоне, и из наших данных может следовать, что подсветка и нагрев в основном изменяют проводимость РУ. Считается, что проводимость поверхности германия, полученной сколом, связана с наличием дырок в валентной зоне вблизи поверхности. Дырки же появляются из-за того, что часть электронов из валентной зоны переходит на поверхностные уровни [2 — 4] (подвижностью электронов на поверхностных уровнях обычно пренебрегают [3]). В такой модели действие подсветки можно объяснить наличием незаполненных поверхностных уровней, отделенных от объема кристалла достаточно высоким потенциальным барьером. Наличием барьера можно было бы объяс-

нить и ТГ. Если предположить, что незаполненные поверхностные уровни лежат вблизи потолка валентной зоны, то при достаточно высоких температурах установилось бы термодинамически равновесное заполнение этих уровней. При охлаждении часть электронов осталась бы на поверхностных уровнях, так как по предположению эти уровни находятся вблизи потолка валентной зоны. Однако, такое объяснение ТГ сталкивается с трудностями. Во-первых, непонятно почему подсветка существенно слабее изменяет поверхностную проводимость, чем подогрев. Кроме того, мы провели следующие дополнительные измерения в СВЧ диапазоне. Использовались очень чистые образцы  $n$ -Ge ( $n \sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$ ), для которых объемной проводимостью можно было пренебречь. После раскола образец быстро ( $\sim 3$  мин) нагревался до 30К.

$\sigma_{\text{свч}}$ , отн. ед.

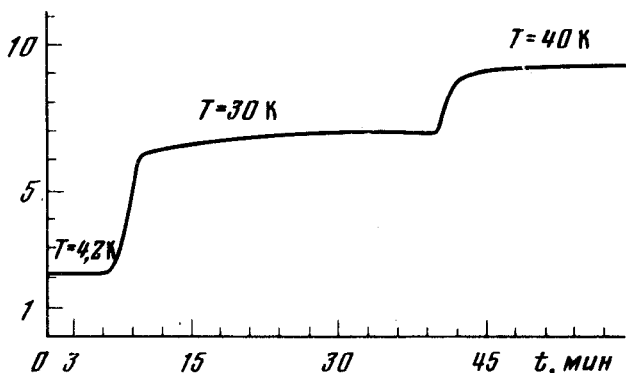


Рис. 3. Зависимость СВЧ проводимости от времени при различных температурах

При этом поверхностная проводимость уже необратимо возрастает, однако еще не достигает максимального значения. Затем образец выдерживался при этой температуре длительное время. Оказалось, что в процессе выдержки изменение электропроводности весьма незначительно и сравнимо с суммарной погрешностью измерения. Быстрый нагрев от 30 до 40К опять приводит к увеличению проводимости, а выдержка при 40К опять дает лишь незначительный прирост проводимости. Эти данные приведены на рис. 3. В этой связи нам представляется возможным предположить следующую модель ТГ. Поверхность (111), образованная сколом в жидком гелии, имеет свободные энергетические уровни, лежащие выше потолка валентной зоны, так что в равновесном состоянии они остаются незаполненными. Эти уровни отделены барьером от объемных состояний, что объясняет действие подсветки. В области температур выше 25К происходит необратимая перестройка атомно-кристаллической структуры поверхности. (Известно, что подобная необратимая перестройка происходит в германии в интервале температур 100.—150°С [5]). Можно предположить, что новой поверхностной структуре соответствуют незаполненные уровни, лежащие вблизи потолка валентной зоны, причем их заполнение не связано с преодолением барьера, и оставшиеся в валентной зоне дырки обусловят проводимость поверхности. Что касается того, что процесс изменения электропроводности идет, в основном, при нагреве и почти не развивается во

времени при изотермической выдержке, то это может быть связано с термоупругим равновесием при перестройке атомно-кристаллической структуры поверхности. Такое равновесие и незавершенность превращения часто наблюдается при низкотемпературных фазовых превращениях мартенситного типа [6].

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
6 мая 1980 г.

### Литература

- [1] Ю.А.Осипьян, В.И.Гальянский, А.А.Харламов. Письма в ЖЭТФ, 30, 253, 1979.
  - [2] Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая, Е.Г.Сокол. Письма в ЖЭТФ, 30, 517, 1979.
  - [3] С.Дэвисон, Дж.Левин. Поверхностные состояния, М., изд. Мир, 1979.
  - [4] Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая. Письма в ЖЭТФ, 31, 177, 1980.
  - [5] M. Henzler. J. Appl. Phys., 40, 3758, 1969.
  - [6] Г.В.Курдюмов. ЖТФ, 18, 999, 1948.
-