

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ГЕРМАНИЯ ПРИ СКОЛЕ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ

Б.М.Вул, Э.И.Заварицкая, Е.Г.Сокол

После скола германия в жидком гелии у зеркально-гладких поверхностей скола (111) поверхностная электропроводность $\sigma < 10^{-9} \text{ Ом}^{-1}$, в то время как у дефектных поверхностей она может достигать значений $\sigma \sim 10^{-5} \text{ Ом}^{-1}$. После промежуточного нагрева при $T \geq 40\text{К}$ удельная поверхностная электропроводность при $T = 4,2\text{К}$ необратимо и скачком возрастает, независимо от состояния поверхности достигая значения $\sigma = (3 \div 5) \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$, как и в случае бикристаллов германия.

Учитывая высокую химическую инертность гелия можно было рассчитывать, что при расколе кристалла в жидком гелии окружающая среда практически не будет влиять на свойства поверхности, и таким образом определить электрические свойства "чистой" поверхности.

Кристаллы германия *n*- и *p*-типа с концентрацией примесей от $5 \cdot 10^{13}$ до $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ раскалывались по плоскости спайности (111). Контакты были изготовлены вплавлением индия и расположены, как показано на рис. 1. Все измерения электропроводности были проведены в жидком гелии при $T = 4,2\text{К}$.

До скола электропроводность образцов определялась объемными свойствами германия и в зависимости от содержания примесей имела величину от 10^{-8} до $10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. После скола в жидком гелии свежееобразованная, плоская поверхность, если она была зеркально-гладкой, не вносила никакого вклада в электропроводность образцов, и поверхностной электропроводностью можно было пренебречь. Однако, после промежуточного подогрева в парах гелия до температуры около 40К поверхностная электропроводность резко и необратимо возрастала.

Результаты измерений при $T = 4,2\text{К}$ электропроводности расколотых в гелии образцов приведены на рис. 1 в зависимости от температуры промежуточного нагрева $T_{\text{п}}$. Каждая точка на кривых была получена после подогрева образца до $T_{\text{п}}$ и последующего охлаждения до 4,2К. Как видно из данных, приведенных на рис. 1, промежуточный нагрев до $T_{\text{п}} \lesssim 30\text{К}$ не влияет на электропроводность хорошо расколотых образцов. При подогреве в интервале $35^\circ \leq T \leq 45\text{К}$ происходит резкое возрастание электропроводности.

При $T_{\text{п}} > 40\text{К}$ удельная поверхностная электропроводность

$$\sigma_s = (3 \div 5) \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1}$$

в десятки раз превышает минимальное значение металлической проводимости в двумерной среде. Величина σ_s не зависит от типа проводимости и концентрации примесей в исходном кристалле, а также от качества скола, и равна удельной электропроводности бикристаллов

германия с большими углами наклона. Она остается неизменной в течение многих часов, пока имеется жидкий гелий в криостате.

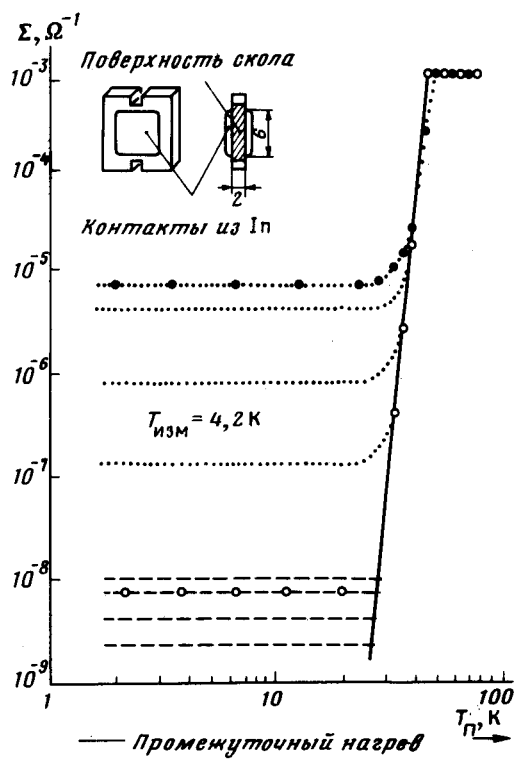


Рис. 1. Электропроводность, измеренная при $T = 4,2\text{К}$ в зависимости от температуры промежуточного нагрева T_{Π} , \circ — на одном из образцов с зеркальной поверхностью, \bullet — с шероховатой поверхностью. (Размеры образцов и расположение контактов даны в верхней части рис. 1) — — — объемная электропроводность германия с разной концентрацией примесей, — · — — — поверхность хорошо расколотых образцов, · · · · · — — — — — поверхность образцов с дефектными поверхностями

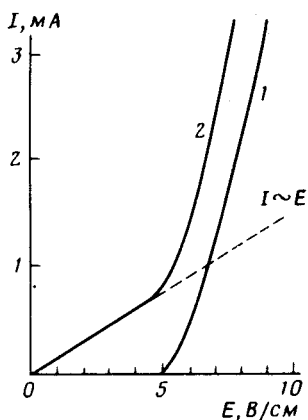


Рис. 2. Зависимость $I(E)$ на одном из образцов $n\text{-Ge}$ при $T = 4,2\text{К}$. 1 — для свеже сколотого образца, 2 — после промежуточного нагрева до 50К (зависимость $I \sim E$ при $E > 5 \text{В/см}$ получена вычитанием кривой 1 из кривой 2)

Если образец со свеже сколотой поверхностью вынуть из криостата, а затем вновь проводить измерения в жидком гелии, то его свойства зависят от времени пребывания в воздухе. Кратковременное пребывание, менее 30 сек, приводит к росту поверхностной электропроводности до значений $\sigma \sim 1 \cdot 10^{-4} \text{Ом}^{-1}$, а более длительное, свыше 2 минут — к ее полному исчезновению. Здесь, очевидно, накладывается влияние двух эффектов — разогрева и загрязнения. (

Результаты измерений, приведенные на рис. 1, получены в слабых электрических полях. В более сильных полях, $E \geq 5 \text{В/см}$, в германии,

как известно, происходит ударная ионизация примесей. Зависимость $I(E)$ для свежесколотого образца n -Ge представлена кривой 1 на рис. 2. Как и до скола резкое возрастание тока, связанное с ударной ионизацией начинается в поле $E \approx 5$ В/см. $V - E$ кривые образца до и после скола совпадают во всей области изученных токов от 10^{-9} до 10^{-2} А.

Если провести такие же измерения на образце после скола и промежуточного нагрева до $T_{\text{II}} = 50\text{K}$, то, как видно из результатов измерений приведенных на том же рис. 2, ток через образец представляет собой сумму объемного тока, вызванного ударной ионизацией и поверхностного тока, возрастающего пропорционально приложенному напряжению. Линейная зависимость поверхностного тока от напряжения прослеживается до полей, вдвое превышающих пробивные. Очевидно, что ударная ионизация примесей не влияет на величину поверхностного тока. Такие же результаты были получены на образцах p -типа. Таким образом, значительное увеличение концентрации свободных электронов или дырок при пробое не влияет на величину исследуемого нами типа поверхностной проводимости.

Приведенные данные об электропроводности свежесколотых поверхностей германия относятся к образцам с зеркально-гладкой поверхностью скола вдоль плоскости спайности (111). В случае неровной, шероховатой поверхности, имеющей ступеньки и другие дефекты, которые образуются при расколе недостаточно точно ориентированных образцов, обнаруживается высокая проводимость непосредственно после скола в жидком гелии. В зависимости от вида несовершенства поверхности ее удельная электропроводность имеет значения от 10^{-7} до $3 \cdot 10^{-5}$ Ом $^{-1}$. На отдельных таких поверхностях проводимость в гелии слабо растет со временем, прошедшим с момента скола. На всех образцах с дефектной поверхностью наблюдается значительная остаточная фотопроводимость после освещения видимым светом. После промежуточного нагрева выше 40К электропроводность образцов одинакова у образцов с шероховатой и зеркально-гладкой поверхностью.

При идеальном сколе германия по плоскости (111) разрывается по одной спаренной валентной связи на каждый поверхностный атом. Весьма вероятно, что образующиеся при сколе в жидком гелии свободные связи вновь спариваются на соседних атомах, образуя поверхностную двойную связь, достаточно прочную, чтобы сохраниться при $T = 4,2\text{K}$, и не давать вклада в явления переноса.

Разрывы этих связей, имеющие место на поверхностях несовершенной структуры, со ступеньками и другими похожими на дислокации дефектами, а также при промежуточном нагреве, приводят к возникновению поверхностной электропроводности, природа которой, по-видимому, аналогична электропроводности на плоскости срачивания бикристаллов германия [1].

Физический институт
им. П.Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 сентября 1979 г.

Литература

[1] Б.М. Вул, Э.И. Заварицкая. ЖЭТФ, 76, 1089, 1979.