

БЕСКОНТАКТНЫЙ СВЧ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ ПРИМЕСНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В КРЕМНИИ

Алтухов И. В., Покровский Я. Е., Смирнова О. И., Синис В. П.

Кремний, легированный примесями III и V групп, является одним из основных материалов, используемых для создания примесных охлаждаемых фотосопротивлений [1]. При этом в зависимости от назначения фотосопротивления исходный материал должен обладать максимальным временем жизни основных носителей заряда, если необходимо обеспечить высокую фоточувствительность, либо временем жизни менее 10^{-9} с, если необходимо высокое быстродействие устройства. Обычно кинетика фототока исследуется после нанесения токовых контактов на образцы кремния. Однако процедура получения «хороших» контактов достаточно сложна и связана с термообработкой, при которой в кремний могут вноситься дополнительные загрязнения. Кроме того, сопротивления контактов очень велики при низких температурах из-за наличия потенциальных барьеров в пе-

наличия потенциальных барьеров в пе-

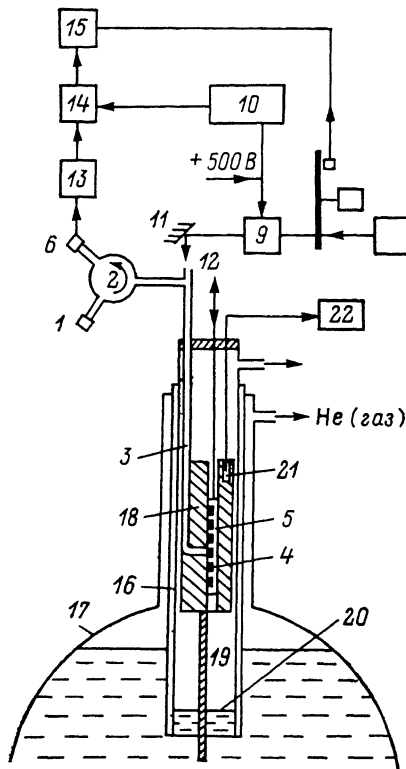


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (пояснения в тексте).

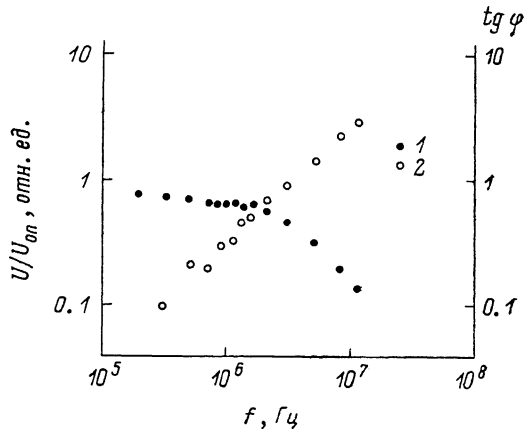


Рис. 2. Зависимость относительной величины фототока $U/U_{оп}$ (1) и запаздывания фазы φ (2) от частоты модуляции возбуждающего излучения f для образца кремния с концентрациями бора $3.3 \cdot 10^{18}$ и доноров $5 \cdot 10^{11}$ см $^{-3}$ при 24 К.

редонных областях, что существенно сказывается на результатах измерений [1]. В связи с этими трудностями уже давно (см., например, [2]) разрабатываются СВЧ бесконтактные методы исследования, в которых высокая чувствительность достигается за счет фотовозбуждения образца, помещенного в резонатор с высокой добротностью, что ограничивает возможности измерения времен жизни менее 10^{-8} с. В настоящем сообщении описана нерезонансная СВЧ методика, позволяющая измерять и более короткие времена фототока в широком диапазоне температур.

Схема использованной установки приведена на рис. 1. Источником 8-миллиметрового СВЧ излучения является серийный диод Ганна 1. Через циркулятор 2 излучение поступает в волновод 3 из нержавеющей стали и попадает на один из исследуемых образцов 4. Образцы размером $10 \times 3.5 \times 1$ мм расположены

в подвижной кассете 5, перемещая которую с помощью микрометрического винта, можно последовательно совмещать с волноводом шесть образцов. Пройдя через образец и отразившись от кассеты, СВЧ излучение через волновод 3 и циркулятор 2 попадало на квадратичный детектор 6. Образец возбуждался излучением CO₂-лазера, модулированного электрооптическим модулятором МЛ-7 из арсенида галлия 9, на который подавалось постоянное напряжение 500 В и переменное напряжение 150 В (эффективное) от генератора 10. При этом обеспечивалась глубина модуляции около 40 %. Возбуждающее излучение вводилось в волновод после отражения от юстировочного зеркала 11 через заперделное отверстие 12. Мощность возбуждения не превышала 1 мВт и могла быть ослаблена тефлоновыми фильтрами. Модуляция фотопроводимости образца вызывала модуляцию мощности прошедшего через образец СВЧ излучения благодаря поглощению свободными носителями, что приводило к модуляции ответа детектора 6. Продетектированный сигнал поступал на предусилитель 13 с входным сопротивлением 50 Ом и далее на фазочувствительный микровольтметр 14, на который подавался опорный сигнал от генератора 10. Амплитуду и фазу сигнала можно было непосредственно считать по шкалам прибора 14, но при малом сигнале и высоких частотах модуляции проявлялась наводка от генератора 10. От нее можно было избавиться, модулируя возбуждающее излучение диском с окнами 8 с частотой 120 Гц и используя повторное синхронное детектирование с помощью низкочастотного нановольтметра 15.

Температурные исследования в диапазоне 5—50 К проводились в криостате, основой которого являлись две коаксиально расположенные тонкостенные трубы 16 из нержавеющей стали, промежуток между которыми откачивался до форвакуума. Трубы через резиновое уплотнение вводились в горловину транспортного гелиевого дьюара 17. Массивный латунный блок 18, в котором были смонтированы волновод 3 и подвижная кассета с образцами 5, имел тепловую связь с гелиевой ванной через теплопровод 19. Температуру блока можно было изменять или фиксировать, изменяя уровень жидкого гелия 20 во внутренней трубе 16 криостата. Это достигалось путем регулирования потоков газообразного гелия из криостата и дьюара с помощью игольчатых вентилях. Температура контролировалась угольным термометром 21 и цифровым омметром 22 с точностью около 0.2 К.

Время жизни τ можно было определять либо по амплитудно-частотной характеристике, либо по запаздыванию фазы φ фотоответа исследуемого образца относительно ответа «опорного» образца. В качестве опорного обычно использовался образец кремния, легированного галлием и фосфором в концентрациях $1.8 \cdot 10^{16}$ и $2.2 \cdot 10^{14}$ см⁻³. При столь большой степени компенсации τ в нем не могло значительно превышать 10^{-10} с [1]. Во всяком случае φ для этого образца относительно опорного сигнала не зависело ни от температуры, ни от уровня возбуждения. Опорный образец совмещался с волноводом и для каждой частоты модуляции f и температуры фиксировались значения амплитуды его фотоответа и сдвиг фазы относительно опорного сигнала. Затем с волноводом совмещался исследуемый образец, и проводились те же измерения. Время жизни τ исследуемого образца определялось из известных соотношений [1]

$$U/U_{\text{оп}} \sim \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f \tau)^2}}, \quad 2\pi f \tau = \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где U и $U_{\text{оп}}$ — фотоответы исследуемого и опорного образцов.

На рис. 2 приведены зависимости $U/U_{\text{оп}}$ и $\operatorname{tg} \varphi$ от частоты модуляции f для одного из образцов легированного бором кремния с низкой концентрацией доноров. Определенные из рисунка значения τ лежат в пределах $5 \div 6 \cdot 10^{-8}$ с для обоих способов измерения. Естественно, что определение τ из АЧХ было возможно, лишь если $\tau \geq 10^{-8}$ с. Меньшие времена определялись только по сдвигу фаз φ . Точность измерения φ была не менее 5°, что при максимальной частоте модуляции 16 МГц обеспечивало уверенные измерения времени жизни вплоть до 10^{-9} с.

- [1] Sclar N. // Proc. Quant. Electron. 1984. V. 9. P. 149—257.
 [2] Гершензон Е. М., Мельников А. П., Шимичева Э. Л. // ФТП. 1970. Т. 4. В. 5. С. 892—899.

Институт радиотехники и электроники АН СССР
 Москва

Получено 25.01.1990
 Принято к печати 31.01.1990

ФТП, том 24, вып. 6, 1990

ЭФФЕКТ «ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ» В $\text{Cd}_{0.1}\text{Hg}_{0.9}\text{Te}$

Хасбулатов А. М., Машовец Д. В., Попов В. В.

При измерении сопротивления $\text{Cd}_{0.1}\text{Hg}_{0.9}\text{Te}$ в магнитном поле, параллельном направлению тока в образце, обнаружено «отрицательное сопротивление» — инверсия знака сигнала на потенциальных зондах, или сигнал отрицательного магнитосопротивления (ОМС) свыше 100%.

Монокристаллический образец $\text{Cd}_{0.1}\text{Hg}_{0.9}\text{Te}$ длиной ≈ 5 мм был вырезан вдоль направления [110] в форме «креста» с двумя парами потенциальных контактов. Сопротивления в продольном магнитном поле ρ_{\parallel} , в поперечном поле ρ_{\perp} и эффект Холла измерялись по четырехзондовой схеме в стационарном ($H \leq 30$ кЭ) и импульсном ($H \leq 250$ кЭ, длительность ~ 5 мс) магнитных по-

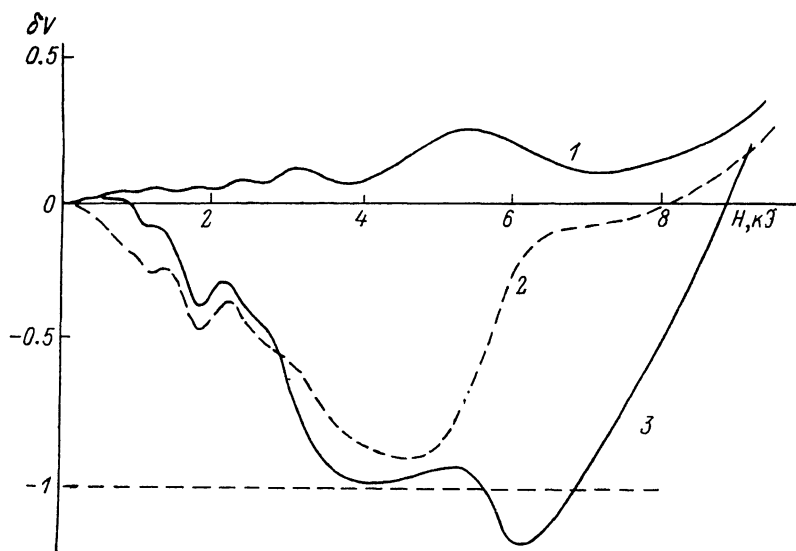


Рис. 1. Изменение сигнала сопротивления (в отн. ед.) $\Delta V = [V_{\rho}(H) - V_{\rho}(0)] / V_{\rho}(0)$ в продольном и поперечном магнитных полях при $T = 4.2$ К.

1 — $\Delta V_{\rho\perp}$, 2 — $\Delta V_{\rho\parallel}$ (непосредственно после травления), 3 — $\Delta V_{\rho\parallel}$ (через 3 суток).

лях при $T = 4.2$ и 77 К. При 4.2 К в полях до 10 кЭ наблюдались осцилляции Шубникова—де-Гааза (ШГ) величин ρ_{\parallel} и ρ_{\perp} . Значения концентрации электронов, определенные из ШГ и эффекта Холла, совпадают и равны $1.6 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$. Холловская подвижность электронов превышает 10^6 см 2 /В·с.

При подготовке измерений поверхность образца была протравлена раствором брома в метаноле. Контакты наносились серебряной пастой. При измерениях образец находился в криогенной жидкости.

На рис. 1 представлены экспериментальные кривые сигналов $V_{\rho\parallel}$ и $V_{\rho\perp}$. Штриховая кривая $V_{\rho\parallel}$ была снята через несколько часов после травления образца. Сплошная кривая $V_{\rho\parallel}$, демонстрирующая ОМС > 100%, была снята через несколько суток, в течение которых образец находился в комнат-