



ФОТОМОДУЛЯЦИОННАЯ СВЧ- ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРНО УПОРЯДОЧЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ В АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

ГОРДИЕНКО Ю.Е., РЯБУХИН А.А., ФАР Р.С.

Рассмотрены вопросы применения фотомодуляционной СВЧ-диагностики для исследования фотоэлектрических свойств структурно упорядоченных областей в аморфных полупроводниках.

В [1,2] рассмотрены современные аспекты усовершенствования СВЧ-метода диагностики аморфных полупроводников с кристаллическими включениями. Основное внимание при этом уделялось развитию методики и техники исследования кинетики частичной кристаллизации и определению абсолютного значения объема кристаллической фазы. Зачастую возникает необходимость изучать фотоэлектрические свойства структурно упорядоченных областей в аморфных полупроводниках. Имеются основания предполагать, что эти свойства существенно отличаются от установленных в классическом кристаллическом состоянии материала. СВЧ-метод безэлектродного исследования фотопроводимости полупроводников, развитый в большом количестве работ (см., например [3, 4]), в данном случае представляется единственно приемлемым. Основанную на его применении диагностику упорядоченных областей в аморфных полупроводниках будем называть фотомодуляционной.

Стандартная или серийно выпускаемая СВЧ-аппаратура для безэлектродного исследования фотопроводимости материалов отсутствует в связи с необходимостью ее специализации для различных материалов и исследуемых свойств. Наиболее распространенными являются СВЧ-установки на основе резонаторных измерительных ячеек (измерительных преобразователей – ИП). Принцип их функционирования базируется на изменении добротности и резонансной частоты ИП с образцом при освещении последнего излучением из области фоточувствительности материала. Способы формирования соответствующих сигналов определяют чувствительность установки и разрешающую способность по регистрации значения различных фотоэлектрических параметров материала образца.

В работе использовалась установка, структурная схема которой представлена на рис.1. При соответствующей настройке и коммутации узлов установка позволяет отдельно исследовать: фотопроводимость и фотоэлектрический эффект (включая спектральную и температурную их зависимости); время жизни фотоносителей фазовым методом и по кинетике спада фотопроводимости (включая тем-

пературную зависимость); сигналы фотопроводимости при различных уровнях и характере СВЧ-смещения.

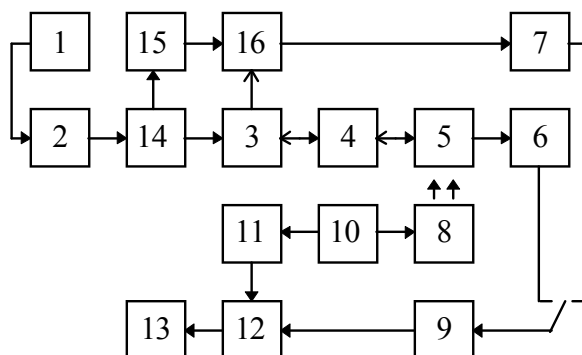


Рис. 1. Структурная схема установки

Функционирование установки базируется на таких общих принципах. СВЧ-мощность от генератора 1 поступает через ферритовый вентиль 2, циркулятор 3, устройство регулировки связи 4 на ИП 5, который может быть сменным. Прошедшая через ИП СВЧ-мощность регистрируется СВЧ-детектором 6, а отраженная — детектором 7. Освещение образца в ИП осуществляется от модулируемого источника 8, в качестве которого удобно использовать светодиод соответствующего спектрального диапазона. Сигнал фотопроводимости при СВЧ-смещении выделяется на одном из СВЧ-детекторов на частоте модуляции освещения и усиливается узкополосным усилителем 9 и далее обрабатывается с использованием опорного канала от генератора модулирующего напряжения 10. Режим обработки выбирается фазовращателем 11 в опорном канале. Для выделения амплитудного сигнала с максимальным отношением сигнал / шум используется синхронное детектирование (фазовращатель 11, синхронный детектор 12, индикатор 13). Для выделения фазового сдвига фиксируются показания фазовращателя, соответствующие нулевому показанию индикатора.

При необходимости разделять сигнал фотопроводимости на СВЧ по составляющим, связанным с модуляцией добротности и резонансной частоты, используют отдельный опорный СВЧ-канал (ответвитель 14, СВЧ-фазовращатель 15) и включение СВЧ-детектора 7 через двойной волноводный тройник 16. Такой режим функционирования установки используется также при определении содержания кристаллической фазы по произведению добротности ИП на изменение резонансной частоты [1]. Для этого СВЧ-фазовращатель 15 должен быть высокоточным, а освещение образца отключено.

Такую установку можно реализовывать в любом технически удобном диапазоне рабочих частот в соответствии с требованиями физических аспектов исследования.

В общем случае теоретическое описание сигнала фотопроводимости сводится к следующему соотношению:

$$\frac{\Delta P_{\phi}}{P_0} = \int_0^{\Delta \sigma_{\phi}(t)} \left[\frac{\partial \Gamma(\xi, \omega)}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial \sigma} + \frac{\partial \Gamma(\xi, \omega)}{\partial \omega} \frac{\partial \omega_0}{\partial \sigma} \right] d\sigma, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\phi}/P_0$ — относительное изменение СВЧ-мощности, прошедшей (отраженной) через ИП, связанное с фотомодуляцией образца; P_0 — СВЧ-мощность, падающая на ИП; $T(\xi, \omega)$ — коэффициент передачи (отражения) ИП, зависящий от коэффициента связи (ξ) и частотной расстройки ИП $(\omega_0 - \omega)/\omega_0$; ω — резонансная частота ИП с образцом; Q — ненагруженная добротность ИП с образцом; σ — удельная электропроводность образца; $\Delta\sigma_{\phi}(t)$ — закон модуляции фотопроводимости образца.

Коэффициент связи ИП с волноводным трактом определяется отношением потерь СВЧ-мощности на связь к потерям СВЧ-мощности в ИП:

$$\xi = P_{св}/P_{пот} = \alpha Q \quad (2)$$

и, как нетрудно видеть, пропорционален ненагруженной добротности ИП с образцом.

Пользуясь выражением (8) работы [2] для численного исследования зависимостей $Q = f_1(\sigma)$ и $\omega = f_2(\sigma)$ и известными выражениями $T(\xi, \omega)$ для отражательной и проходной схемы включения ИП, с помощью соотношения (1) данной работы можно численно исследовать сигналы фотопроводимости при СВЧ-смещении для различных ИП.

Однако ввиду существенной многопараметровости задачи проведем предварительные оценки для выбора оптимальных вариантов построения исследовательской процедуры. Прежде всего это относится к выбору: схемы включения ИП (на проход или на отражение); режима СВЧ-детектора; значения исходного коэффициента связи; соотношения добротностей ИП с образцом и свободного от него; режима расстройки ИП относительно резонанса и др. С этой целью ограничимся случаем малых сигналов фотомодуляции $\Delta\sigma_{\phi}$ и малым значением $\text{tg}\delta$ образца ($\text{tg}\delta = \sigma/\omega\epsilon_0$, где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость материала образца; ϵ_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума).

Из работ [5, 6] известно, что при этих условиях и отсутствии фотомодуляции частоты ИП можно выписать следующие соотношения.

Для проходной схемы:

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{2\xi}{(1+2\xi)^2} \frac{\Delta Q_{\phi}}{Q} - \quad (3)$$

линейный СВЧ-детектор;

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{8\xi}{(1+2\xi)^3} \frac{\Delta Q_{\phi}}{Q} - \quad (4)$$

квадратичный.

Для отражательной схемы:

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{2\xi}{(1+\xi)^2} \frac{\Delta Q_{\phi}}{Q} - \quad (5)$$

линейный СВЧ-детектор;

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{4\xi(1-\xi)}{(1+\xi)^2} \frac{\Delta Q_{\phi}}{Q} - \quad (6)$$

квадратичный.

Здесь $\Delta U_{\phi}/U_0$ — относительное изменение напряжения на выходе СВЧ-детектора, связанное с фотомодуляцией проводимости образца; U_0 — напряжение на выходе СВЧ-детектора, характеризующее падающую на ИП СВЧ-мощность P_0 ; ΔQ_{ϕ} — фотомодуляция добротности ИП с образцом.

Анализируя эти выражения, приходим к следующим выводам. Для любых режимов существуют оптимальные значения исходного коэффициента связи, при котором $\Delta U_{\phi}/U_0$ максимально.

Проходная схема:

$$\xi_{\text{опт}}^{\text{лин}} = 0,5; \quad \xi_{\text{опт}}^{\text{квадр}} = 1,0. \quad (7)$$

Отражательная схема:

$$\xi_{\text{опт}}^{\text{лин}} = 1,0; \quad \xi_{\text{опт}}^{\text{квадр}} = 2 \pm \sqrt{3}. \quad (8)$$

Последняя обеспечивает в оптимуме в два раза больший сигнал. Кроме того, при отражательной схеме для регулировки коэффициента связи необходимо одно устройство, в то время как в проходной — два. По соотношению сигнал / шум выгоднее работать в области линейности характеристики СВЧ-детектора. Однако в отражательной схеме включения ИП при $\xi_{\text{опт}} = 1,0$ отраженная мощность близка к нулю и для вывода СВЧ-детектора на линейный участок необходимо дополнительно его СВЧ- смещение (допустимо также смещение от источника постоянного напряжения).

Как указывалось в [2], возможны два крайних режима включения образца в поле ИП: сильное $Q_0\eta\text{tg}\delta \gg 1$ и слабое $Q_0\eta\text{tg}\delta \ll 1$. Здесь Q_0 — исходная добротность ИП без образца; η — параметр, характеризующий включение образца в электрическое поле колебаний резонаторного ИП:

$$\eta = \frac{\int_{V_{\text{обр}}} E^2 dV}{\int_{V_{\text{пр}}} E^2 dV}. \quad (9)$$

Соответственно, сигналы фотопроводимости будут иметь различную зависимость от исходной (темновой) электропроводности образца:

$$\frac{\Delta U_{\phi}^*}{U_0} = \frac{2\xi(\sigma)}{[1+\xi(\sigma)]^2} \frac{Q_0\eta}{\omega\epsilon_0} \Delta\sigma_{\phi} - \quad (10)$$

слабое включение;

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{2\xi(\sigma)}{[1+\xi(\sigma)]^2} \frac{\Delta\sigma_{\phi}}{\sigma} - \quad (11)$$

сильное включение.

При исследовании фотоэлектрических явлений в структурно упорядоченных областях аморфных полупроводников значение σ может изменяться во времени. Поэтому в (10) и (11) сохранены зависимости от коэффициента связи, который будет также изменяться.

Подводя итог проведенному приближенному рассмотрению, обращаем внимание на следующие обстоятельства.

Слабое включение образца в поле ИП обеспечивает исследование фотопроводимости материала без влияния на величину сигнала темновой электропроводности и возможного ее изменения.

При сильном включении величина сигнала не зависит от степени включения и для заданного коэффициента связи определяется только относительным изменением электропроводности материала при его освещении $\Delta\sigma_{\phi}/\sigma$.

При одинаковом $\Delta\sigma_{\phi}/\sigma$ указанные сигналы будут различаться более чем на порядок и для умень-

шения этого различия следует уменьшать рабочую частоту до предела, определяемого техническими и физическими условиями эксперимента. Напомним, что физические условия связаны с ограничениями, накладываемыми влиянием дисперсии параметров гетерогенной системы, представляющей собой аморфную матрицу с упорядоченными областями.

Технические ограничения связаны с необходимостью переконструирования резонаторных ИП при уменьшении рабочей частоты. В частности, с переходом в дециметровый диапазон целесообразно использовать коаксиальные резонаторные ИП.

Полные и точные представления о зависимости сигнала фотопроводимости от режима включения образца и его параметров, как уже указывалось, дает численное исследование выражения (1).

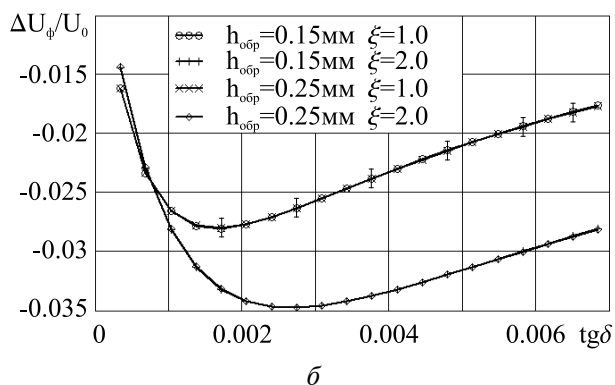
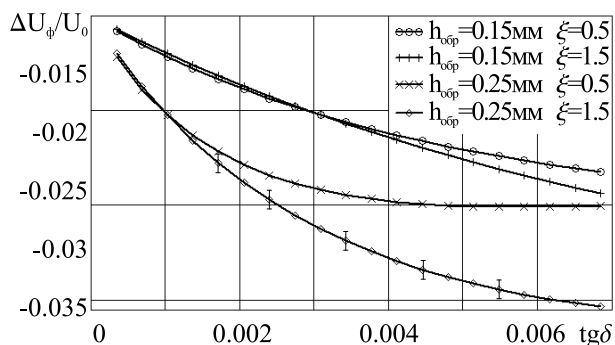


Рис. 2. Сигнал фотопроводимости для H_{012} – ИП

На рис. 2 представлены зависимости сигналов, соответственно, при слабом и сильном включении от $\text{tg } \delta$ материала, коэффициента связи ИП с волновым трактом и толщины образца для ИП на основе цилиндрического резонатора с H_{012} видом колебаний. Схематическое изображение таких ИП с образцом представлено в работе [7]. Степень включения образца в поле ИП изменяется, как указывалось в [7], синхронным перемещением нижнего и верхнего поршней в соосных частях резонатора, между которыми располагается образец. Количественно эта величина характеризуется значением $\beta_1 N$. Для сильного включения $\beta_1 N \rightarrow \pi/2$, а для слабого $\beta_1 N \rightarrow 0$. Выбор конкретных значений определяется возможностью обеспечения оптимального коэффициента связи при $\beta_1 N \rightarrow \pi/2$ и допустимого уменьшения сигнала фотопроводимости при $\beta_1 N \rightarrow 0$. Графики рассчитаны для рабочей частоты 37,5 ГГц.

Из представленных зависимостей видно, что при рабочих частотах в диапазоне миллиметровых волн

для реальных $Q_0 \approx 10^4$ разделение условий сильного и слабого включения возможно при удельной электропроводности материала больше $5 \cdot 10^{-4} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$.

Соотношения (10) и (11) хорошо выполняются в области значений $\text{tg } \delta < 10^{-4}$, а вклад второго слагаемого в (1) несущественен. Для более высоких значений $\text{tg } \delta$ пропорциональность сигналов соответственно величинам $\Delta\sigma_\phi$ и $\Delta\sigma_\phi/\sigma$ нарушается из-за появления заметного влияния образца на распределение поля в резонаторе. В связи с тем, что в работе такой режим не использовался, на зависимостях он не представлен.

При исследовании более высокоомных образцов ($\sigma < 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$) необходимо рабочую частоту ИП выбирать в области дециметровых длин волн.

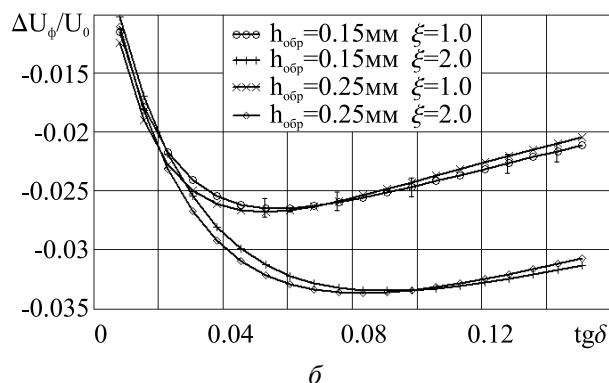
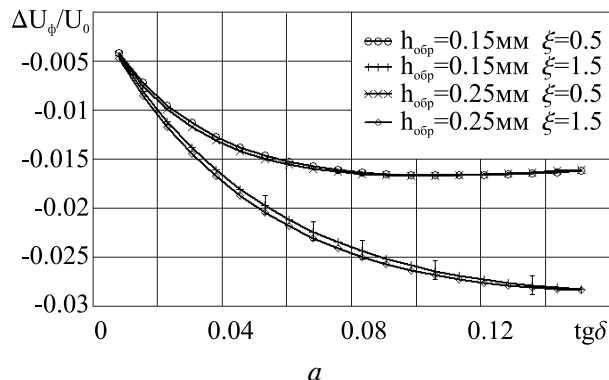


Рис. 3. Сигнал фотопроводимости для ИП коаксиального типа

На рис. 3 представлены аналогичные зависимости сигнала фотопроводимости для ИП коаксиального типа с укорачивающей емкостью в области взаимодействия с образцом, который описан в [8]. Зависимости рассчитаны для рабочей частоты 1,5 ГГц. Степень включения образца в поле ИП регулируется величиной зазора между образцом и ИП. Из представленных зависимостей видно, что соотношения (10) и (11) также хорошо выполняются при $5 \cdot 10^{-1} \geq \text{tg } \delta > 5 \cdot 10^{-2}$. Резонаторные ИП такого типа без особых сложностей конструируются в диапазоне частот 0,75...10 ГГц, так что для аморфных материалов с σ на СВЧ от 10^{-4} до $10^{-2} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ выбор оптимальной рабочей частоты не сопряжен с техническими ограничениями.

Экспериментальная проверка теоретических положений и настройка установки осуществлялись на образцах монокристаллического кремния (пластины толщиной 200...250 мкм) с удельной электропроводностью от 10^{-1} до $10^{-4} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ и временем жизни электронов τ_n порядка от 10^{-4} до 10^{-6} с.

Одна установка была реализована на частоте 1,5 ГГц на основе резонаторного ИП тороидального типа с укорачивающей измерительной емкостью. Резонатор имел исходную добротность $Q_0 = 800$. Ширина емкостного зазора измерительной апертуры ИП составляла 1,5 мм. Радиус внутренней части коаксиала в области апертуры соответствовал 2 мм. СВЧ-питание установки осуществлялось от транзисторного генератора с выходной мощностью 40 мВт и стабильностью частоты 10^6 .

Изменения степени включения образца в поле ИП производилось путем варьирования величины зазора между образцом и плоскостью торца с укорачивающей емкостью в пределах 0,05...1,5 мм.

При синхронном детектировании сигнала фотопроводимости на частоте модуляции освещения 520 Гц минимально регистрируемое значение $\Delta\sigma_{\phi \min}$ составляет $4 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ для сильного включения образца и $2 \cdot 10^{-5} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ — для слабого включения.

Вторая установка функционировала на частоте 37,5 ГГц на базе цилиндрического резонаторного ИП с H_{012} видом колебаний. Исходная добротность $Q_0 = 7,5 \cdot 10^3$. Диаметр внутренней части резонатора составлял 20 мм. Питание установки осуществлялось от стандартного СВЧ-генератора с выходной мощностью 20 мВт и стабильностью частоты 10^6 .

Чувствительность установки при отношении сигнал / шум 3:1 составляла $\Delta\sigma_{\phi \min} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ для сильного включения образца и $\Delta\sigma_{\phi \min} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ (Ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ — для слабого включения. Различное значение предельной чувствительности установок связано с различным уровнем флуктуации мощности и частоты СВЧ-генераторов и различием уровня шумов СВЧ-детекторов. Перестройка коэффициента связи в обеих установках осуществлялась с помощью СВЧ-трансформаторов. Время жизни $\tau < 10^{-4}$ с в установках измерялось фазовым методом [7], а при $\tau > 10^{-4}$ с — по кинетике спада сигнала фотопроводимости при импульсном освещении.

Данные экспериментальной проверки выражений на кремниевых пластинах изображены точками с интервалами разброса измерений на рис. 2 и 3.

Основные экспериментальные исследования фотоэлектрических свойств упорядоченных областей выполнены на аморфных слоях селена с включением гексагональной его модификации. Приготавливались такие слои по обычной технологии селенирования ксерографических барабанов [9]. Слои с различным содержанием гексагональной фазы формировались выдержкой их при температуре 50...70°C без модифицирующих факторов.

На рис. 4 представлены результаты исследования спектрального распределения фотопроводимости образцов селена при СВЧ-смещении в сравнении с известным спектральным распределением фотопроводимости аморфного селена с включениями гексагональной модификации при смещении постоянным напряжением (пунктирная кривая). Из сравнения обоих графиков видно, что при СВЧ-смещении регистрируется только фотопроводимость, связанная с гексагональной фазой.

Дальнейшие исследования были направлены на реализацию возможностей СВЧ-фотомодуляционного метода, обсуждавшихся выше.

В первую очередь на образцах одной партии, но выдержанных при разных температурах (от 50 до 70 °C)

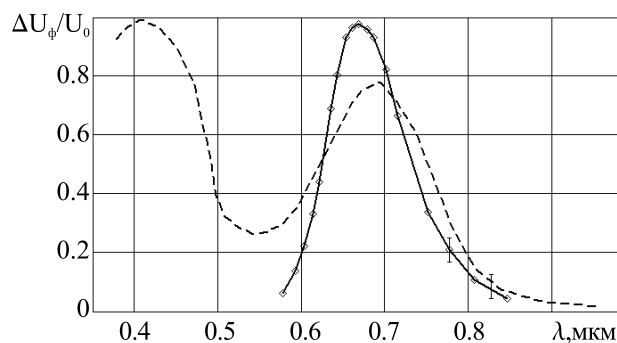


Рис. 4. Спектральное распределение фотопроводимости Se на СВЧ и постоянном токе

для частичной кристаллизации, проверялись соотношения (10), (11). При сильном включении и оптимальной связи ИП с волноводным трактом для каждого образца на обеих установках реализовывались близкие значения $\Delta U_{\phi}/U_0$, практически независимые от содержания кристаллической фазы. Значение $\Delta U_{\phi}/U_0 \approx 3 \cdot 10^{-4}$ определялось источником освещения образца (лампа накаливания мощностью 100 Вт).

В то же время при слабом включении образца в поле ИП сигналы $\Delta U_{\phi}/U_0$ отличались более чем на порядок для установок на частотах 1,5 и 37,5 ГГц из-за большего допустимого для условий малости включения значения $Q_0\eta/\omega$ на частоте 1,5 Гц.

Главное же состоит в том, что в обоих случаях величина сигнала хорошо коррелировала с содержанием кристаллической фазы в образцах. Последняя устанавливалась отдельными измерениями по методике, изложенной в [1,2]. Из приведенных в таблице сведений нетрудно убедиться, что величина СВЧ-сигнала фотопроводимости для слабого включения образца практически линейно связана с содержанием кристаллической фазы и не зависит от него выше определенной границы при сильном включении (граница определяется чувствительностью установки). Для селена на СВЧ справедливы представления

$$\Delta\sigma_{\phi} = qV\mu_n\tau_nN; \quad \sigma = q\mu_n nN, \quad (12)$$

где q — заряд электрона; V — параметр, определяемый коэффициентом оптического поглощения образцов, квантовым выходом внутреннего фотоэффекта и интенсивностью освещения; μ_n — подвижность электронов; τ_n — время жизни электронов.

С учетом этого выражения (10), (11) преобразуются к виду

$$\frac{\Delta U_{\phi}^*}{U_0} = \frac{2\xi}{(1+\xi)^2} \frac{Q_0\eta}{\omega_0\epsilon_0} qV\mu_n\tau_nN; \quad (13)$$

$$\frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} = \frac{2\xi}{(1+\xi)^2} V \frac{\tau_n}{n}. \quad (14)$$

Следовательно, время жизни носителей τ_n существенно влияет на величину обоих СВЧ-сигналов фотопроводимости. Этот параметр отдельно измеряется по фазовому сдвигу сигнала или по его спаду при импульсном освещении.

Представленные в таблице экспериментальные результаты измерения τ_n (осуществлялись при сильном включении образца) показывают, что этот параметр практически не зависит от температуры и времени кристаллизации, однако отличается для различных партий. Партия образцов № 112-117

№ образца	Температура кристаллизации, °С	Время кристаллизации, ч.	Содержание кристаллической фазы, N, %	$\left. \frac{\Delta U_{\phi}^*}{U_0} \right _{\omega_0}$	$\left. \frac{\Delta U_{\phi}^*}{U_0} \right _{\omega_0}$	$\left. \frac{\Delta U_{\phi}}{U_0} \right _{\omega_0}$	Время жизни носителей, τ_n , с
				$\omega_0 = 1,5 \text{ ГГц}$	$\omega_0 = 37,5 \text{ ГГц}$	$\omega_0 = 1,5 \text{ ГГц}$	
112	50	1,5	7,5	$8 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	0,038	$2,5 \cdot 10^{-3}$
113	60	6	19	$2 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,037	$2,4 \cdot 10^{-3}$
114	70	2	34	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	0,039	$2,5 \cdot 10^{-3}$
117	70	5	42	$5 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,041	$2,8 \cdot 10^{-3}$
211	50	1,5	4,5	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	0,037	$2,6 \cdot 10^{-3}$
212	60	6	8	$9 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,039	$2,9 \cdot 10^{-3}$
213	70	4	20	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0,04	$3,1 \cdot 10^{-3}$
214	80	2	31	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,038	$3,0 \cdot 10^{-3}$

приготавливалась путем конденсации на охлаждаемую подложку, а образцов № 211-214 — на подогретую до температуры 40 °С.

На рис. 5 представлены графики кинетики кристаллизации образцов при более высоких температурах в сравнении с приведенной к максимальному

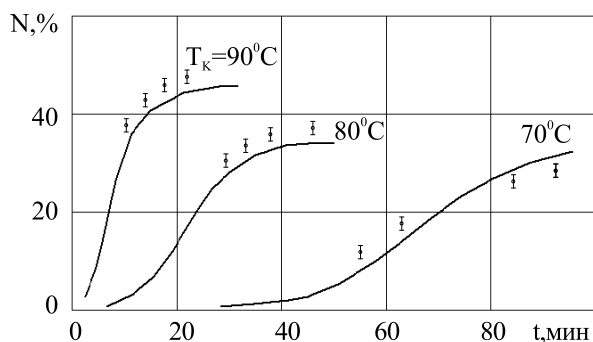


Рис. 5. Кинетика кристаллизации вакуумных конденсатов аморфного селена

значению кинетикой сигналов фотопроводимости этих образцов при слабом включении. Последняя представлена несоединенными точками.

Сравнение показывает, что при температурах кристаллизации селена менее 80 °С кинетики, измеренные обычным и фотомодуляционным методами, хорошо совпадают для различных партий образцов. При более высокой температуре для образцов второй партии наблюдается заметное различие. Объясняется это, по-видимому, изменением τ_n в процессе кристаллизации при более высоких температурах. Из отдельных оптических исследований [10] известно, что в вакуумных конденсатах селена, напыляемых на неохлаждаемые или подогреваемые подложки, преобладает скорость роста сферолитов над скоростью зародышеобразования.

По-видимому, в процессе роста размера сферолитов изменяется время жизни носителей в нем.

Анализ поведения сигналов фотопроводимости при сильном включении позволяет утверждать, что концентрация носителей в упорядоченных областях практически не зависит от условий кристаллизации (величина такого сигнала почти неизменна для различных температур и времени кристаллизации, начиная с некоторого значения N). В то же время для любых температур кристаллизации наблюдается зависимость $\Delta U_{\phi}/U_0$, а следовательно, концентрации носителей n от условий конденсации материала (температуры подложки, температуры испарения).

Таким образом, представленные исследования показывают, что в изложенном виде СВЧ-фото-

модуляционная методика метрологически эффективна как для непосредственного изучения фотоэлектрических свойств упорядоченных областей, так и для коррекции СВЧ-исследований кинетики частичной кристаллизации аморфных полупроводников.

Литература: 1. Гордиенко Ю.Е., Фар Р.С. Модификация СВЧ-метода исследования упорядоченных структур образований в аморфных полупроводниках// Радиотехника и информатика. 1997, № 1. С. 43-45. 2. Гордиенко Ю.Е., Фар Р.С. Радиофизические аспекты исследования структурно упорядоченных областей в аморфных полупроводниках// Радиотехника. 1998. Вып. 105. С. 24-32. 3. Алтухов И.В., Покровский Я.Е., Смирнова О.И., Синис В.П. Бесконтактный СВЧ-метод исследования кинетики примесной фотопроводимости в кремнии// Физика и техника полупроводников. 1990. Т. 24, № 6. С. 1134-1136. 4. Wang Zongxim, Chu Youling. Use of icrowave photoconductivity to measure semiconductor properties // Solid-State Electronic. 1991. Vol. 34, № 7. P. 735-740. 5. Блюменфельд Л.А., Воеводский В.В., Семенов А.Г. Применение электронного парамагнитного резонанса в химии. Новосибирск: СО АН СССР. 1962. 240 с. 6. Медведев Ю.В., Петров А.С. Анализ работы фоторезисторных приемников с СВЧ-смещением// Изв. вузов. Сер. Физика. 1972. № 10. С. 93-97. 7. Гордиенко Ю.Е., Дудкин Ю.А., Бородин Б.Г., Федотов Д.А. Установка для безэлектродного измерения времени жизни носителей заряда в полупроводниках // Приборы и техника эксперимента. 1983. № 2. С. 204-207. 8. Ахманаев В.Б., Медведев Ю.В., Петров А.С. Резонатор для бесконтактного измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов// Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1981. Вып. 4. С. 48-51. 9. Шнейдман И.Б. Электрофотография на селеновых слоях. М.: Машиностроение, 1982. 254 с. 10. Мамедов К.П., Нуриева З.Д. О механизме кристаллизации селена// Кристаллография. 1967. Т. 12, № 4. С. 698-701.

Поступила в редколлегию 12.05.98

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Ажажа В.М.

Гордиенко Юрий Емельянович, д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХТУРЭ. Научные интересы: микроэлектроника; неразрушающий контроль материалов и изделий. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-62.

Рябухин Алексей Александрович, стажер — исследователь кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХТУРЭ. Научные интересы: неразрушающий контроль материалов и изделий. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-62.

Фар Раафат Саид, аспирант кафедры микроэлектроники, электронных приборов и устройств ХТУРЭ. Научные интересы: неразрушающий контроль материалов и изделий. Адрес: 310726, Украина, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-62.