

ЛЬВОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени ИВАНА ФРАНКО

На правах рукописи

СКЛЯРЧУК
Василий Михайлович

**ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМО-Э. Д. С.
ПРОСТЫХ И СЛОЖНЫХ ЖИДКИХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ В ОБЛАСТИ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕХОДА
«МЕТАЛЛ-НЕМЕТАЛЛ»**

Специальность 01.04.07 — физика твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



Робота виконана на кафедрі рентгенометаллофізики і в Інституті прикладної фізики Львівського державного університету імені Івана Франка.

Научний керівник — доктор фізико-математических наук, професор ДУТЧАК Я. І.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук, професор, ХАРЬКОВ Е. І., кандидат фізико-математических наук, доцент, МУДРЬИЙ С. І.

Ведущая організація — Львівський політехнічний інститут.

Захита состоится « _____ » _____ 1992 г. в _____ часов на заседании Специализированного Совета Д 068.26.05 при Львовском государственном университете им. Ив. Франко по адресу: 290005, г. Львов-5, ул. Ломоносова, 8а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Львовского государственного университета.

Автореферат разослан « _____ » _____ 1992 г.

*Учений секретар
спеціалізованого Совета Д 068.26.05
доктор фіз.-мат. наук*

ПОЛОВИНКО И. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. К настоящему времени в физике некристаллического состояния вещества накоплен значительный объем экспериментальных и теоретических данных, которых, однако, недостаточно не только для создания общей теории, но и для формирования отдельных завершенных концепций. К таковым следует отнести концепцию перехода "металл - неметалл". Здесь наше понимание ограничивается модельными представлениями о тривиальном энергетическом спектре электронов с псевдозазором по подвижности, которые, зачастую, недостаточно аргументированы экспериментом. Кроме того, такой уровень знаний явно сдерживает практическое использование жидких полупроводников.

Успешное развитие физики перехода "металл - неметалл" во многом зависит от объективности и достаточности экспериментальных данных. Вопрос о том, как и какие свойства измерять приобретает особую значимость, так как к высокотемпературным расплавам неприменимы методики, используемые при изучении свойств твердого тела, что затрудняет получение прямой информации о состоянии электронной подсистемы. Многое также зависит от правильного выбора объектов экспериментальных исследований.

Цель работы:

- экспериментальное изучение закономерностей перехода "металл - неметалл", обусловленного изменением температуры, давления и концентрации в жидких полупроводниках с разными механизмами переноса заряда (электронным, дырочным и при наличии ионного вклада), а также определение возможности и перспектив практического применения жидких полупроводников.

Для достижения цели:

- основной упор сделан на комплексное изучение наиболее информативных параметров - электропроводности и термо-э.д.с. сильно аг-

рессивных полупроводниковых расплавов.

Особое внимание уделяется изучению корреляции между электропроводностью и термо-э.д.с.

Выполнение задачи обеспечивается за счет создания новой экспериментальной методики и правильного выбора объектов исследования.

Определение перспектив практического применения полученных результатов.

Научная новизна. Впервые в широком интервале давлений (до 4.6×10^7 Па) и температур (до 2000 К) проведены комплексные измерения электропроводности, термо-э.д.с. и плотности трехкомпонентных расплавов $CuTiTe_2$, $CuTiSe_2$, $CuAsTe_2$, $CuAsSe_2$, $TlAsTe_2$, $TlAsSe_2$; псевдодвухкомпонентной системы $Cu_x(CuAsSe_2)_{1-x}$, ($x=0.20, 0.40, 0.60, 0.65, 0.70, 0.72, 0.74, 0.76, 0.78, 0.80$); двухкомпонентных расплавов Tl_xSe_{1-x} ($x=0.60, 0.62, 0.64, 0.66, 0.667, 0.68$).

Показано, что независимо от природы исследованных расплавов ширина температурного интервала, в котором происходит переход "полупроводник-металл" пропорциональна средней температуре перехода.

Изучены закономерности, впервые обнаруженного, высокотемпературного обратного перехода "металл - неметалл". Предложена модель линейно расширяющегося с температурой псевдозазора по подвижности.

Предложен механизм металлизации жидких полупроводников со смешанной проводимостью, включая ионную составляющую.

Практическая ценность. Разработан и реализован способ высокотемпературных измерений электропроводности агрессивных расплавов.

Создан высокотемпературный термопреобразователь, сохраняющий работоспособность в потоках тепловых нейтронов.

На защиту выносятся:

I. Способ и устройство для высокотемпературных исследований агрессивных расплавов.

2. Новые экспериментальные и расчетные данные по электропроводности, термо-э.д.с. и плотности ряда полупроводниковых расплавов.

3. Модель обратного перехода "металл - неметалл", обнаруженного при значительных перегревах выше температуры металлизации.

4. Механизм металлизации жидких полупроводников со смешанной проводимостью, включая ионную составляющую.

5. Радиационноустойчивый высокотемпературный термопреобразователь.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 14 печатных работах и обсуждены на 5, 6, 7 Всесоюзных конференциях по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов (Свердловск 1983, 1986, Челябинск 1990). На третьей Всесоюзной конференции по термодинамике и материаловедению полупроводников (Москва 1986). На научно-техническом семинаре "Ближний порядок в металлических расплавах и структурно-чувствительные свойства вблизи границ устойчивости фаз" (Львов 1988 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов, в которых приведены основные результаты работы, и приложения. Диссертация содержит 150 страниц машинописного текста, включая 35 рисунков и 7 таблиц. Список цитируемой литературы составляет 123 библиографических названия.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность темы, сформулирована цель работы, отмечается научная новизна и практическая ценность проведенных исследований, а также приводятся основные положения выносимые на защиту.

Первая глава - обзорная, в которой изложены основные представления о переходе "металл - неметалл" в жидких полупроводниках.

Теория этого перехода развивается в двух направлениях:

- созданы полуколичественные модели электронного спектра, основанные на понятии локализации Андерсона, которые связывают переход "неметалл - металл" с исчезновением псевдозазора по подвижности.
- на базе теории перколяции создаются гетерогенные модели перехода к "металлической проводимости". объясняющие переход как следствие достижения критического объема металлической составляющей в неоднородном расплаве. Отмечено, что эти модели менее совершенны, чем однородные и, к сожалению, пока не нашли корректного экспериментального подтверждения.

Подчеркивается, что наряду с заметным прогрессом теории, экспериментальные исследования перехода "полупроводник - металл" базируются в основном на высокотемпературных исследованиях электропроводности и лишь ограниченное число работ посвящено исследованию других параметров, в частности термо-з.д.с.

Вторая глава посвящена методам измерений. Проанализированы методические трудности, возникающие при высокотемпературных исследованиях сильноагрессивных расплавов - жидких полупроводников, дано обоснование выбора конструктивных материалов и примененной методики. Описана камера высокого давления, а также измерительный комплекс для получения данных по электропроводности (погрешность до 2.0%) и термо-з.д.с. (погрешность до 5.0%) жидких полупроводников под давлением до 4.6×10^7 Па и в широком интервале температуры до 2000 К, а также γ - метод измерения плотности (погрешность 0.1%).

Синтез исследованных сплавов выполнен путем прямого сплавления компонентов. Исходные компоненты чистотой не хуже 99.999 % помещались в кварцевую ампулу, которая откачивалась (до 10^{-6} мм.рт.ст.), после чего запаянная ампула помещалась в специальный нагре-

ватель. Температурно-временной режим синтеза выбирался в зависимости от индивидуальных свойств изучаемых систем. Для измерений электропроводности и термо-э.д.с. нами созданы, с учетом формализма Навье-Стокса, многозонные ячейки из нитрида бора с графитовыми электродами (рис. I). Применение такой ячейки впервые дало возможность, оценить и исключить составляющую погрешности измерения $\sigma(T)$ за счет диффузии исследуемой жидкости в керамическую стенку измерительного контейнера. Дало в том, что при высокотемпературных исследованиях сильно агрессивных расплавов, какими являются исследуемые нами объекты, формируется шумящий слой на поверхности ячейки за счет проникновения расплава в пористую керамику. Формирование проводящего слоя на внутренней поверхности измерительной ячейки можно рассматривать как увеличение радиуса исследуемого образца на эффективную величину Δr . Стало быть, падение напряжения U_{ij} на участке образца между i и j - электродами, площадью $S_{ij} = \pi(r_i + \Delta r)^2$, длиной l_{ij} при силе тока I принимает вид:

$$U_{ij} = I \sigma^{-1} \frac{l_{ij}}{\pi(r_i + \Delta r)^2}$$

где r_i - радиус i -го электрода. На практике к U_{ij} добавляется поправка в измерительном тракте, которую в условиях высоких температур и давлений не удастся полностью исключить традиционными методами, что также формирует дополнительную погрешность. Поэтому суммирование вышеизложенных фактов дает выражение для электропроводности:

$$U_{ij} = I \sigma^{-1} \frac{l_{ij}}{\pi(r_i + \Delta r)^2} U_i + U_j;$$

Проводя измерения между всевозможными парами зондов, записываем систему из пяти уравнений. Решая ее, мы аналитически исключаем составляющую погрешности за счет эффекта шумирования и поправок в измерительных цепях, получая при этом истинное значение σ .

При определении термо-э.д.с. сначала измерятся падения нап-

ряжения между одноименными термоэлектродами, после чего производятся известные вычисления. Разность температур вдоль образца составляла, как правило, ~ 20 К.

Измерения плотности выполнены автором на установке института Теплофизики СО АН СССР.

Весь массив экспериментальной информации обрабатывался с помощью аппроксимационных уравнений методом наименьших квадратов. Оптимальная степень аппроксимационных полиномов выбиралась с помощью критерия Фишера.

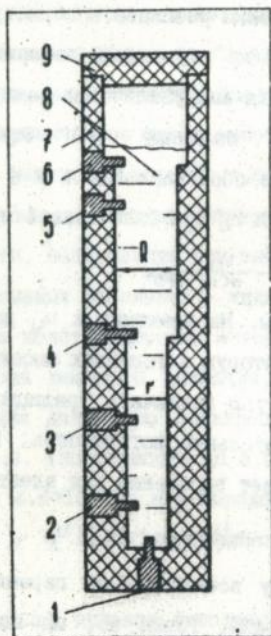


Рис. I. Трехзонная ячейка для измерения $\sigma(T)$ и $\zeta(T)$.

Третья глава посвящена исследованию расплавов Te , Cu_2Te , Cu_2Se , CuTiTe_2 , CuTiSe_2 , CuAsTe_2 , CuAsSe_2 , TiAsTe_2 , TiAsSe_2 .

Комплексно измерены $\sigma(T)$ и $S(T)$ двух- и трехкомпонентных расплавов халькогенидов до температуры 1800 К и при давлении до $4.6 \cdot 10^8$ Па, а также плотности Te , CuTiTe_2 , CuTiSe_2 . Для всех составов $\sigma(T)$ имеет общие закономерности. До некоторой температуры T_{a-m}^{σ} , присущей для каждого расплава, электропроводность описывается экспоненциальной зависимостью, после чего $\sigma(T)$ насыщается, что интерпретируется как переход полупроводник - металл. Металлизация наблюдается также на зависимостях $S(T)$. Совместный анализ данных по $\sigma(T)$ и $S(T)$ не подтверждает теоретически ожидаемого совпадения параметров энергетического спектра, определяемых отдельно по электропроводности и термо-э.д.с. В частности:

- температура металлизации T_{a-m}^{σ} , определенная из $S(T)$, всегда ниже T_{a-m}^{σ} .
- энергия активации $E^{\sigma}(0)$ не совпадает с $E^{\epsilon}(0)$.
- характерной особенностью является наличие изломов на зависимостях $\lg \sigma = f(T^{-1})$, которые отображают увеличение энергии активации проводимости от $E^{\sigma}(0)_1$ к $E^{\sigma}(0)_2$ при неизменной $E^{\epsilon}(0)$.
- вблизи перехода закономерно выполняется соотношение: $E^{\sigma}(0) > E^{\epsilon}(0)$.

Интерпретация высокотемпературного перехода "полупроводник - металл" проведена в рамках известной модели. Модель основана на выводах теории протекания и базируется на том, что в трехмерном пространстве существуют два порога: верхний и нижний. Поэтому, в реальных системах, в которых флуктуации потенциала являются следствием возрастающих с температурой микронеоднородностей, край подвижности формально расщепляется и образует энергетический интервал. Электропроводность формируется состояниями с энергией $E \approx E^{\sigma}$, а

термо-э.д.с. - $E \approx E_v^*$. При этом $E_F - E_v^* > E_F - E_v^*$ и эволюция их описывается выражениями, которые являются функциями температуры:

$$E_F - E_v^* = E^{\sigma}(0) - \gamma^{\sigma}T; \quad E_F - E_v^* = E^{*}(0) - \gamma^{*}T;$$

где $E^{\sigma}(0)$ и $E^{*}(0)$ - экстраполированные к 0 К значения расстояний E_v^* и E_v^* от E_F . γ^{σ} и γ^{*} - температурные коэффициенты, определяющие скорость смещения E_v^* и E_v^* к E_F .

В рамках положений о многоэлектронном экранировании свободными носителями локализованных, показано, что соотношение между γ^{σ} и γ^{*} определяется местонахождением E_v^* и E_v^* по отношению к области перекрытия зон. Вблизи перехода E_v^* и E_v^* находятся в области перекрытия, поэтому $\gamma^{\sigma} > \gamma^{*}$. При нагревании от области низких температур E_v^* и E_v^* находятся вне области перекрытия зон и пересекают ее низкоэнергетическую границу последовательно: сначала E_v^* , а потом E_v^* . На эксперименте это отражается как кажущееся возрастание $E^{\sigma}(0)$, а потом $E^{*}(0)$. Для подтверждения модельных представлений нами выполнены расчеты числа Лоренца и электронной составляющей теплопроводности.

Показано, что модель не может описывать электронные процессы в жидких полупроводниках, в которых структура энергетического спектра электронов нетривиальна, не укладывается в рамки моделей Мотта - Андерсона. Это имеет место в расплавах Cu_2Te , Cu_2Se , в которых энергетический спектр деформирован за счет влияния 3d - электронов меди.

Четвертая глава посвящена изучению концентрационного перехода "полупроводник - металл" и исследованиям закономерностей высоко-температурного обратного перехода "металл - неметалл".

Объектами исследований выбраны сплавы $Cu_x(CuAsSe_2)_{1-x}$ ($x=0.2, 0.4, 0.6, 0.65, 0.70, 0.72, 0.74, 0.76, 0.78, 0.80$). Электропроводность и термо-э.д.с. измерены в широком интервале температуры

до 2000 К и давлений 4 - 4.5 · 10⁷ Па.

Показано, что в области концентраций $x \leq 0.70$ наблюдается плавный переход "полупроводник - металл" характерный для жидких полупроводников с тривиальным энергетическим спектром (см. гл.3). В расплаве с $x=0.70$ наблюдается экспоненциальная зависимость электропроводности при "металлическом" поведении термо-э.д.с. В интервале концентраций $0.72 \leq x \leq 0.80$ поведение $\sigma(T)$ и $S(T)$ не укладываются в рамки известных моделей, что объяснено сильным влиянием 3d - зоны меди на формирование энергетического спектра электронов.

Эти результаты проинтерпретированы исходя из кинетических уравнений Больцмана с использованием элементов теории протекания. Показано, что термо-э.д.с. в этом случае задается выражением:

$$S = \frac{\beta(x)}{\alpha(x)}$$

Приближение к порогу протекания с металлической стороны дает одинаковые изменения $\beta(x)$ и $\alpha(x)$. Поэтому:

$$S = \frac{\beta(x)}{\alpha(x)} = \text{const} \quad \text{при } x > x_c$$

Основываясь на вышеприведенной формуле, можно сделать вывод, что на пороге протекания $S(x)$ уже металлизирована, тогда как зависимость $\alpha(x)$ еще сильна.

Заслуживает внимания поведение электропроводности и термо-э.д.с. при дальнейшем нагревании выше температуры полной металлизации полупроводникового расплава $\text{Cu}_x(\text{CuAl}_2\text{Se}_2)_{1-x}$. В этой области с ростом температуры σ уменьшается а S возрастает до типично полупроводниковых значений. Таким образом, эксперимент показывает, что повышение температуры сопровождается обратным переходом "металл - полупроводник". Энергия активации проводимости в этом температурном интервале приобретает отрицательные значения. Качественно это

явление можно проинтерпретировать следующим образом: электропроводность и термо-э.д.с. соответствует выражениям:

$$\alpha(T) = \alpha_0 \exp\left\{-\frac{E(0) + 2\gamma T}{2k_B T}\right\};$$

$$S(T) = -k_B / e \left\{ \frac{E(0) + 2\gamma T}{2k_B T} \right\};$$

где $E(0)$ - экстраполированное в отрицательную область значение формальной ширины псевдощели по подвижности при $T=0$, γ - температурный коэффициент. Отсюда следует, что дальнейшее нагревание расплава, после его металлизации, приводит к восстановлению псевдозавоора и расширению его по закону:

$$E_p - E_v = E(0) + \gamma T$$

Показано, что обратный переход "металл - полупроводник" происходит сначала по электропроводности, а затем по термо-э.д.с. Интересно, что параметры прямого и обратного перехода "полупроводник - металл - полупроводник" укладываются в рамки концепции о минимальной металлической проводимости с учетом некоторых новых положений.

Вторая часть главы посвящена изучению перехода к металлической проводимости полупроводниковых расплавов с наличием одновременно двух типов носителей заряда - электронов, дырок и также в присутствии ионного вклада в проводимость. Для изучения указанной проблемы выбрана система $Tl-S_{\infty}$. Экспериментальные результаты показаны на рис. 2. Неожиданным является поведение расплава стехиометрической концентрации Tl_2S_{∞} . Во всем изученном интервале электропроводность сохраняет свойственную для собственных полупроводников экспоненциальную зависимость с энергией активации $2E^{\circ}(0) = 0.96$ эВ. Термо-э.д.с. при этом монотонно уменьшается и почти достигает ме-

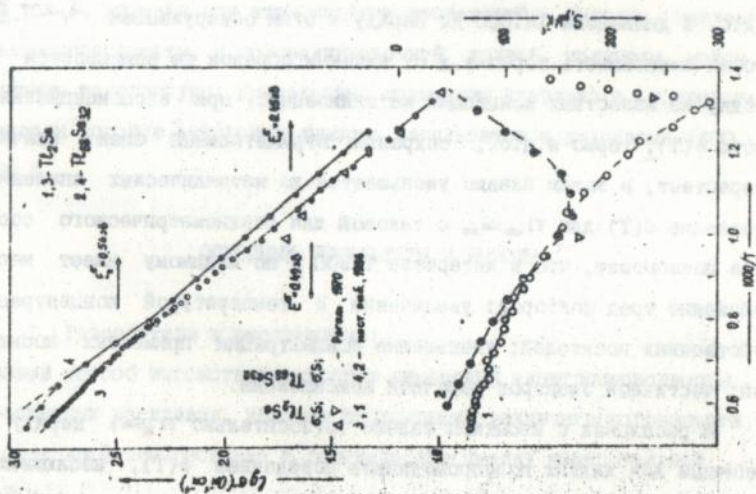
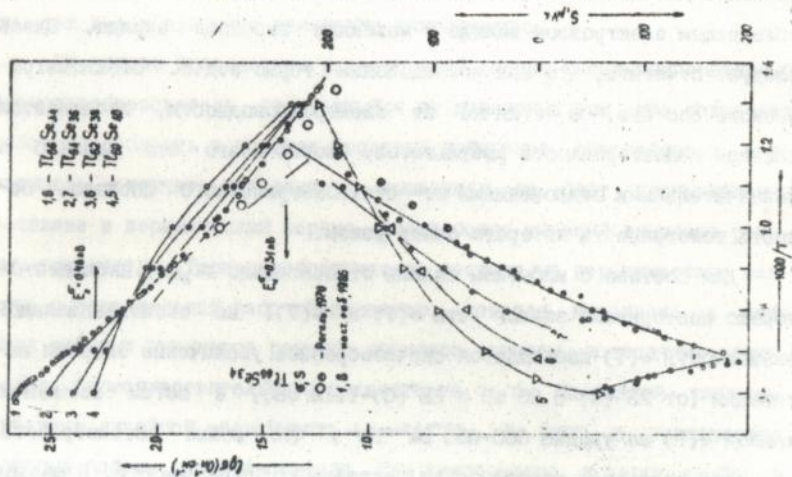


Рис. 2. Электропроводность и термо-э.д.с. расплавов Ti-Se.

таллических значений. Ее отрицательный знак свидетельствует о преобладающем электронном вкладе в механизм переноса заряда. Здесь следует отметить, что при исследовании термо-э.д.с. стехиометрического состава, в отличие от электропроводности, наблюдается сильная неповторяемость результатов. Скорее всего это связано с незначительными отклонениями от стехиометрического состава, область гомогенности которого очень узкая.

Для состава с избытком таллия относительно Tl_2Se наблюдается хорошо повторяемые зависимости $\sigma(T)$ и $S(T)$: на экспоненциальной зависимости $\sigma(T)$ наблюдается скачкообразное увеличение энергии активации (от $2E^{\sigma}(0)=0.90$ эВ. к $2E^{\sigma}(0)=1.12$ эВ), а затем насыщение кривой $\sigma(T)$ на уровне $600-650 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, что можно рассматривать как доказательство металлизации расплава по проводимости. В пользу металлизации свидетельствует также абсолютная величина термо-э.д.с. в диапазоне $T \geq 1000 \text{ K}$. Наряду с этим обнаруженная "V"- подобная зависимость термо-э.д.с. никаким образом не вписывается ни в одну из известных концепций металлизации: при экспоненциальном росте $\sigma(T)$, термо-э.д.с., сохраняя отрицательный знак, сначала возрастает, а затем плавно уменьшается до металлических значений. Сравнение $S(T)$ для $Tl_{0.9}Se_{1.1}$ с таковой для стехиометрического состава показывает, что в интервале $T \geq 900 \text{ K}$ по видимому имеет место наложение трех факторов: увеличение с температурой концентрации собственных носителей; уменьшение концентрации примесных носителей; частичной электрон-дырочной компенсации.

В расплавах с избытком селена (относительно Tl_2Se) наряду с типичным для жидких полупроводников поведением $\sigma(T)$, наблюдается весьма сложные зависимости $S(T)$. В работе это объясняется эффектом электрон-дырочной компенсации, причем соотношение между парциаль-

ными вкладами может изменяться как вследствие изменения температуры, так и в результате изменения концентрации.

На основе проведенных исследований создан высокотемпературный термопреобразователь, отличающийся от известных тем, что сохраняет работоспособность в потоках тепловых нейтронов, обеспечивает возможность исключить погрешность вызванную за счет проникновения расплава в керамический корпус, имеет более широкий диапазон рабочих температур. Термопреобразователь состоит из керамического корпуса с вертикальной рабочей полостью, которая выполнена в виде двух соосных цилиндров разного диаметра, системы подводных электродов, термочувствительного элемента из Cu_2Te . Последний характеризуется линейной зависимостью $I_{до} = f(T^{-1})$. В этом и заключается принцип работы преобразователя. При температуре, которую необходимо измерить, по термочувствительному элементу пропускают стабильный ток I , измеряя при этом падения напряжений. Находим значение электропроводности, и по градуировочной кривой получаем искомое значение температуры. Проведенные испытания указанного устройства показали хорошую воспроизводимость результатов в диапазоне 1400 - 1980 К.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны и реализованы:

- новый способ высокотемпературных измерений электропроводности агрессивных расплавов, впервые позволивший исключить погрешности за счет диффузии расплава в керамическую стенку измерительной ячейки;
- методика высокотемпературных измерений плотности агрессивных

расплавов γ - методом.

2. Впервые в широком интервале температур (до 2000 К) и давлений (до $4.6 \cdot 10^7$ Па) выполнены комплексные измерения электропроводности и термо-э.д.с.:

- T_1 -компонентных расплавов с преобладающим "классическим" механизмом электронной проводимости: $CuTiTe_2$, $CuTiSe_2$, $CuAsTe_2$, $CuAsSe_2$, $TlAsTe_2$, $TlAsSe_2$;

- сложных расплавов с предполагаемым вкладом $3d$ - зоны меди в формирование электронного спектра: Cu_2Te и Cu_2Se и псевдодвухкомпонентной системы $Cu_x(CuAsSe_2)_{1-x}$.

- двухкомпонентных расплавов $Tl-Se$ с одновременно существующими электронным, дырочным и ионными вкладами в процессы переноса.

3. Проведены измерения температурной зависимости плотности в расплавах $CuTiTe_2$, $CuTiSe_2$.

4. На основе установленных корреляций между электропроводностью и термо-э.д.с. показано, что независимо от объекта ширина температурного интервала, в котором происходит переход "полупроводник - металл", пропорциональна средней температуре перехода.

5. Впервые обнаружены и изучены закономерности корреляции электропроводности и термо-э.д.с. при обратном переходе "металл-неметалл", который наблюдается вследствие значительных перегревов выше температуры металлизации. Предложена модель этого перехода, согласно которой вследствие сильного теплового расширения в расплаве происходит локализация электронов. Таким образом вновь формируется линейно расширяющаяся с температурой псевдощель по подвижности с размытыми краями, предопределяющая корреляцию между электропроводностью и термо-э.д.с., аналогичную той, которая имеет место в прямом переходе.

6. Изучена корреляция электропроводности и термо-э.д.с. при изотермическом концентрационном переходе "нем. галл - металл". Экспериментально показано, что переход на изотермах термо-э.д.с., по сравнению с изотермами электропроводности проявляется при меньших концентрациях металла.

7. Впервые изучены закономерности металлизации жидких полупроводников со смешанной проводимостью. Предложена модель, согласно которой:

- в результате эффекта электронно-дырочной компенсации поведение термо-э.д.с. в широком интервале температуры существенно отклоняется от "классической зависимости".
- ионный вклад заметно увеличивает электропроводность, вследствие чего в определенном температурном интервале заметно искажается экспоненциальная зависимость проводимости.
- с повышением температуры ионный вклад уменьшается и практически исчезает в металлическом состоянии.

8. Создан высокотемпературный термопреобразователь, термочувствительный элемент которого выполнен из расплава Cu_2Te . Новизна разработки защищена авторским свидетельством №1503467.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. Соколовский В.И., Склярчук В.М., Манукян А.Л., Дидух В.П. Электронные свойства соединений $CuTiSe_2$, $CuTiS_2$, $CuTiTe_2$ в жидком и аморфном состоянии. Тезисы в Всесоюзной конференции по строению и свойствам металлических и илаковых расплавов. - Свердловск, 1983, ч.2, 280-282.
2. Алексеев В.А., Басиц А.С., Соколовский В.И., Ставкус С.В.,

Склярчук В.М., Дидух В.П. Перколяционный переход металл-неметалл в расплавах Te и $In_{1-x}Te_x$. Тезисы V Всесоюзной конференции по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов. - Свердловск, 1983, ч.2, 283-285.

3. Prokhorenko V. Ya., Sokolovskii B. I., Aleksseev V. A., Basin A. S., Stankus S. V. and Sklyarchuk V. M. The Semiconductor-Metal Transition in Liquid Tellurium. - Phys. stat. sol. (b), 1982, II3, 453-458.

4. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П. Электронные и тепловые свойства сплавов в жидком и твердом состояниях. Особенности измерений. Тезисы III Всесоюзной конференции по закономерностям формирования структуры сплавов эвтектического типа. - Днепропетровск, 1986, ч.2, с.162-163.

5. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Евстигнеев А.И., Захарьяш А.С. Термодинамические и электронные свойства особо чистого теллура в жидком и твердом состояниях. - В книге: Доклады III Всесоюзной конференции "Термодинамика и материаловедение полупроводников", т. II, Москва, 1986, с.48-49.

6. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П., Станкус С.В. Электронные и теплофизические свойства двойных и тройных халькогенидов в широком интервале температуры и при высоких давлениях. - В книге: Доклады III Всесоюзной конференции "Термодинамика и материаловедение полупроводников", т. II, Москва, 1986, с.65-66.

7. Склярчук В.М. Зависимость ширины псевдозазора по подвижности от плотности тока в жидком полупроводнике. В книге: Научные сообщения VI Всесоюзной конференции по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов. - Свердловск, 1986, ч.2

8. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П. Переход полупроводник - металл в расплавах ($Cu_{1-x}Se_x$) - Cu. В книге: Научные сообщения VI Всесоюзной конференции по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов. - Свердловск, 1986, ч.2, 410-411.
9. Соколовский Б.И., Дидух В.П., Склярчук В.М., Ракус И.С., Омельченко В.О. О неоднородности состава несмешивающихся фаз жидких двойных сплавов с ограниченной растворимостью компонентов. В книге: Доклады научно-технического семинара "Ближний порядок в металлических расплавах и структурно-чувствительные свойства вблизи границ устойчивости фаз. - Львов, 1988, с.82.
10. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П., Ракус И.С., Плевачук Ю.О. Закономерности переходов "полупроводник-металл-неметалл" в простых и сложных жидких полупроводниках. Особенности измерений. В книге: Доклады научно-технического семинара "Ближний порядок в металлических расплавах и структурно-чувствительные свойства вблизи границ устойчивости фаз - Львов, 1988, с.83.
11. Склярчук В.М. Переход к металлическому типу проводимости в расплавах $Tl-Se$. В книге: Тезисы научных сообщений по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов. - Челябинск, 1990, т.2, ч.3, с.325-328.
12. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П., Ракус И.С., Гринь Ю.Н. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 277909 от 01.07.1989.
13. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П., Гринь Ю.Н. Термопреобразователь. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 1503467 от 22.04.1989, МКИ.
14. Соколовский Б.И., Склярчук В.М., Дидух В.П., Ракус И.С. Пре-

образователь удельной электропроводности расплавов. Авторское
свидетельство СССР на изобретение № 1538148, от 15.09.1969.
МКИ G01R 27/32.



Подписано к печ. 22.06.92. Формат 60x84/16. Печать офсет. Бумага офсет.
Усл. п. л. I, 17. Усл. кр.-отт. I, 4. Уч.-изд. л. I, 0. Тираж 100 экз. Зак. 2834.
Бесплатно.

Областная книжная типография, 290000, Львов, ул. Стефаника, 11.

467082

Бесплатно

АВ 25.568

АВ 25.568

~~АВ~~

~~21~~