

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
СУМСКОЙ ФИЗИКО - ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 546.42:538.975

Игнатенко Виктория Михайловна

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ - ПОЛУПРОВОДНИК
В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ДИОКСИДА ВАНАДИЯ.

Специальность 01.04.07 - Физика твердого тела

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико - математических наук

СУМЫ - 1993



00814773 (U)

Робота виконана на кафе

Сумського фізико - технологічного інституту

НАУЧНІ РУКОВОДИТЕЛІ

доктор фізико - математических наук, професор А.І. Семененко

кандидат фізико - математических наук, доцент С.І. Кшнякіна
доктор фізико - математических наук Пучковская Г.А.

доктор фізико - математических наук, професор Федоренко А.І

Дніпропетровський державний університет

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОПОНЕНТЫ

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Защита диссертации состоится *2 июля* 1993 г.

в *14* час. на заседании специализованного ученого совета К 068.49.02 при Сумском физико - технологическом институте (244007, г. Сумы, ул. Римского - Корсакова, 2, ауд. *204*, корпус ЭТ).

Автореферат разослан *2 июля* 1993 г.

Ученый секретарь

специализированного совета
кандидат физико - математических наук

[Signature]
А.Я. Флат

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

В последнее время происходит интенсивное расширение теоретических и экспериментальных исследований в области изучения соотношения между металлическим и диэлектрическим состояниями в одном и том же по химическому составу конденсированном веществе. Интерес к данной проблеме вызван перспективами использования фазовых переходов металл - полупроводник в микроэлектронике, нелинейной оптике, лазерной технике и др. С этой точки зрения наиболее перспективной для практического применения фазового перехода металл - полупроводник является двуокись ванадия, поскольку в данном соединении это единственный фазовый переход такого рода, происходящий при температуре около 70°C. Для монокристаллов двуокиси ванадия установлено, что этот фазовый переход является структурным и сопровождается изменением кристаллической структуры от моноклинной в низкотемпературной фазе до структуры рутила в металлическом состоянии. Электропроводность при фазовом переходе увеличивается в 10^4 раз.

Несмотря на многочисленные исследования объемных образцов двуокиси ванадия, фазовый переход металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия до последнего времени практически не изучен. В имеющихся до настоящего времени исследованиях свойства двуокиси ванадия до и после фазового перехода, недостаточное внимание уделялось исследованию окрестности фазового перехода и собственно кинетике самого фазового перехода. Исследования тонких пленок двуокиси ванадия были затруднены в связи с отсутствием методов изготовления опытных образцов, высокочувствительной аппаратуры для их исследований и методов расчета оптических констант тонких поглощающих пленок на поглощающих подложках. Это препятствует использованию данного фазового перехода в технике и

технологии. Проведенные в настоящей работе экспериментальные исследования свойств тонких пленок двуокиси ванадия в инфракрасном и видимом диапазонах спектра расширяют круг изученных свойств фазового перехода металл - полупроводник, что в свою очередь раскрывает новые перспективы практического использования фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия.

Целью настоящей работы является всестороннее экспериментальное исследование высокочувствительными спектральными методами тонких пленок двуокиси ванадия, изготовленных различными способами, с целью обнаружения и изучения температурного фазового перехода металл - полупроводник. Выбор объекта исследования связан, с одной стороны, с практическим отсутствием детальных исследований фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия, а с другой стороны, с возможностью быстрой практической реализацией выявленных свойств двуокиси ванадия. Кроме того, стояла задача исследовать возможность применения для изучения фазового перехода полупроводник - металл в тонких пленках двуокиси ванадия одного из самых современных методов диагностики поверхности - метода ИК спектроскопии поверхностных электромагнитных волн.

Научная новизна работы состоит в том, что использование вышеуказанных методов исследования выбранных объектов позволило впервые получить следующие новые результаты:

в температурном интервале 20 - 110°C получены спектры ИК отражения пленок VO_2 (а для прозрачных образцов и пропускания) в области частот 500 - 5000 cm^{-1} . Методом дисперсионного анализа проведено их сравнение с расчетными спектрами, в результате чего в тонких пленках двуокиси ванадия было установлено наличие фазового перехода металл - полупроводник и выявлен его растянутый по

температуре характер. Измеренная ширина фазового перехода порядка 10° .

исследована кинетика фазового перехода металл - полупроводник. Выявлен характер изменения оптических постоянных, как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах спектра в процессе фазового перехода. В результате обнаружен гистерезис оптических свойств тонких пленок двуокиси ванадия в окрестности фазового перехода. Ширина гистерезиса на различных образцах составляет от 3 до 12° по температуре. Наличие гистерезиса свидетельствует о доменном характере данного фазового перехода. В процессе фазового перехода обнаружено аномально большое увеличение толщины окисной пленки по сравнению с объемными образцами.

использование для исследований фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия ИК спектроскопии поверхностных электромагнитных волн позволило установить перспективность и высокоинформативность данного метода для исследований подобных объектов

на основании полученных экспериментально результатов исследований монокристаллических пленок двуокиси ванадия на сапфировых подложках предложено их использование в качестве зеркал (в ИК диапазоне), коэффициент отражения которых может регулироваться температурой, а также в качестве термочувствительного элемента теплового реле для контроля технологических процессов.

Научные положения, являющиеся основой изобретения.

1. По спектрам ИК отражения в области "остаточных лучей" экспериментально установленное наличие фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия и его регулируемый по температуре характер.

2. Наличие гистерезиса оптических свойств в выбранных объектах.

3. Аномальное по сравнению с объемными образцами увеличение толщины тонких пленок двуокиси ванадия при фазовом переходе металл - полупроводник.

4. Характер изменения толщины окисной пленки и ее химического состава при термическом окислении образцов химически чистого ванадия и выбранный режим окисления с целью получения пленок двуокиси ванадия.

Практическая ценность.

Полученные в диссертации результаты расширяют круг экспериментальных исследований структурного фазового перехода в опытных образцах в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, уточняют научные представления о характере фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия. Проведенные экспериментальные исследования дают возможность прогнозировать оптические свойства тонких пленок двуокиси ванадия на различных подложках, характер изменения их свойств при фазовом переходе металл - полупроводник. Это может позволить создать и оптимизировать параметры оптического зеркала, коэффициент отражения которого в ИК области зависит от температуры. Кроме того, тонкие пленки двуокиси ванадия на прозрачных подложках могут служить в качестве термочувствительного элемента теплового реле используемого для контроля технологических процессов, в устройстве для сигнализации о пожарах и т. п.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на на VII (г. Одесса, сентябрь 1987 г.), IX (г. Тернополь, апрель 1989

г.), XI (г. Харьков, май 1993 г.) республиканских школах - семинарах "Спектроскопия молекул и кристаллов", X международной школе - семинаре "Спектроскопия молекул и кристаллов" (г. Сумы, апрель 1991 г.), а также докладывались на научных семинарах в институте спектроскопии (ИСАН) и физическом институте им. Лебедева (ФИАН) АН России.

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 8 печатных работах, перечень которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Диссертация содержит 126 страниц, в том числе 32 рисунка, 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, кратко изложено содержание работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава "Исследование фазовых переходов металл - полупроводник различными методами" содержит литературный обзор основных сведений о фазовых переходах металл - изолятор, а также о методах исследования структурного фазового перехода полупроводник - металл, применяемых ранее для изучения образцов поли- и монокристаллического оксида ванадия.

В параграфе 1. описаны свойства фазового перехода металл - неметалл, указаны методы исследования таких объектов. Во втором параграфе рассмотрены вопросы, связанные с фазовыми переходами металл - полупроводник в соединениях переходных металлов, дается их классификация и приводятся результаты экспериментальных

исследований. Третий параграф данной главы посвящен оптическим методам исследования фазового перехода металл - полупроводник в моно- и поликристаллических образцах двуокиси ванадия. В заключение сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе "Методики эксперимента" описаны методики эксперимента (Методы Фурье - спектроскопии, ИК спектроскопии поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ), а также метода эллисометрии), которые использовались при проведении экспериментов в данной работе. В первом разделе второй главы описан метод нулевой эллисометрии отражения, с помощью которого изучались оптические свойства тонких пленок двуокиси ванадия при фазовом переходе металл - полупроводник в видимом диапазоне спектра. Этот метод позволяет неразрушающим способом определять оптические постоянные поглощающих пленок на поглощающих подложках. В данном разделе представлена схема экспериментальной установки, а также изложены оригинальные методы расчета оптических параметров опытных образцов в предположении модели однородной поглощающей пленки на однородной поглощающей подложке.

Во втором параграфе второй главы описан один из наиболее современных методов исследования поверхностных свойств конденсированного вещества - метод ИК спектроскопии поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Данный метод позволяет определять действительную и комплексную части диэлектрической проницаемости вещества в инфракрасном диапазоне спектра. Представлена принципиальная схема экспериментальной установки, действие которой основано на анализе характеристик объемных волн. Для исследования фазового перехода металл - полупроводник этот метод был использован впервые и оказался очень эффективным.

В третьем разделе описан метод отражательно - абсорбционной спектроскопии (ОАС Фурье - спектроскопии), которая осуществлялась

с помощью двухзеркальной приставки к фурье - спектрометру Michelson 110 (фирма BOMEM), обеспечивающей скользкое падение света на образец под углом 88° . Метод ОАС позволил получить спектры отражения опытных образцов в ИК диапазоне спектра в области "остаточных" лучей. Приведена принципиальная схема фурье - спектрометра, а также описан принцип действия экспериментальной установки. Отмечается высокая чувствительность фурье - спектрометра используемого в данной работе. Так, чувствительность по частоте составляет $0,1 \text{ см}^{-1}$, а по измерению коэффициента отражения 0,01.

В третьей главе "Эллипсометрия фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия" представлены результаты экспериментальных исследований тонких пленок двуокиси ванадия, полученных различными способами. В первом параграфе третьей главы приведены результаты эллипсометрических исследований тонких пленок двуокиси ванадия, полученных термическим окислением ванадия, нанесенного методом электронно - лучевой эпитаксии на стеклянные подложки. В интервале температур $20 - 110^\circ\text{C}$ были получены термические зависимости эллипсометрических параметров ψ и Δ . В предположении однородной одослойной модели (метод расчета изложен во втором параграфе) определены оптические постоянные тонких пленок двуокиси ванадия, а также их изменение в процессе фазового перехода полупроводник - металл. Отмечается гистерезис оптических свойств, ширина которого составляет $7 - 10^\circ\text{C}$.

В третьем разделе третьей главы представлены результаты эллипсометрических исследований тонких пленок двуокиси ванадия, полученных термическим окислением монокристаллических образцов химически чистого ванадия. Изучена кинетика окисления ванадия, выбран оптимальный режим окисления, позволяющий получать практически безпримесные пленки двуокиси ванадия в интервале

толщин от 200 до 1400 нм. В спектрах отражения таких пленок отсутствуют линии поглощения соответствующие другим окислам ванадия (кроме незначительных примесей аморфного окисла V_2O_5). Произведен расчет оптических постоянных пленок и получены их термические зависимости в процессе фазового перехода. Оригинальный метод расчета изложен в четвертом параграфе.

В пятом параграфе третьей главы представлены результаты анализа эллипсометрических исследований кинетики фазового перехода полупроводник - металл в тонких пленках двуокиси ванадия на ванадиевых поли- и монокристаллических подложках. Расчитана величина диэлектрической проницаемости до фазового перехода ($\epsilon = 8 - i 1.69$ - для пленки двуокиси ванадия на монокристалле и $\epsilon = 7.64 - i 2.8$ - для окисной пленки на поликристаллической подложке) и после ($\epsilon = 4.8 - i 2.0$ - для монокристалла с окисной пленкой и $\epsilon = 4.5 - i 3.4$ - для окисла на поликристаллическом образце) фазового перехода. Обнаружено значительное (порядка 5 - 6%) увеличение толщины окисной пленки при фазовом переходе, что намного превышает увеличение толщины объемных образцов (на 0.2 - 0.5%). В предположении однородной однослойной модели расчитаны коэффициенты преломления и поглощения тонких пленок двуокиси ванадия на поли- и монокристаллических ванадиевых подложках. На рис.1 представлены термические зависимости коэффициентов преломления и поглощения для пленки двуокиси ванадия толщиной 35 нм. Из рисунков видно, что исследуемый фазовый переход в выбранных объектах является размытым по температуре с шириной перехода порядка 10° . В окрестности фазового перехода наблюдается гистерезис оптических свойств. По величинам коэффициентов преломления и поглощения расчитан коэффициент отражения тонких пленок двуокиси ванадия в видимом диапазоне. Он составляет приблизительно 42 - 44% и остается постоянным в процессе фазового перехода полупроводник - металл в

пределах чувствительности эксперимента.

В четвертой главе "Исследование фазового перехода полупроводник - металл в тонких пленках двуокиси ванадия в ИК области спектра" представлены результаты экспериментальных исследований тонких пленок двуокиси ванадия в ИК диапазоне спектра методами отражательно абсорбционной спектроскопии (ОАС) и спектроскопии поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). В первом параграфе этой главы изложены результаты исследования методом ОАС опытных образцов изученных ранее в видимом диапазоне (гл. III). Изменение температуры опытного образца проводилось с помощью специально сконструированной печи. Температура образца контролировалась с помощью термопары медь - константан, закрепленной на поверхности исследуемого образца. Падающее на образец излучение было поляризовано в плоскости падения. Получены спектры отражения в области $400 - 5000 \text{ см}^{-1}$. Интерес представляет часть спектра в области полосы поглощения двуокиси ванадия ($\nu = 800 \text{ см}^{-1}$). На рис. 2а представлены спектры отражения для нескольких значений температуры образца поликристаллического ванадия с окисной пленкой толщиной 125 нм. Видно, что интенсивность полосы поглощения, присутствующей в спектр ИК отражения двуокиси ванадия в низкотемпературной фазе, при нагреве образца постепенно уменьшается. Выше температуры 55° C данная полоса поглощения исчезает. Это свидетельствует о том, что исследуемая окисная пленка из полупроводниковой фазы переходит в металлическую. В спектрах некоторых образцов наблюдается полоса $\nu = 1050 \text{ см}^{-1}$, которая принадлежит окислу V_2O_5 , также присутствующему в небольшом количестве в окисной пленке. Интенсивность этой полосы поглощения не изменяется с изменением температуры. По экспериментальным спектрам построена зависимость интенсивности полосы поглощения от температуры образцов (рис. 2б).

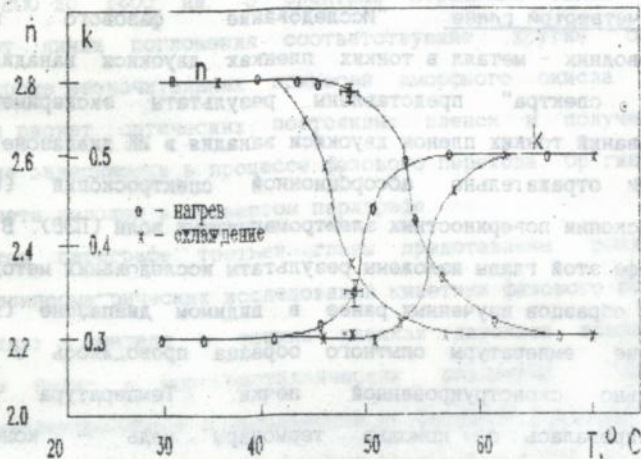


Рис. 1. Термическая зависимость: коэффициента преломления (n) (поглощения (k)) тонкой пленки двуокиси ванадия ($d=35$ нм). $\lambda = 632,8$ нм.

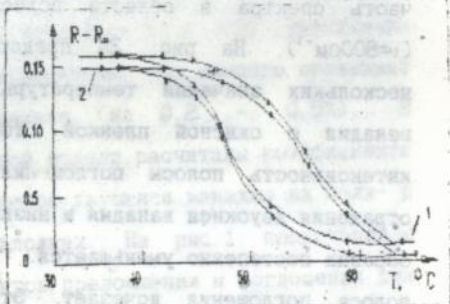
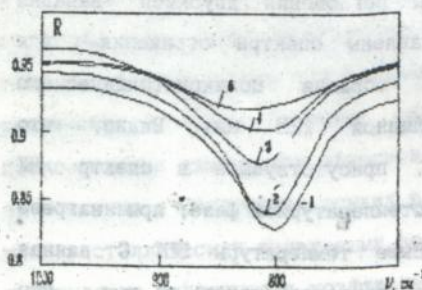


Рис. 2. а - Спектры отражения пленки VO_2 ($d = 125$ нм) на поликристаллической подложке для разных температур: 1 - 33° , 2 - 52° , 3 - 56° , 4 - 58° , 5 - 60° ;

Рис. 2. б - Температурные зависимости интенсивности полосы поглощения в спектрах отражения ванадиевых образцов с пленкой VO_2 : 1 - моно- ($d = 134$ нм) и 2 - поликристалла ($d = 125$ нм).

○ - нагрев, ● - охлаждение.

Наблюдается гистерезис со смещением температуры перехода полупроводник - металл в окисной пленке около 10° . Из анализа спектров, представленных на рис. 2а следует, что изменение коэффициента отражения в процессе фазового перехода четко прослеживается только в полосе поглощения двуокиси ванадия. При удалении от этой полосы в пределах точности эксперимента изменение коэффициента отражения не наблюдается.

Во втором параграфе четвертой главы представлены результаты исследования тонких пленок двуокиси ванадия методом фазовой спектроскопии ПЭВ. С помощью данного метода были определены оптические постоянные тонких пленок двуокиси ванадия вне полос поглощения на частоте генерации CO_2 -лазера ($\nu = 943 \text{ см}^{-1}$). Поверхностная электромагнитная волна (поверхностный поляритон) возбуждалась на поверхности исследуемого образца излучением CO_2 -лазера, сфокусированным на щель между образцом и лезвием (рис. 3). ПЭВ доходит до края образца и излучается, при этом наблюдается интерференция этого излучения и излучения, которое проходит под лезвием. По положениям интерференционных максимумов можно определить разность величин волновых векторов объемного излучения и ПЭВ ($\text{Re } n_{\text{п}}$). Изучено угасание поверхностного поляритона при его распространении вдоль поверхности опытного образца и определена действительная часть эффективного показателя преломления ПЭВ. Это позволило определить оптические постоянные исследуемых образцов на частоте генерации CO_2 -лазера ($\nu = 943 \text{ см}^{-1}$). Получены интерференционные кривые для различных температур образца поликристаллического ванадия с окисной пленкой. По кривым была определена величина $\text{Re } n_{\text{п}}$ (рис. 3а). Из рис. 3а видно, что при фазовом переходе в тонкой пленке наблюдается гистерезис оптических свойств двуокиси ванадия. Используя значения оптических постоянных ванадия, измеренных до окисления, рассчитано изменение

диэлектрической проницаемости окисной пленки при фазовом переходе вне полосы положения CO_2 -лазера на частоте $\nu = 943 \text{ см}^{-1}$. Результаты расчетов представлены на рис. 3б. Толщины окисных пленок определялись с помощью метода эллипсометрии в видимом диапазоне ($\lambda = 632.8 \text{ нм}$) и по расчетным спектрам. Исследованы пленки в интервале 30 - 135 нм.

В третьем параграфе анализируются результаты экспериментальных исследований пленок двуокиси ванадия методами отражательно абсорбционной спектроскопии (ОАС) и спектроскопии поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Для расчета экспериментальных спектров ИК отражения использованы оптические постоянные монокристалла ванадия, приведенные в работе (Barker A.S., Jr., Verleur H.W., Guggenheim H.J. // Phys. Rev. Lett. 1966. V.17. N 26. P.1286.), которые затем варьировались с помощью метода дисперсионного анализа до совпадения экспериментального и расчетного спектров. Для этого оказалось достаточно изменить параметры третьего осциллятора с $\omega = 600$, $4\pi\epsilon = 4,8$ и $\gamma = 0,074$ до $\gamma = 0,175$. Определенная эллипсометрически и по расчетному спектру толщина пленки двуокиси ванадия затем использовалась при расчетах диэлектрических постоянных по ПЭВ-измерениям. Действительная часть диэлектрической проницаемости, найденная с помощью метода фазовой спектроскопии ПЭВ на частоте генерации CO_2 -лазера оказалась равной 30 ± 2 , причем значение этой величины одинаково для пленок различной толщины как на монокристаллической, так и на поликристаллической подложках.

Ниже температуры фазового перехода спектр отражения VO_2 является коллательным спектром характерным для диэлектрика. Выше этой температуры структура спектра отражения постепенно изменяется, исчезает полоса поглощения $\nu = 800 \text{ см}^{-1}$, что свидетельствует о постепенной металлизации пленки двуокиси

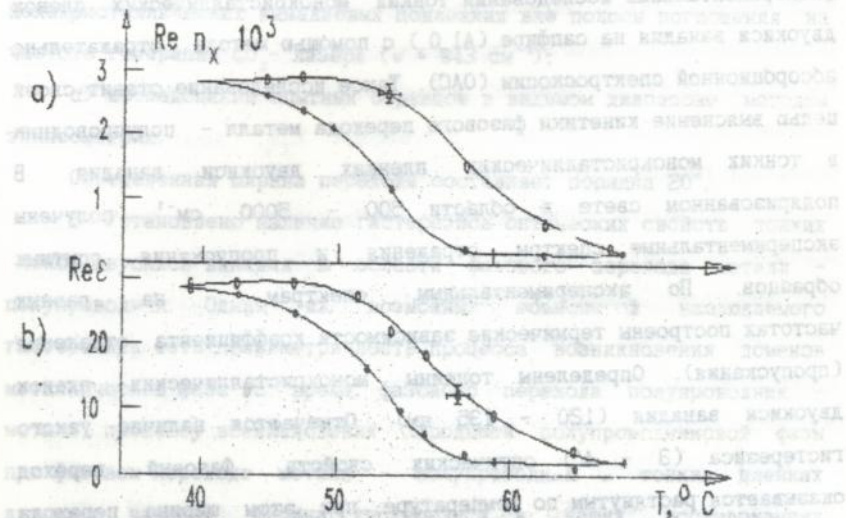


Рис. 3. Температурная зависимость: а - эффективного показателя преломления ПЭВ на поликристалле с пленкой двуокиси ванадия ($d = 80$ нм) ; б - действительной части диэлектрической проницаемости пленки на частоте 943 см^{-1} при фазовом переходе: •-нагрев, •-охлаждение.

ванадия. Согласно ПЭВ-измерениям пленка двуокиси ванадия в низкотемпературной фазе является диэлектриком с большим положительным значением диэлектрической проницаемости ϵ . При температуре выше фазового перехода величина диэлектрической проницаемости резко уменьшается, что свидетельствует о наличии у исследуемого объекта металлических свойств. В высокотемпературной фазе пленка двуокиси ванадия является "лсхим" металлом с малой электропроводностью.

В четвертом параграфе данной главы представлены результаты экспериментальных исследований тонких монокристаллических пленок двуокиси ванадия на сапфире (Al_2O_3) с помощью метода отражательно-абсорбционной спектроскопии (ОАС). Такое исследование ставит своей целью выяснение кинетики фазового перехода металл - полупроводник в тонких монокристаллических пленках двуокиси ванадия. В поляризованном свете в области $500 - 5000 \text{ см}^{-1}$ получены экспериментальные спектры отражения и пропускания опытных образцов. По экспериментальным спектрам на разных частотах построены термические зависимости коэффициента отражения (пропускания). Определены толщины монокристаллических пленок двуокиси ванадия (120 - 135 нм). Отмечается наличие узкого гистерезиса ($3 - 4^\circ$) оптических свойств. Фазовый переход оказывается растянутым по температуре, при этом ширина перехода составляет около 10° , как и для пленок двуокиси ванадия, полученных термическим способом на поли- и монокристаллических подложках химически чистого ванадия.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.

В диссертации:

1. Определен растянутый по температуре характер фазового перехода полупроводник - металл в выбранных объектах исследования на основе анализа:

а) впервые полученных методом отражательно-абсорбционной спектроскопии (ОАС) спектров ИК отражения тонких пленок двуокиси ванадия на моно- и поликристаллических ванадиевых подложках;

б) спектров ИК отражения и пропускания тонких монокристаллических пленок двуокиси ванадия на сапфировых подложках;

в) определенных методом ИК спектроскопии поверхностных

электромагнитных волн (ПЭВ) термических зависимостей оптических постоянных тонких пленок двуокиси ванадия на моно- и поликристаллических ванадиевых подложках вне полосы поглощения на частоте генерации CO_2 -лазера ($\nu = 943 \text{ см}^{-1}$);

с) исследований опытных образцов в видимом диапазоне методом эллисометрии.

Определенная ширина перехода составляет порядка 20° .

2. Установлено наличие гистерезиса оптических свойств тонких пленок двуокиси ванадия в области фазового перехода металл - полупроводник. Одним из возможных объяснений наблюдаемого гистерезиса есть несимметричность процесса возникновения доменов металлической фазы во время фазового перехода полупроводник - металл, процессу возникновения зародышей полупроводниковой фазы при фазовом переходе металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия. Ширина гистерезиса в наших исследованиях составила от 3° для монокристаллической пленки двуокиси ванадия на сапфире до $10 - 12^\circ$ для окисных пленок на моно- и поликристаллических ванадиевых подложках. Эллисометрические исследования в видимом диапазоне подтверждают полученные результаты.

3. Выявлено в результате эллисометрических исследований в видимом диапазоне спектра ($\lambda = 632,8 \text{ нм}$) аномальное увеличение толщины тонких пленок двуокиси ванадия при фазовом переходе металл - полупроводник на $5 - 6 \%$. Это значительно (в $20 - 25$ раз) превышает аналогичные изменения в объемных образцах двуокиси ванадия. Такое "аномальное" изменение толщины пленок при фазовом переходе объяснимо лучшей когезией термически выращенных оксидов.

4. Определен оптимальный режим окисления ванадия с целью получения пленок двуокиси ванадия. В результате изучения кинетики окисления ванадия обнаружено, что линейное увеличение толщины

окисной пленки наблюдается до толщины порядка 150 нм. При дальнейшем окислении увеличение толщины оксида замедляется, начинает изменяться его химический состав, пленка обогащается кислородом. В спектрах ИК отражения таких образцов исчезает полоса поглощения соответствующая двуокиси ванадия (800 см^{-1}) и появляется полоса (1000 см^{-1}) поглощения V_2O_5 , исчезающая при изменении температуры.

Е. На основе исследований фазового перехода в тонких пленках двуокиси ванадия на прозрачных подложках предлагается практическое применение выбранных объектов для создания ИК зеркал, коэффициент отражения которых можно регулировать изменением температуры, термочувствительного элемента теплового реле, используемого для контроля технологического цикла или в устройствах для сигнализации о пожарной опасности.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Алиева Е. В., Игнатенко В. М., Кшнякина С. И., Яковлев В. А. Инфракрасная спектроскопия окрестности фазового перехода в тонких пленках диоксида ванадия. - Поверхность, 1992, N 9, с. 52-56.

2. Игнатенко В. М., Кшнякина С. И., Яковлев В. А. Влияние температуры на спектр ИК отражения монокристаллической пленки двуокиси ванадия на сапфире. - в сб. "Современные проблемы прикладной физики". К.: УМК ВО, 1992, с. 179-183.

3. Игнатенко В. М., Кшнякина С. И. Исследование фазового перехода металл-полупроводник в тонких пленках двуоксида ванадия методом эллипсометрии. - в сб. "Современные проблемы прикладной физики". К.: УМК ВО, 1992, с. 183-187.

4. Кшнякина С. И., Игнатенко В. М. Гистерезис оптических свойств диоксида ванадия вблизи точки фазового перехода металл - полупроводник. - в сб. "Оптическая спектроскопия". - К.: ИФ АНУ, 1993,

- Ч. II. - С. 87 - 89.

5. Игнатенко В. М., Кшнякина С. И. Исследование тонких пленок двуокиси ванадия методом поверхностных электромагнитных волн. - Научно - техническая конференция преподавателей, сотрудников и студентов СФТИ: Тезисы докладов. - Сумы, 1993. - С. 121.

6. Игнатенко В. М., Кшнякина С. И. Исследование фазового перехода металл - полупроводник в тонких пленках двуокиси ванадия методом спектроскопии ПЭВ. - XI республиканская школа - семинар "Спектроскопия молекул и кристаллов": Тезисы докладов. - К., 1993. - С. 149.

7. Кшнякина С. И., Игнатенко В. М. Исследование оптических свойств двуокиси ванадия методом эллипсометрии. - принято к печати в УФЖ.

8. Игнатенко В. М., Кшнякина С. И., Яковлев В. А. ИК - спектроскопия окрестности фазового перехода полупроводник - металл в монокристаллической пленке двуокиси ванадия на сапфире. - принято к печати в УФЖ.

