

Національна Академія наук України
ДОНЕЦЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

ГЕШКО Остап Михайлович

Фізичні властивості молекулярних шарів та анодноокисних плівок
на поверхні деяких твердих тіл

01.04.07 - фізика твердого тіла

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеню
доктора фізико-математичних наук

Київ - 1994

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00778667 (+)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті фізики напівпровідників НАН України

Офіційні опоненти: Член-кореспондент НАН України, доктор
фізико-математичних наук, професор
ШЕГНКМАН МОЙСЕЙ КІВОВИЧ,
Доктор фізико-математичних наук, професор
БАЖИН АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ
Доктор фізико-математичних наук, професор
БАСС ФРІДРІХ ГЕРШОНОВИЧ,

Провідна установа: Інститут монокристалів НАН України

Захист відбудеться 5 липня 1994 р. о "11³⁰" години на засіданні
спеціалізованої ради Д016.32.01 при Донецькому фізико-технічному
інституті НАН України (3400114, Донецьк-114, вул. Р.Луксембург, 72)

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Дон ЦТІ НАН України

Автореферат розіслано "___" _____ 1994р.

Вчений секретар спеціалізованої ради Д016.32.01,
кандидат фіз.-мет. наук

Соловійов Ю.С.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ТВ-30.402

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Інтенсивний розвиток мікроелектроніки та інтегральної оптики вимагає все більшої мініятуризації електронних та оптоелектронних пристроїв. Однак подальше зменшення розмірів активних елементів електронних пристроїв обмежується принциповими фізичними границями. Це осумовило необхідність розробки та пошуку нових технологій на молекулярному рівні, стимулювало широкі дослідження фізики поверхневих явищ у напівпровідниках, на межах поділу напівпровідник - діелектрик, метал - напівпровідник, метал - діелектрик - напівпровідник, діелектрик - шар адсорбованого барвника. Крім того, в останні п'ять-шість років у зв'язку з дослідженням високотемпературної надпровідності одержали імпульс дослідження поверхневих властивостей високотемпературних надпровідників (ВТНП).

Відкриття явища підсилення поверхнею комбінаційного розсіяння світла (зелетенське комбінаційне розсіяння світла (ВКР)), люмінесценції та інфрачервоного поглинання на молекулах, адсорбованих на поверхні металів, привело до значних успіхів у вивченні фізики взаємодії молекул з поверхнею твердого тіла.

Практичне значення таких досліджень визначається їх широким використанням для сенсibiliзації фотоefекту, фотографії, розвитку безсрібряної електрофотографії. До недавнього часу більшість робіт у даній області проводилась на порошках, на які адсорбувалися молекули барвника. Такі системи, хоч і мають розвинену поверхню, мають істотний недолік, пов'язаний з тим, що в них (через велике

неоднорідне уширення) дослідження тонких характеристик взаємодії адсорбованих молекул з поверхнею кристала проводити набагато важче. З іншого боку, оскільки сучасна електроніка заснована на мікронних та субмікронних планарних технологіях, дослідження на порошках неперспективні з технологічної точки зору. Тому у даній роботі основна увага надається вивченню властивостей адсорбованих молекул на плоских поверхнях твердих тіл та твердотільних плітках.

Система "тверде тіло - тонкі плівки органічних молекул" є дуже перспективною для розвитку нового напрямку електроніки - молекулярної мікроелектроніки. Використання адсорбції дозволяє мобільно формувати названі структури, мати зручні моделі для вивчення механізмів взаємодії адсорбованих молекул барвника з поверхнею твердих тіл.

Таким чином, дослідження систем поверхня твердого тіла - адсорбовані молекули барвника являється актуальною задачею сучасної фізики і має велике практичне значення. Однак, до моменту початку дисертаційної роботи існувала невелика кількість публікацій, в яких вивчалась адсорбція барвників на поверхні монокристалів широкозонних напівпровідників.

Практично не були вивчені механізми та характер адсорбції в таких системах, не досліджені їх оптичні та люмінесцентні властивості. Не було робіт по вивченню механізму переносу енергії фотозбудження в системі молекули барвника - напівпровідник. Не встановлені залежності орієнтації молекул від їх концентрації на поверхні адсорбата і його стану. Не досліджувався взаємозв'язок між станом підкладки та люмінесцентними і оптичними властивостями адсорбованих молекул. Не було робіт по дос...дженню

механізмів електролюмінесценції анодноокисних плівок на поверхні карбїду кремнію, що має самостійне принципове значення для фізики поверхні напівпровідників, зв'язку з політипізмом карбїду кремнію (для встановлення кореляції фізичних властивостей поверхні напівпровідника з його структурою) і т. ін.

Метою дисертаційної роботи є дослідження оптичних та люмінесцентних властивостей поверхонь та границь розділу систем з тонкими молекулярними та анодноокисними плівками.

Як об'єкти досліджень використовувались поверхні напівпровідників ($SiC, CdS, Si, InSb$), а також адсорбовані шари молекул органічних барвників (родаміну В, родаміну 6Ж, кристалічного фіолетового та еритрозину) на поверхнях:

- напівпровідників CdS, SiC, Si ;
- напівпровідників $NbN, Y-Ba-Cu-O, Bi-Sr-Ca-Cu-O$;
- сегнетоелектриків $KH_2PO_4, Mo_2(GdO_3)_4$;
- галій-гадолінієвих гранатів (ГГГ).

Відповідно з метою роботи нами поставлені та вирішені задачі:

- розробки методики реєстрації та обробки дуже слабких (на рівні десятків фотонів) сигналів люмінесценції та поглинання світла субмоншаровим покриттям адсорбованих молекул;
- розробки методики еліпсометричних вимірювань тонких та ультратонких плівок;
- обробки методики адсорбції молекул органічних барвників на поверхні твердих тіл та визначення їх основних характеристик;
- дослідження механізмів переносу енергії збудження від молекули в підкладку та вздовж шару адсорбованих молекул;
- встановлення залежності орієнтації молекул від їх концентрації на

поверхні адсорбента та дослідження можливих орієнтаційних переходів;

- вивчення антистоксової люмінесценції при адсорбції молекул барвника на поверхні напівпровідника з метою з'ясування механізму сенсифікації;

- встановлення зв'язку між фазовими переходами у підкладці та люмінесцентними властивостями адсорбованих молекул;

- розробка методів управління оптичними і люмінесцентними властивостями поверхні CdS , SiC шляхом нанесення молекулярних шарів та діелектричних покриттів на поверхню.

Наукова новизна роботи.

В результаті виконання поставлених задач в роботі вперше:

- Виявлений та досліджений ефект сенсифікації антистоксової люмінесценції молекулами органічного барвника, адсорбованими на поверхні напівпровідника.

- Виявлений та досліджений орієнтаційний фазовий перехід у субмоносарах молекул родаміну В на поверхні CdS .

- Виявлений ефект прямого збудження екситона в кристалах CdS з адсорбованими молекулами барвника (родаміна В).

- Розроблений високочутливий метод поверхневих молекулярних люмінесцентних міток для вивчення фазових переходів в твердих тілах, в тому числі і в їх приповерхневій області.

- Виявлено та досліджено світіння поверхні карбїду кремнію при анодному окисненні в електроліті. Доведена електролюмінесцентна природа світіння. Запропонована модель механізму анодного окислення та електролюмінесценції при анодуванні карбїду кремнію.

- Виявлено вплив надпровідних, структурних та сегнетоелектричних

фазових переходів на люмінесцентні властивості молекул адсорбованого барвника.

Проведені дослідження дозволяють сформулювати наступні основні положення, які виносяться на захист:

1. Ефект сенсibiliзації антистоксової люмінесценції поверхні CdS в системі " CdS -адсорбований барвник".
2. Ефект резонансного антистоксового збудження екситона, обумовлений взаємодією адсорбованих молекул з поверхнею кристала.
3. Експериментальне виявлення орієнтаційних фазових переходів з концентрацією при адсорбції родаміну В на поверхню CdS і доказ того, що адсорбція являється фізичною (енергія зв'язку ≤ 0.4 еВ) і залежить від орієнтації молекул відносно поверхні кристалу.
4. Експериментальне виявлення та пояснення додаткового каналу переносу енергії збудження молекул вздовж шару адсорбованого барвника, обумовленого участю поверхневих хвиль в адсорбенті.
5. Метод молекулярних люмінесцентних міток для вивчення фазових переходів в адсорбенті та на його поверхні. Метод засновано на зміні в умовах фазового переходу в підкладинці локального поля на адсорбованій молекулі, що визначає його люмінесцентні властивості.
6. Експериментальне виявлення світіння поверхні SiC в електроліті при анодному окисненні та модель механізму анодного окислення і електролюмінесценції SiC .
7. Підвищення квантового виходу електролюмінесценції світлодіодів на основі SiC при використанні анодного окислення для обробки випромінюючої робочої поверхні світлодіодів.

Практична цінність досліджень.

Розроблені низькотемпературні методи контролюемого нанесення

молекул барвника на поверхню твердого тіла шляхом адсорбції з розчинів барвника. Показана перспективність структур адсорбованих барвник - твердотільна підкладка для створення реальних систем молекулярної електроніки з раніше відомими властивостями.

Показана можливість практичного застосування оптичних методів для визначення параметрів адсорбованих молекул: орієнтації на поверхні, енергії зв'язку, характеру адсорбції, ізотерми адсорбції, а також фотозбудження кристалу - основного процесу, що приводить до сенсibiliзації фотопровідності та антистоксової люмінесценції.

Запропоновано новий метод вивчення стану поверхні та фазових переходів в твердому тілі за допомогою дослідження поведінки залежності квантового виходу люмінесценції молекул адсорбованого барвника від температури, тиску, стану поверхні і т.ін. - метод поверхневих люмінесцентних міток (ПЛМ).

На прикладі дослідження надпровідних і структурних фазових переходів, а також дослідження пружних напруг в сегнетоеластиках показана можливість практичного застосування даного методу для коректного вивчення фізики молекулярних систем.

Розроблено метод керування оптичними та люмінесцентними властивостями сульфїду кадмія та карбїду кремнія шляхом варіації хїмічного складу і структури молекулярних та анодноокисних плївок на поверхні CdS і SiC .

Запропоновано метод просвітлення карбїдокремнієвих світлодіодів. Метод шляхом нанесення на випромїнювачу поверхню анодноокисних плївок дозволяє бїльш, нїж на 20% збїльшити їх квантовий вихїд.

Публікація та апробація роботи.

По результатам роботи опубліковано 37 статей в п'євідних

вітчизняних та зарубіжних журналах. Результати роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях: Республіканській конференції по молекулярній спектроскопії (Чернівці, 1972); V Всесоюзному симпозиумі по електронним процесам на поверхні напівпровідників та на границі розділу напівпровідник - діелектрик (Новосібірськ, 1974); II Всесоюзній нараді "Фізичні проблеми МДН - інтегральної електроніки" (Київ, 1976); VI Всесоюзній конференції по електролітичній насиченні (Дніпропетровськ, 1977); VI Всесоюзній нараді по фізиці поверхневих явищ в напівпровідниках (Київ, 1977); X III Міжнародному науковому колоквиумі (Ільменау, НДР, 1978); XXVI Міжнародному науковому колоквиумі (Ільменау, НДР, 1981); V Всесоюзній нараді "Фізика та технічне застосування напівпровідників А В ^{II VI}" (Вільнюс, 1983); XXI Міжнародному науковому колоквиумі (Ільменау, НДР, 1984); X Всесоюзній конференції по фізиці напівпровідників (Мінськ, 1985); XXXII Міжнародному науковому колоквиумі (Ільменау, НДР, 1987); VI Всесоюзній школі-симпозиумі по фізиці поверхні напівпровідників (Одеса, 1987); V Республіканській конференції "Фізичні проблеми МДН - інтегральної електроніки" (Дрогобич, 1987); II Міжнародній конференції по структурі поверхні (Амстердам, 1987); II Всесоюзній школі-семінарі "Взаємодія електромагнітних хвиль з напівпровідниковими та напівпровідниково-діелектричними структурами" (Саратов, 1988); XX Всесоюзному з'їзді по спектроскопії (Київ, 1988); Всесоюзній конференції "Поверхня" (Черноголовка, 1989); IV Всесоюзній конференції "Еліпсоμεтрія - метод дослідження поверхні твердих тіл" (Новосібірськ, 1988); V Республіканській школі "Оптика та спектроскопія молекул та

кристалів" (Тернопіль, 1989); II Всесоюзній конференції по ВТНІ (Київ, 1989); XII Всесоюзній конференції по фізиці напівпровідників (Київ, 1990); III Всесоюзній конференції по фізиці та технології напівпровідникових плівок (Івано-Франківськ, 1990); I Міжнародній конференції по спектроскопічній еліпсометрії (Франція, Париж, 1993).

Особистий внесок автора. Друковані роботи, які є основою дисертації, написані в співтворстві. У всіх роботах автор приймав участь у постановці задач і розробці методик експерименту, обговорюванні та формулюванні одержаних результатів та побудові фізичних моделей. Автором особисто була розроблена методика реєстрації слабких світлових сигналів. Вимірювання оптичних та люмінесцентних властивостей адсорбованого барвника на поверхні напівпровідника виконувалися автором разом з к.ф.м.н. Юрченко І.А., еліпсометричні вимірювання проводилися разом з к.ф.м.н. Борщаківським Є.Г., вимірювання оптичних властивостей молекул барвника при фазових переходах в адсорбенті автор проводив при участі к.ф.м.н. Шило С.А.

Структура та об'єм роботи.

Дисертація складається з вступу, п'яти глав, висновків та списку цитованої літератури. Робота викладена на 298 сторінках машинописного тексту, містить 53 рисунки, 3 таблиці та 258 найменувань цитованої літератури. Рисунки та таблиці пронумеровані по главам, бібліографія має наскрізну нумерацію.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі дана коротка характеристика галузі досліджень, сформульована мета роботи, обґрунтовується вибір задач, розв'язаних в дисертації та їх актуальність, а також вказана степінь розробки теми до початку цієї роботи. Тут же коротко викладено зміст роботи. Сформульовані основні положення, які виносяться на захист, їх наукова новизна та практична цінність.

В першій главі детально описані методи нанесення молекулярних покриттів шляхом адсорбції з розчину на поверхню напівпровідників і розроблені методи визначення характеристик молекулярного шару, таких як, ступінь покриття та енергія зв'язку, а також описані методи реєстрації оптичних спектральних характеристик адсорбованих молекул.

Вивчення адсорбції органічних барвників на поверхні монокристалів почалося відносно недавно і зв'язано з певними експериментальними труднощами вимірювання поглинання та люмінесценції, що пов'язані з незначною кількістю адсорбованих молекул (їх концентрація на поверхні складає звичайно 10^{11} - 10^{13} молекул/см²). Тому в главі велика увага приділяється розробці методів реєстрації дуже слабких оптичних сигналів, заснованих на лічбі фотонів. Приведено опис експериментальної установки, створеної автором з співробітниками. Запропоновано високочутливий метод реєстрації властивостей адсорбованих частинок по параметрам повного внутрішнього відбивання при різних поляризаціях світла. Це дозволило надійно реєструвати оптичне поглинання молекул адсорбованого барвника для степіні покриття менше однієї десятої

моношару.

Як метод контролю досліджуваних плівок в роботі застосовується еліпсоетрія. Тому в главі були розглянуті особливості застосування еліпсоетрії при дослідженні ультратонких плівок на поверхні твердих тіл. Запропоновано феноменологічну теорію еліпсоетрії таких систем. Розглянуто методику визначення даних еліпсоетричних вимірювань ультратонких плівок.

Проведено вивчення кінетики адсорбції молекул органічних барвників на поверхні напівпровідника. На основі феноменологічного підходу розроблено метод визначення енергії зв'язку адсорбованих молекул з даних кінетики адсорбції. Цей метод було використано для вивчення системи поверхня CdS - молекули родаміну В. Було показано, що у випадку адсорбції родаміну В на поверхні CdS кінетика адсорбції добре описується законом Ленгмюра. Оцінка енергії зв'язку адсорбованих молекул барвника з поверхнею кристала, одержаних з експериментальних даних по кінетиці адсорбції в розчин дає значення для мономерів з дипольним моментом, орієнтованим \parallel поверхні напівпровідника $\mathcal{E}_{m_1} = 0,028$ еВ, для $\mathcal{E}_{m_1} = 0,041$ еВ та для димерів $\mathcal{E}_d = 0,159$ еВ. Близькі значення енергії зв'язку адсорбованих молекул з поверхнею CdS були одержані також із результатів спектроскопічних досліджень.

Такі низькі значення енергії зв'язку підтверджують наше припущення про фізичний характер адсорбції в даних системах.

Для контролю досліджуваних систем були проведені незалежні вимірювання характеру адсорбції родаміну В на поверхню CdS . За допомогою еліпсоетрії досліджені ізотерми адсорбції родаміну В на поверхню напівпровідників SrO та CdS . Обробка одержаних даних

показала, що для адсорбованих плівок барвника поляризованість α паралельно (α_{\parallel}) та перпендикулярно (α_{\perp}) поверхні стає різною за рахунок взаємодії з підкладкою. Визначені степені заповнення поверхні адсорбенту та підтверджено, що до заповнення моношару адсорбція носить лентмаровський характер.

В другій главі досліджені оптичні лімінесцентні властивості адсорбованих на поверхні кристалів C_{60} молекул органічних барвників родаміну В та кристалічного фіолетового. На основі вимірювань спектрів поглинання поляризованого світла визначені орієнтації моментів оптичних переходів молекул і виявлено орієнтаційний фазовий перехід при зміні концентрації. А саме, при концентрації молекул на поверхні, які складають долі моношару, в спектрах поглинання спостерігалися смуги, характерні для мономерів молекул. Поглинання відбувалося, в основному, при поляризації падаючого випромінювання паралельно поверхні зразка. Цей факт свідчить про переважну орієнтацію дипольних моментів оптичних переходів вздовж поверхні кристала. При збільшенні концентрації адсорбованих молекул від $\phi < 0,5$ моношару до $\phi > 0,6$ моношару поглинання світла відбувається, в основному, на молекулах барвника, дипольний момент оптичних переходів яких орієнтовано вздовж нормалі до поверхні. У всьому інтервалі концентрації спостерігалися також смуга поглинання, що відповідає молекулярним димерам. Характерним є те, що димери, в основному, поглинають світло з поляризацією нормальною поверхні. Це говорить про те, що дипольні моменти переходів у димерів переважно орієнтовані по нормалі до поверхні. Підтвердження наявності фазового орієнтаційного переходу було отримано також при дослідженні залежності інтегральної інтенсивності лімінесценції

молекул у поляризованому світлі від їх концентрації на поверхні.

Зміну орієнтації дипольних моментів оптичних переходів при збільшенні концентрації адсорбованих молекул було описано в рамках феноменологічної теорії в припущенні, що статичний дипольний момент молекули жорстко зв'язаний з дипольним моментом переходу. При цьому було показано, що такі орієнтаційні переходи обумовлені міжмолекулярними взаємодіями в парі адсорбата і являються фазовими переходами першого роду.

Вимірювання квантового виходу люмінесценції при адсорбції РВ із розчинів з концентраціями $n = 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л при різних орієнтаціях показало, що квантовий вихід люмінесценції $\eta = \frac{I_{\perp}}{I_{\parallel}} / K_{\perp \parallel}$ молекул з дипольним моментом, орієнтованим перпендикулярно поверхні зразку, в 2 рази більше, ніж для молекул з дипольним моментом, орієнтованим в площині поверхні зразку $\eta_{\perp} = 2 \eta_{\parallel}$. Це свідчить про наявність додаткового каналу передачі енергії від паралельно орієнтованих молекул в кристал. Тобто, поряд з механізмом передачі енергії збудження вздовж шару барвника внаслідок прямої взаємодії між молекулами може відбуватися непряма передача енергії від молекули до молекули за участі збудження в кристалі. Це підтверджується також наявністю концентраційного гасіння люмінесценції, що проявляється в тому, що при збільшенні концентрації молекул на поверхні, залежність інтенсивності люмінесценції від концентрації відхиляється від лінійної.

Одержані нами експериментальні результати показали, що система адсорбованих молекул на підкладці суттєво відрізняється від трьохвимірного випадку наявності границі розподілу. При наявності взаємодії молекул з підкладкою поряд з прямими механізмами

переносу, аналогічними механізми Докстера-Ферстера, можуть існувати непрямі механізми переносу енергії від молекули до молекули за участі поверхневих збуджень в підкладці. Проведений теоретичний аналіз і результати експерименту підтвердили наявність такого додаткового механізму переносу енергії. Зокрема, експериментально встановлено, що в досліджуваних системах показник ступеню функції $f(\rho) = (\rho_0/\rho)^n$, що визначає константу швидкості процесу переносу енергії $K = 1/\tau_0 f(\rho)$ поряд з величинами $n = 6, 8, 10$, характерними для переносу енергії в об'ємі має величину $n \sim 3$. Це свідчить про наявність додаткового каналу переносу енергії вздовж шару молекул барвника за участі підкладки.

Присутність механізму передачі енергії збудження за участі підкладки в системі *CdS* - адсорбований родамін В можна було б очікувати, якщо взяти до уваги, що в цій системі спостерігається сенсibilізована барвником люмінесценція кристала.

В третій главі вивчена сенсibilізація антистоксової люмінесценції сульфїду кадмію при адсорбції на його поверхню молекул родаміну В. Досліджувалась залежність ефективності сенсibilізації антистоксової люмінесценції (АЛ) від ступеня покриття поверхні *CdS* молекулами барвника, а також поляризації збуджувачого світла. Сенсibilізація АЛ спостерігалась при збудженні барвника як в області смуги поглинання адсорбованого родаміну В - M_1 ($\lambda = 510-580$ нм), так і в смугі поглинання домішкових молекул M_2 ($\lambda = 620-780$ нм). Інтенсивність АЛ визначалась в області максимуму безфонної лінії екситонного випромінювання ($\lambda = 487$ нм, $h\nu = 2,545$ еВ). Показано, що збудження АЛ, в основному, пов'язано з передачею енергії фотозбудження в кристал від молекул,

орієнтованих дипольним моментом паралельно поверхні. При цьому, інтегральна ефективність сенсibiлізації пропорційна кількості "паралельно" орієнтованих молекул родаміну В (збудження АІ в смугі M_1) і квадратично залежить від кількості адсорбованого барвника у випадку домішкового збудження АІ (смуга M_2). Квадратична залежність інтенсивності АІ від концентрації свідчить про наявність кооперативних процесів збудження АІ в смугі M_2 .

Для в'яснення детального механізму збудження АІ було проведено вимірювання спектрів збудження для безфононої лінії екситонного випромінювання CdS при 77 К. Сканування довжини хвилі збудження здійснювалося в межах смуг поглинання барвника. Спостерігається спектр збудження АІ, який являє собою вузькі смуги з явно вираженою осцилюючою структурою. При цьому ці смуги розташовані в області максимумів смуг поглинання M_1 та M_2 . Форма і структура піків дуже близькі один до одного. Необхідно також відзначити, що піки збудження мають напівширину набагато меншу ширини смуг поглинання адсорбованого барвника, тоді як раніше при дослідженні спектрів збудження АІ, сенсibiлізованої адсорбованим барвником, а також спектральної залежності сенсibiлізованого фотоefекту одержували залежності, що повторюють в цілому форму спектру поглинання молекул барвника.

При збудженні АІ в області максимуму спектру збудження вид спектру екситонного випромінювання являє собою вузьку інтенсивну лінію безфононного випромінювання екситонів і слабкі піки фононних повторень, які відрізняються від таких при міжзонному збудженні. Наявність інтенсивного гострого (напівширина \sim кТ) піку на цьому спектрі говорить про ефективне утворення "холодних" екситонів в

області дна екситонної зони при їх збудженні в максимумі смуги збудження. Підсвітка інфрачервоним випромінюванням в області енергій квантів $\sim 0,4$ еВ приводила до збільшення інтенсивності АЛ.

Дані результати добре описуються в рамках моделі трьохступеневого процесу збудження екситонів через поверхневі рівні E_{Δ_1} в забороненій зоні кристалу, згідно якої на першому етапі відбувається:

- 1). Поглинання кванту енергії адсорбованою молекулою родаміну В. При цьому молекула переходить зі стану S_0 в збуджений стан S_1 . Після чого відбувається швидка коливальна релаксація в основний коливальний стан S_1 .
- 2). На другому етапі здійснюється перенос енергії електронного збудження молекули (молекула переходить зі стану S_1 в стан S_0) на поверхневі рівні кристалу та релаксація енергії на довгоживучий поверхневий рівень Δ_1 .
- 3). Поглинання другого кванту енергії кристалом, при якому здійснюється перехід електрону з рівня Δ_1 в зону провідності. При цьому відбувається народження пари електрон-дірка або народження безпосередньо екситона в екситонній зоні кристалу.

Для цього необхідно, щоб енергія кванту збуджувачого світла:

$$h\nu > E_g - E_{\Delta_1}.$$

У випадку $h\nu = E_g - E_{\Delta_1}$ відбувається пряме народження "холодних" екситонів.

Величина енергії E_{Δ_1} легко визначається по положенню максимуму в спектрі збудження і оптимальної величини енергії квантів ІЧ підсвітки. Якщо розглядати збудження АЛ в домішковій смугі поглинання M_2 , маючи на увазі кооперативність і малу відносну

кількість домішкових молекул, необхідно взяти в модель два рівні Δ_1 і Δ_2 , положення рівня Δ_2 визначається по положенню низькоенергетичного піку в спектрі збудження. Таким чином, в другому акті поглинання світлового кванту відбувається сумування його енергії з енергією, яка мала запас на рівнях Δ_1 і Δ_2 .

В цій же главі було розглянуто питання випромінювальної анігіляції екситонів у поверхні кристалу *CdS* при антистоксовому збудженні. Можливість проведення таких досліджень обумовлена малими (≤ 10 нм) відстанями, на які відбувається перенос енергії від фотозбуджених адсорбованих молекул барвника. При цьому треба мати на увазі різницю в механізмах утворення екситонів тоді, коли збудження АІ екситонів проходить в області вузьких піків спектру збудження, при прямому збудженні екситонів і поза цих смуг, коли утворення екситонів відбувається по механізму зв'язування електрона та дірки. Така різниця є принциповою і може проявитися в зміні відносної інтенсивності та форми піків фонових повторень безфоновної лінії випромінювання. Найбільш цікавою є можливість антистоксового народження "холодних" екситонів з енергією $\sim kT$, що проявляється в наявності інтенсивного гострого (з напівшириною $\sim kT$) піку екситонного безфоновного випромінювання.

У випадку адсорбції на поверхні молекул барвника кристалічний фіолетовий нами виявлена сенсibiлізація АІ екситон - домішкових комплексів (ЕДК). Вивчення властивостей випромінювальної анігіляції ЕДК показало відміну поверхневих констант екситон-фоновної взаємодії від їх об'ємних значень.

В четвертій главі були розглянуті особливості лімінесценції адсорбованих молекул при фазових переходах (ФП) в адсорбенті.

Приведені результати показали, що наявність на поверхні кристалів молекул барвника приводить до суттєвої зміни оптичних та люмінесцентних властивостей системи в цілому. У цьому випадку органічна молекула разом з підкладкою утворює нову електродинамічну систему зі своїми особливими властивостями. Оптичні властивості такої системи, в значній мірі, визначаються величиною локального поля на молекулі, яке, в свою чергу, залежить від поведінки діелектричної функції підкладки. Квантовий вихід люмінесценції адсорбованих молекул у цьому випадку також суттєво залежить від величини локального поля E_{loc} . Тому можна записати

$$\eta = \theta(k; \tau_c) f(E_{loc}),$$

де $f(E_{loc})$ - деяка функція, яка залежить від локального поля на молекулі, θ - ступінь покриття поверхні. Тобто, будь-які зміни локального поля повинні відбитися на поведінці квантового виходу люмінесценції адсорбованих молекул. Треба відзначити, що у формуванні локального поля поряд з адсорбованими молекулами приймають участь і приповерхневі шари речовини. Тому дослідження поведінки квантового виходу люмінесценції молекул при зміні локального поля може бути інструментом у вивченні властивостей самого твердого тіла.

Як відомо, в точках фазових переходів адсорбента відбувається аномальна поведінка узагальненої сприйнятливості системи, що приводить до особливої поведінки діелектричної проникливості в підкладці при критичній температурі T_c . Поява особливостей діелектричної проникливості в решітці решіт приведе до зміни квантового виходу люмінесценції адсорбованих молекул в області T_c . Приведена вище схема міркувань стала концептуальною основою

запропонованого нами нового експериментального методу - методу поверхневих люмінесцентних міток .

Нами показана можливість застосування вказанного методу для дослідження надпровідних переходів конкретних систем. Дослідження проводилися на поверхнях плівок NbN ($T_c = 13,5$ К) та високотемпературних надпровідниках (ВТНП) $YBaCuO$ ($T_c = 87$ К) об'ємного керамічного зразку $YBaCuO$ ($T_c = 50$ К) з нанесеними на них молекулами еритрозину.

Вимірювались одночасно температурні залежності квантового виходу люмінесценції барвника і магнітної сприйнятливості зразка.

Для класичного надпровідника NbN в області фазового переходу відбувається невелика (~5%) стрибкоподібна зміна χ молекул. При цьому нижче та вище точки переходу T_c величина $\chi(T)$ практично постійна. Для квантового виходу люмінесценції молекул, нанесених на кристалічну плівку $YBaCuO$, крім майже незмінного ходу поодаль від T_c існує достатньо широка по температурі область, де $\chi(T)$ поводитья особливо, а саме, проходить скрізь максимум при $T \sim 105$ К. При цьому величина зміни $\Delta\chi(T) \sim 100\%$. Для молекул, адсорбованих на кераміці $YBaCuO$ таких областей дві - поблизу $T \sim 90$ К та $T \sim 50$ К. Це можна пов'язати з наявністю, по крайній мірі, двох фазових переходів. При першому ($T \sim 90$ К) відбувається перехід в надпровідну фазу окремих ізольованих областей зразка. При другому ($T \sim 50$ К) відбувається другий перехід, при якому весь зразок переходить в надпровідну фазу, що підтверджується вимірюваннями провідності. Існування цих двох температур надпровідного переходу може пояснюватися різною ступенню кисневої нестехіометрії співіснуючих фаз в керамічних зразках $YBaCuO$. Особливості поведінки

$\chi(T)$ при $T \sim 90$ К та $T \sim 50$ К можуть бути пов'язані з' такими факторами: по-перше, в силу неоднорідності зразків адсорбенту перехід в надпровідну фазу виявляється декілька розмитим (~ 30 К). По-друге, згідно флуктаційно-дисипативної теореми, діелектрична функція визначається кореляторами типу струм-струм

$$\langle \dot{j}_i \dot{j}_i \rangle_{k, \omega, z} \sim \text{Im} \epsilon(\omega, T).$$

У флуктаційній області ці корелятори стають значно великими, тому локальне поле на молекулі сильно змінюється. Це приводить до особливої поведінки $\chi(T)$.

Необхідно також звернути увагу на незвичайно широку флуктаційну область у ВТНП. Так для полікристалічної плівки YBaCuO вона становить ~ 10 К, що, очевидно, зв'язано з достатньо малою довжиною когерентності у ВТНП.

Із всього сказаного можна дійти висновку, що запропонований метод може бути корисним доповненням до існуючих експериментальних методів дослідження надпровідників. А поведінка залежності $\chi(T)$ для плівок YBaCuO дозволяє надіятися на перспективність методу не тільки в спостереженні, але й в вимірюванні величини флуктаційної області ВТНП.

Метод поверхневих люмінесцентних міток був апробований нами також при дослідженні структурних фазових переходів в плівках ГТТ. Тут, як і в попередньому випадку, спостерігалися особливості в поведінці квантового виходу люмінесценції в області критичних температур.

На прикладі дослідження сегнетоеластиків при прикладанні до них одновісних тисків була показана можливість безконтактного дослідження пружних напруг в таких системах. Таким чином,

універсальність даного методу для дослідження ФП очевидна.

Розвинутий нами метод являється попередником нового методу дослідження поверхні - мікроскопії локального поля (*Near Field Microscopy*), що інтенсивно розвивається на сьогодні. Треба відзначити, що метод поверхневих люмінесцентних міток являється поки що єдиним методом експериментального вивчення особливостей фазових переходів в приповерхневих областях твердого тіла.

Оскільки, як було показано раніше, концентрація адсорбованих молекул барвника, при яких створяться найбільш сприятливі умови для сенсibiлізації АІ і фото ефекту і ще не відбувається концентраційного гасіння люмінесценції, складає менш ніж один моносар, а інтенсивність люмінесценції дуже слабка, то досить проблематичним становиться використання таких систем в молекулярній електроніці. Виникає питання про можливість збільшення концентрації випромінюючих центрів (молекул барвника) шляхом їх рівномірного розподілу по товщині плівки і збереження, таким чином, оптимальних умов для випромінюючої рекомбінації. На наш погляд, така можливість може мати місце, якщо спробувати впровадити молекули барвника із електроліту в анодноокисну плівку в процесі її росту. У зв'язку з цим нами в п'ятій главі були проведені теоретичні та експериментальні дослідження анодного окислення карбїду кремнію, а також виявленої нами електролюмінесценції при анодному окисленні в електроліті, з метов вияснення механізму і характеру анодного окислення і визначення можливості впровадження в анодний окисел в процесі його росту центрів люмінесценції (молекул барвника) та одержання їх однорідного розподілу по об'єму анодного окислу.

Дослідження проводилися як в потенціостатичному, так і в

гальваностатичному режимі на різних політипах і полярних гранях кристалів карбиду кремнію. Основний струм, який протікає крізь анодноокисну плівку (АОП) при анодному окисненні S/C - електронний. Оцінка корисного виходу по струму в гальваностатичному режимі окислення (діапазон струмів 3-30 мА/см², електроліт 1) дає величину 1,4 - 2,1% для кристалів S/C різних політипів. Напруженість електричного поля в плівці слабо залежить від густини струму і становить $1,17 - 6 \cdot 10^7$ В/см.

Для здійснення процесу анодного окислення напівпровідників необхідні дірки. Це підтверджується результатами контрольних дослідів з зразками карбиду кремнію р- та n -типу при освітленні останніх ультрафіолетовим випромінюванням.

Для дослідження механізму провідності в АОП для різних товщин плівок вимірювались вольтамперні характеристики, на яких можна виділити дві ділянки. При низьких напруженостях поля ($E < 1,2 \cdot 10^7$ В/см, область 1) вольтамперні характеристики добре апроксимуються формулою Мотта-Герні для струмів монополярної інжекції, обмежених об'ємним зарядом, захопленим на мілкі уловлювачі. Ефективна рухливість носіїв струму при цьому $\mu_{\text{еф}} = 6 \cdot 10^{-11}$ см²/В·сек. Оцінка нижньої границі концентрації уловлювачів дає значення - $1 \cdot 10^{19}$ см⁻³. Струм в області 1 визначається дірками. При великих напруженостях поля ($E \geq 1,2 \cdot 10^7$ В/см, область 2) механізм провідності носить інший характер. Такі поля достатні для відриву іонів кремнію (вуглецю) з кристалічної ґратки і переносу їх крізь окисел. При цьому можливе значне збільшення концентрації електронів, які інжектуються з електроліту внаслідок протікання процесів окислуотворення. На ділянці 2 спостерігається світіння,

Інтенсивність якого прямо пропорційна густині струму $I \sim j$. Світіння спостерігається у видимій області (1,8 - 3,21 еВ) і має широкий і плавний спектр з максимумами $h\nu_{\max}$ 2,1 та 3,1 еВ, які можуть бути обумовлені власними дефектами SiO_2 і домішковими рівнями, розташованими в забороненій зоні анодного окислу.

Дослідження кінетики світіння, його спектрального складу залежно від матеріалу підкладки і типу електроліту, а також впливу на кінетику і спектр політипізму карбіду кремнію та полярності граней SiC та $InSe$ дозволило дійти висновку, що світіння при анодному окисненні обумовлено електролюмінесценцією анодних окисних плівок. Електролюмінесценція виникає при прикладанні сильного електричного поля до анодних окисних плівок, внаслідок інжекції електронів з електроліту в C-зону (або в домішкову зону) окислу з подальшою їх випромінювальною рекомбінацією з дірками, захопленими на уловлювачі. Центри випромінювальної рекомбінації рівномірно розташовані по товщині окисної плівки.

При великих напругах ($U \geq 400$ В товщина плівки більше 2000 Å) при рості анодних окисних плівок на SiC спостерігається пробій, для якого характерні осциляції напруги, поява мікроспалахів та лінійчатий спектр (напівширина ліній 0,02 - 0,05 еВ). Лінійчатий спектр при пробіі окислу зв'язаний з світінням мікроплазм і перетворенням анодного окислу в оксинітрид (по даним ІЧ-спектроскопі).

Дослідження анодного окислення зразків карбіду кремнію різних політипів, а також $SiC6H$ різної полярності граней вказало на практично тотожне поведінку процесу окислення, починаючи з товщини плівок $d \geq 250$ Å. Товщина плівки $d = 250$ Å являється деяков

характеристичною товщиною, починаючи з якої при даних полях процес струмопроходження визначається анодним окисним плівкою. Очевидно, для SiC різних політипів та полярностей граней деяка різниця в швидкості окислення на цьому етапі пов'язана з різною величиною потенціального бар'єру на границі SiC-SiO₂, який, згідно моделі Мотта-Кабрера, лімітує швидкість переносу іонів. Встановлено вплив електроліту при анодному окисненні на властивості та енергетичне положення рівней в анодній окисній плівці карбиду кремнію. Контроль якості та товщини окисних плівок в процесі їх росту проводився за допомогою еліпсометрії.

Показник заломлення анодної окисної плівки на SiC при анодному окисненні в електроліті $n = 1,46$. Це дозволило використовувати метод анодного окислення для нанесення просвітлюючих покриттів на SiC - світлодіоди і збільшення зовнішнього квантового виходу SiC - світлодіодів на 20%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виявлено та досліджено орієнтаційний фазовий перехід у субмонослоях молекул родаміну В на поверхні сульфиду кадмію. Показано, що орієнтація адсорбованих молекул залежить від ступеня покриття поверхні: при низьких ступенях $\theta < 0,5$ орієнтація дипольного моменту адсорбованих молекул паралельна поверхні, при $\theta > 0,5$ орієнтація змінюється на нормальну, при цьому відбувається інтенсивне утворення димерів. В рамках термодинамічного підходу були пояснені орієнтаційні переходи в адсорбованому шарі. Показано наявність критичного ступеня покриття поверхні кристалу адсорбованими молекулами, при якій відбувається їх переорієнтація.

2. Встановлено, що квантовий вихід люмінесценції адсорбованої молекули родаміну В суттєво залежить від її орієнтації (дипольним моментом паралельно або нормально до поверхні), при цьому $\eta_{\parallel}^1 / \eta_{\parallel}^2$ 2,1, що пояснюється існуванням ефективного каналу переносу енергії фотозбудження на поверхню кристалу у "паралельно" орієнтованих мономерів.

3. Розроблено теоретичну модель та пояснено особливості переносу енергії по індукційно-резонансному механізмі в системах з границею розподілу. Показано, що при цьому залежність швидкості переносу від відстані може суттєво відрізнятися від ферстеровської. У цьому випадку можуть існувати непрямі механізми переносу енергії збудження вздовж шару молекул за участю поверхневих збуджень підкладки.

4. Експериментально встановлено, що в системах, які досліджуються, показник ступеню функції, що визначає константу швидкості процесу переносу енергії $F(R) = (R_0/R)^n$, поряд із значеннями 6, 8, 10, характерними для переносу енергії в об'ємі, може дорівнювати 3. Це свідчить про наявність додаткового каналу переносу енергії вздовж шару молекул барвника за участю підкладки. Для водних розчинів барвника метод підтвердив диполь-дипольну взаємодію молекул в розчині.

5. Виявлений та досліджений ефект сенсibilізації антистоксової люмінесценції кристала молекулами органічного барвника, адсорбованими на його поверхні. Показано, що збудження АІ пов'язано з переносом енергії збудження від фотозбудженої молекули в приповерхневий шар кристалу і здійснюється тільки молекулами з дипольними моментами, орієнтованими вздовж поверхні кристалу.

6. На основі феноменологічного підходу розвинута теорія кінетики адсорбції барвників на поверхні напівпровідників. Експериментальна перевірка положень теорії показала добре узгодження теорії і експерименту, що дозволило визначити такі важливі параметри системи як енергія зв'язку адсорбованих мономерів і димерів барвника родаміну В з поверхнею сульфиду кадмію ($\epsilon_m \approx 28$ меВ - дипольний момент оптичного переходу паралельний поверхні, $\epsilon \approx 41$ меВ - дипольний момент оптичного переходу нормальний до поверхні). Тобто, адсорбція родаміну В на поверхню CdS носить фізичний характер. Показано, що кінетика адсорбції родаміну В добре описується законом Ленгмюра.

7. Виявлено і досліджено ефект прямого антистоксового збудження екситонів у поверхні кристалу CdS в процесі сенсibiлізації АЛ. При цьому збудження відбувається за участю поверхневого рівня з енергією $E \approx 0,41$ еВ. Встановлено, що у цьому випадку відбувається народження "холодних" екситонів з кінетичною енергією \sim кТ. Виявлено ефект ІЧ стимуляції антистоксової люмінесценції, який підтверджує модель прямого збудження екситону. Показано відмінність механізмів утворення екситонів при різних енергіях квантів антистоксового збудження в межах полоси поглинання барвника.

8. Запропоновано енергетичну модель збудження АЛ екситонів в кристалах CdS при адсорбції молекул барвника РВ за участю поверхневих рівнів, які утворюються в результаті адсорбції. Показано, що у випадку збудження АЛ в області основної смуги поглинання барвника збудження АЛ відбувається по механізму послідовного збудження, а у випадку збудження АЛ в області домішкової смуги поглинання - по механізму кооперативного

підсумовування енергії.

9. Розглянуто особливості застосування еліпсометрії при дослідженні надтонких плівок на поверхні твердого тіла. На основі самоузгодженого підходу, оснований на тому, що макроскопічна електродинаміка ультратонких плівок, товщина яких порівнена з характерним масштабом неоднорідностей мікрополів, повинна будуватися з врахуванням того, що втрачає зміст поняття макроскопічної діелектричної проникненості плівки, а також максвеловські граничні умови на обох сторонах плівки, створена модель для інтерпретації результатів еліпсометричних досліджень ультратонких плівок. Доведено, що одержані вирізи можуть бути використані в розрахунках відбиття від складних систем з ультратонкими плівками по рекурентним формулам.

10. Запропоновано новий високоефективний метод вивчення стану поверхні і фазових переходів у твердому тілі за допомогою дослідження поведінки залежності квантового виходу ламінесценції молекул адсорбованого барвника від температури, тиску, стану поверхні і т.ін. - метод поверхневих ламінесцентних міток. На прикладі дослідження надпровідних і структурних фазових переходів, а також пружних напруг в сегнетоелектриках показана можливість практичного застосування методу ПЛМ для коректного вивчення фізики молекулярних систем.

11. Вперше було виявлено і досліджено світіння поверхні карбиду кремнію при анодному окисненні в електроліті. Визначено його спектральний склад. Показано, що світіння визначається електролюмінесценцією анодного окислу напівпровідника. Запропонована модель механізму анодного окислення і

електролімінесценції при анодному окисленні SiC.

12. В результаті порівнянь експериментальних даних для анодної окисної плівки з феноменологічною теорією визначено ряд параметрів: доля іонного струму, ефективна рухливість носіїв струму та концентрація уловлювачів. Показано, що вольтамперні характеристики системи електроліт - діелектрик - напівпровідник при низьких напруженностях поля ($E_n < 1,2 \cdot 10^7$ В/см) підкоряються закону Мотта-Герні для інжекційних струмів, обмежених об'ємним зарядом носіїв струму, захоплених на уловлювачі.

13. Розроблено метод управління оптичними властивостями SiC шляхом нанесення різних діелектричних покриттів. Запропоновано спосіб нанесення анодноокисних плівок на випромінюючу поверхню карбодокремнієвих світлодіодів. Одержано збільшення квантового виходу світлодіодів у видимій області спектру на 20%.

14. Створена багатофункціональна автоматизована високочутлива установка, яка дозволяє з використанням методу МНІВВ проводити реєстрацію слабких світлових потоків від джерел різної природи (модульованих, імпульсних, неперервних) у широкому спектральному (0,2 - 4 мкм) та температурному (4,2 - 300 К) діапазонах з високим спектральним розрізненням (зворотня лінійна дисперсія 0,6 нм/мм, ширина апаратної функції 0,015 нм). Визначені та практично реалізовані найбільш оптимальні методи і режими вимірювання спектрів поглинання та люмінесценції молекул барвника, адсорбованого на поверхні напівпровідника.

15. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати процес вимірювань і проводити математичну обробку одержаних результатів (арифметичні операції з одним або двома спектрами,

функціональні перетворення спектрів, масштабування спектру в будь-яких одиницях, цифрову фільтрацію шумів, зрізання випадкових випадків і т. д.).

Таким чином в роботі показано, що наявність на поверхні кристалів молекул барвника приведе до зміни оптичних і люмінесцентних властивостей системи в цілому. У цьому випадку органічна молекула разом з підкладкою утворює електродинамічну систему, оптичні властивості якої, в значній мірі, визначаються величиною локального поля на молекулі, яке, в свою чергу, залежить від поведінки діелектричної функції підкладки.

Приведені вище результати дозволяють стверджувати, що дисертаційна робота є вагомим науковим внеском в розробку фізичних уявлень про оптичні процеси, які протікають на поверхні і границях розділу двошарових систем "ультратонка плівка адсорбованого барвника - твердотільна підкладка" при умові її фотозбудження.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Юрченко И. А., Гецко О. М., Колбасов Г. Я., Снитко О. В., Петрова Н. А. Сенсификация антистоксовой люминесценции экситон-примесных комплексов при адсорбции красителя на поверхности CdS // V Всесоюзное совещание "Физика и техническое применение полупроводников $\text{A}^{\text{II}} \text{B}^{\text{VI}}$ ". Тезисы докладов. Вильнюс, 1983. - 1, - С. 204-205.
2. Гецко О. М., Снитко О. В., Юрченко И. А. Исследование адсорбции красителей на поверхности сульфида кадмия оптическими методами // XIX международный научный коллоквиум. Ильменау. ГДР, 1984. - 4, С. 25-28.
3. Юрченко И. А., Колбасов Г. Я., Снитко О. В. Сенсификация

- антистоксовой люминесценции экситон-примесных комплексов при адсорбции красителя на поверхности кристалла CaS // Поверхность. 1984. - 11. - С. 133-137.
4. Гецко О.М., Снитко О.В., Юрченко И.А. Исследование поверхности CaS оптическими методами при адсорбции органических красителей// Поверхность. - 1985. 7. - С. 51-55.
 5. Борщаговский Е.Г., Гецко О.М., Лозовский В.З., Худик Б.И. Эллипсометрия ультратонких пленок // Опт. и спектр. - 1989. - 66, вып. 6. - С. 1345-1350.
 6. Снитко О.В., Гецко О.М., Лозовский В.З., Худик Б.И., Юрченко И.А., Борщаговский Е.Г. Адсорбция родамина В на поверхности сульфида кадмия. - Препринт № 31, Киев: Институт физики АН УССР, 1987-43с.
 7. Снитко О.В., Гецко О.М., Худик Б.И., Юрченко И.А., Борщаговский Е.Г. Перенос энергий возбуждения в системе родамин В - поверхность CaS . - Препринт №32, Киев: Институт физики АН УССР, 1987. - 47с.
 8. Юрченко И.А., Борщаговский Е.Г., Гецко О.М., Снитко О.В. Автоматизированная система регистрации и обработки спектров с широким выбором измерительных методик на базе многоканального анализатора ПТА-1024. // Квантовая электроника. - 1986. - Вып. 31. - С. 83-88.
 9. Борщаговский Е.Г., Гецко О.М., Лозовский В.З., Снитко О.В., Юрченко И.А. О переносе энергии вдоль слоя молекул, адсорбированных на поверхности твердого тела // УФЖ. - 1987. - 32, №10. - С. 150-155.
 10. Гецко О.М., Снитко О.В., Юрченко И.А. Рождение экситонов в CaS при фотовозбуждении адсорбированного красителя // ДАН УССР,

Сер. А, Физ.-мат. и техн. науки. - 1986. №10. - С. 40-42.

11. Юрченко И. А., Лозовский В. Г., Шило С. А., Гецко О. М. Влияние сверхпроводящего перехода на квантовый выход люминесценции адсорбированного красителя // Письма в ЖЭТФ. - 1988. - 48, №2. - С. 89-91.
12. Шило С. А., Юрченко И. А., Снитко О. В., Гецко О. М. Поведение оптических характеристик примесного центра Eu^{3+} при структурном фазовом переходе в галлийгадолиниевом гранате // ДАН УССР. Сер. А. Физ.-мат. и техн. науки. 1989. № 6. - С. 58-61.
13. Юрченко И. А., Шило С. А., Гецко О. М., Синицын В. К., Савуцкий А. И., Хребтов А. О., Цибульский Е. О. Взаимосвязь структурных превращений галлийгадолиниевом граната с оптическими характеристиками примесного центра Eu^{3+} // XX Всесоюз. съезд по спектроскопии, Тез. докл. - Киев, 1988. - ч 2. - 111 с.
14. Гецко О. М., Пасечник Ю. А., Снитко О. В., Романенко В. Ф. Поглощение инфракрасного света на поверхности монокристаллов карбида кремния // Письма ЖЭТФ. - 1973. 17. - с. 587 - 590.
15. Гецко О. М., Пасечник Ю. А., Снитко О. В., Романенко В. Ф., Сергеев О. Т. Изучение системы диэлектрик-полупроводник (SiO_2 - SiC) методами ИК-спектроскопии // Полупроводниковая техника и микроэлектроника. - 1974. 18. - С. 35-39.
16. Гецко О. М., Пасечник Ю. А., Снитко О. В., Кравченко В. В. Исследование окисной пленки карбида кремния методом многократного внутреннего отражения // В кн.: Электронные процессы на поверхности полупроводников и на границе раздела полупроводник-диэлектрик. - Новосибирск, 1974. - С. 273-275.
17. Гецко О. М., Пасечник Ю. А., Венгер Е. Ф., Панаев Г. А., Снитко

- О.В. Исследование окисных пленок карбида кремния методами ИК-спектроскопии // УФЖ. - 1977. - 22. №10. - С.1703-1706.
18. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Снитко О.В., Банцер С.Г. Электролюминесценция карбида кремния различных политипов при анодном окислении // УФЖ. - 1980. - 25. №1. - С.41-48.
19. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Банцер С.Г., Снитко О.В. Свечение поверхности карбида кремния при анодном окислении // Оптика и спектроскопия. -1977. - 43. - С.372-374.
20. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Банцер С.Г., Снитко О.В. Свечение поверхности карбида кремния при анодном окислении // Материалы Международного совещания по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в твердом теле. - Варна, 1977. - 47с.
21. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Снитко О.В., Банцер С.Г., Чайкин В.И. Электролюминесценция системы антимонид индия - окисел - электролит при анодном окислении //Украинский физический журнал. 1977. -.22. №9. С. 1530-1534.
22. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Снитко О.В., Банцер С.Г. Электролюминесценция системы антимонид индия - окисел - электролит при анодном окислении //Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по электролюминесценции, Днепропетровск. 1977. -67с.
23. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Снитко О.В., Банцер С.Г. Электролюминесценция карбида кремния различных политипов при анодном окислении // Тезисы докладов VI Всесоюзного совещания по физике поверхностных явлений в полупроводниках. - Киев: Наукова думка, 1977. - 22с.
24. Гецко О.М., Пасечник Ю.А., Юрченко И.А. Исследование механизме роста анодных окисных пленок на поверхности карбида кремния при

- различных режимах окисления // XIX Международный научный коллоквиум. - Ильменау, ГДР, 1984. - 4. С.29-32.
25. Гецко О.М., Снитко О.В., Юрченко И.А. Исследование адсорбции красителей на поверхности сульфида кадмия оптическими методами// XIX Международный научный коллоквиум. Ильменау, ГДР, 1984. -4.- С.25-28.
26. Гецко О.М., Снитко О.В., Лозовский В.З., Юрченко И.А., Борщоговский Е.Г. Миграция энергии вдоль слоя красителя, адсорбированного на поверхности полупроводника// XXXII Международный научный коллоквиум. - Ильменау, ГДР, 1987. - 4. С.31-34.
27. Гецко О.М., Снитко О.В., Лозовский В.З., Юрченко И.А. XXXII Международный научный коллоквиум. - Ильменау, ГДР, 1987. -т.4.- С.27-29.
28. Гецко О.М., Снитко О.В., Борщоговский Е.Г. Исследование оптических характеристик анодных окисных пленок на поверхности *SiC*.// Тезисы докладов V Республиканской конференции "Физические проблемы МДП-интегральной электроники".-Дрогобыч, 1987.-С.31-32.
29. Гецко О.М., Борщоговский Е.Г., Банцер Т.Д., Костенков С.А., Снитко О.В. Эллипсометрические исследования анодных окисных слоев на поверхности *SiC*. // Поверхность. -1988. - №5.- С.89-94.
30. Гецко О.М., Борщоговский Е.Г. Эллипсометрия "толстых" пленок // Оптика и спектроскопия. - 1989. - 66, в.2. - С.442-448.
31. Гецко О.М., Снитко О.В., Юрченко И.А. Прямое антистоксово возбуждение экситонов в *c-ds*, сенсублизированное адсорбированным на поверхности красителем // X Всесоюзная конференция по физике

- полупроводников. - Минск, 1985. - ч.2. - С.62-63.
32. Гецко О.М., Юрченко И.А., Снитко О.В. Исследование адсорбции родамина В на поверхности cds оптическими методами. Физика поверхностных явлений в полупроводниках // VIII совещание. - Киев, 1984. - ч.2. С.127-128.
33. Гецко О.М., Лозовский В.З., Снитко О.В., Юрченко И.А. О кинетике адсорбции молекул красителя на поверхности сульфида кадмия // УФЖ. - 1986. - 31. №10. - С.1550-1555.
34. Гецко О.М., Снитко О.В., Юрченко И.А. Перенос энергии фотовозбуждения в системе cds - адсорбированный краситель // Поверхность. - 1987. - №6. - С.100-103.
35. Гецко О.М., Борщаговский Е.Г. Калибровка эллипсометра путем минимизации интенсивности с учетом несовершенств, - Препринт №33, Киев: Институт физики АН УССР, 1983.
36. Гецко О.М., Борщаговский Е.Г. Выбор оптимальных условий для эллипсометрических измерений // Оптика и спектроскопия. - 1991. - 70, в.5. - С.1144-1151.
37. E.G.Bortchagovsky and O.M.Getsko Invisible Layers in Ellipsometry // Thin Solid Films. - 1993. - V.233/234. - P.553-556.

Підписано до друку 17.05.1994р. Формат 60x84/16

Папір офсетний. Умовн.-друк. аркуш. 2,0.

Об.-вид. аркуш 2,0. Тираж 100. Замовл. 256.

Поліграф. дільн. Інституту електродинаміки АН України,
25260, Київ-57, проспект Перемоги, 56

AB 30.402

AB 30.402