

Korovytskyy Andriy, Chocyk Dariush, Fedosov Sergiy, Kachan Yuriy, Kolyadynskyy, Saharchuck Viktor. Morphometry and Mechanical Properties of Carbon Films Obtained by Magnetron Deposition in Aragon Atmosphere. Carbon thin films have been deposited by usage of an advanced technology for stable plasma discharge in the vacuum chamber of VUP5M. The structure and mechanical properties of carbon thin films have been studied. Carbon films, formed under such technological conditions, have amorphous structure. It was found, that carbon films are very “soft” and have good elastic properties.

Key words: magnetron deposition, carbon thin films, roughness, hardness, Young's modulus.

Стаття надійшла до редколегії
25. 03. 2015 р.

УДК 621.315.592

Галина Мирончук
Олег Парасюк
Андрій Кримусь

Фотоелектричні властивості кристалу AgGaGeS_4

У роботі досліджено кінетику релаксації фотопровідності в монокристалі AgGaGeS_4 . Установлено, що час релаксації фотопровідності в кристалах AgGaGeS_4 залежить від інтенсивності освітлення та температури. Оцінено глибину залягання пастки.

Ключові слова: релаксація фотопровідності, пастка, час релаксації.

Постановка наукової проблеми та її значення. Інтерес до дослідження довготривалої релаксації фотопровідності зумовлений і можливістю використання цього ефекту в різних системах пам'яті, і потребою вивчення причин нестабільної роботи фотоелектронних приладів.

У більшості випадків експериментальні результати з дослідження довготривалої релаксації фотопровідності пояснюють існуванням колективних рекомбінаційних бар'єрів для основних носіїв заряду, які утворені на границях електрично-активних макронеоднорідностей структури. Інші обговорювані механізми довготривалої релаксації фотопровідності пов'язані з міждомішковою рекомбінацією та перебудовою структурних дефектів, які реалізуються за низьких температур [11, 12]. За високих температур довгочасова релаксація фотопровідності може зумовлюватися процесами радіаційно-стимульованого утворення і перетворення центрів [3, 8], а також стимульованою дисорбцією [13] та міграцією дефектів у напівпровідниках [4].

Для вивчення кінетики фотопровідності при домішковому збудженні та визначенні параметрів, які характеризують довгочасові процеси релаксації ми досліджували релаксаційні процеси в кристалах AgGaGeS_4 . Експериментальні вимірювання проводили за допомогою електрометра Keithley 6430 Sub-Femtoamp SourceMeter. Зразки збуджували світловими квантами діодного лазера ($\lambda=800$ нм, $P=400$ мВт).

Виклад основного матеріалу й обґрунтування результатів дослідження. Типові криві релаксації фотопровідності при збудженні монохроматичним світлом різної інтенсивності представлені на рис.1.

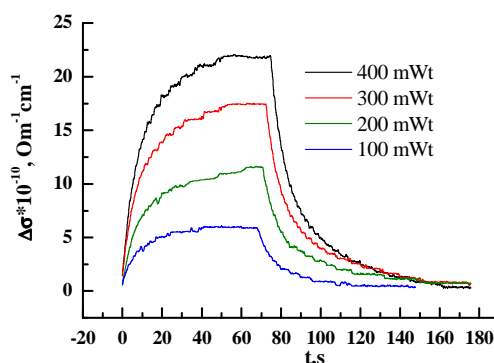


Рис.1. Криві релаксації фотопровідності за різних інтенсивностей збуджуючого монохроматичного світла ($\lambda = 800$ нм $T=300$ К)

Видно, що при всіх інтенсивностях збудження спостерігається ефект фотоактивації – зростання фоточутливості з часом. При цьому стаціонарна фотопровідність пропорційна інтенсивності світла ($\sigma_{st} \sim I/h\nu$), тому при даних інтенсивностях збудження будемо користуватися лінійним законом рекомбінації.

Оскільки в роботі досліджували релаксацію фотопровідності, зумовлену світловими квантами з домішкової області, то аналіз експериментальних результатів доцільніше проводити з використанням довготривалої моделі релаксації, зумовленої захопленням вільних носіїв струму точковими центрами локалізації (пастками).

У роботах [10, 14, 15] показано, що сполука AgGaGeS_4 має багатий спектр локальних центрів у забороненій зоні. Наявність у напівпровіднику центрів захоплення впливає на кінетику фотопровідності. Вільні електрони не лише рекомбінують із дірками, а й захоплюються центрами прилипання, що зменшує швидкість наростання стаціонарної концентрації носіїв заряду. При виключенні збуджуючого світла спустошення пасток зтягує спад концентрації носіїв заряду. У результаті цього сповільнюється процес наростання та спаду фотопровідності (рис. 2). У такому разі час релаксації фотопровідності не дорівнюватиме часу життя фотозбуджених носіїв струму, значно перевищуючи його, оскільки частина електронів буде запасатися на центрах прилипання. Також, порівняно з міжзонною рекомбінацією, до зростання часу релаксації приводить те, що основним каналом рекомбінаційних процесів є переходи електронів на дефектні центри [2; 9].

Як видно з рис 2 кінетика наростання і спаду фотопровідності за різних температур має складних довготривалий характер.

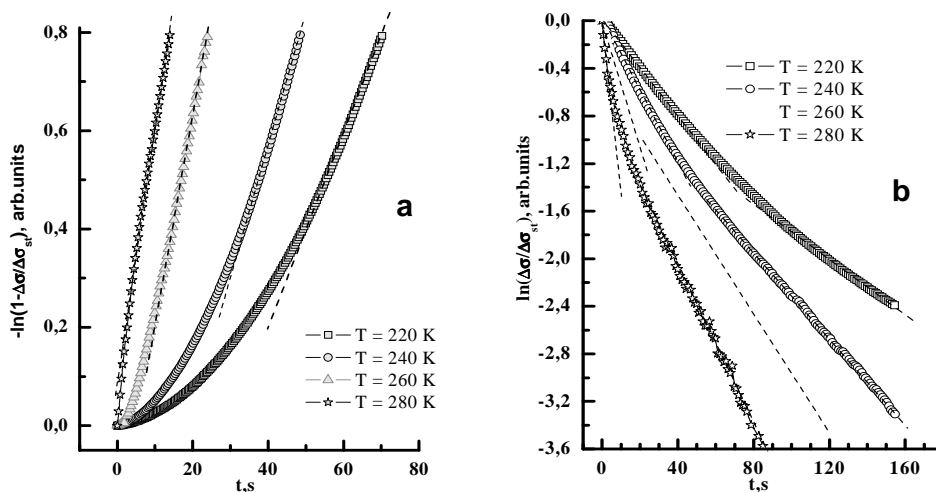


Рис. 2. Кінетика наростання (а) та спаду (б) фотопровідності в кристалі AgGaGeS_4 за різних температур

На початковій стадії наростання фотопровідності спостерігається відхилення від експоненційної залежності (рис. 2 а). Докладніший аналіз показав, що фотопровідність, після початку фотозбудження лінійно зростає із часом. Така поведінка наростаючої релаксації фотопровідності, згідно з літературними даними [6, 9], спостерігається в разі слабого заповнення електронами рівнів прилипання, тобто в сильно скомпенсованих напівпровідниках, до яких належать сполуки AgGaGeS_4 [15]. Причина появи лінійних ділянок полягає в тому, що рівновага між c -зоною та t -рівнями встановлюється через деякий час від початку фотозбудження. На наступних стадіях, після встановлення рівноваги між c -зоною та t -рівнями, одночасно з фотозбудженням електронів відбувається їх рекомбінація через r та s -центри і, відповідно, наростаюча релаксація фотопровідності описується формулою (1):

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{st} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \right) \quad (1),$$

де τ_1 – час релаксації фотопровідності після включення світла; $\Delta\sigma_{st}$ – стаціонарна нерівноважна провідність.

У вказаному на рис. 2 а масштабі в значному часовому інтервалі криві наростання фотопровідності описуються прямими лініями, по нахилу яких визначався час релаксації фотопровідності (τ_1) після початку фотозбудження. Визначені таким методом τ_1 , представлені в табл. 1. Великі значення τ_1 засвідчують, як уже зазначали вище, про участь мілких рівнів прилипання в релаксації фотопровідності.

Таблиця 1

Часові параметри релаксаційних процесів в AgGaGeS₄

T, K	τ_1, s	τ_2, s	τ_3, s
220	49,29	46,98	120,27
230	40,10	29,07	90,92
240	37,04	27,15	68,89
250	36,43	15,94	65,06
260	29,92	15,78	51,31
270	30,11	13,4	43,38
280	27,52	11,14	33,92
290	21,73	10,52	28,52
300	20,13	5,92	19,47

Після припинення фотозбудження релаксація фотопровідності в монокристалах AgGaGeS₄ характеризується наявністю принаймні двох каналів рекомбінації нерівноважних носіїв заряду. Процес релаксації фотопровідності в цьому разі добре описується сумою двох експонент:

$$\Delta\sigma = A \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_3}\right) + B \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_4}\right),$$

де $A \approx B \approx \Delta\sigma_{st}$. За нахилом прямолінійних ділянок залежності провідності від часу (рис. 2 б) в напівлогарифмічному масштабі визначали часи релаксації фотопровідності τ_2 та τ_3 . Відповідно до проведених розрахунків, релаксація фотопровідності має «швидку» та «повільну» компоненти з характерними часами релаксації представленими в табл. 1. Згідно з теоретичними представленнями [9] час релаксації експоненційно зменшується зі зростанням температури, що добре узгоджується з нашими дослідженнями. Це, своєю чергою, дає можливість за нахилом температурної залежності часу релаксації ($\ln \tau(1/T)$) оцінити глибину залягання пастки (E_t).

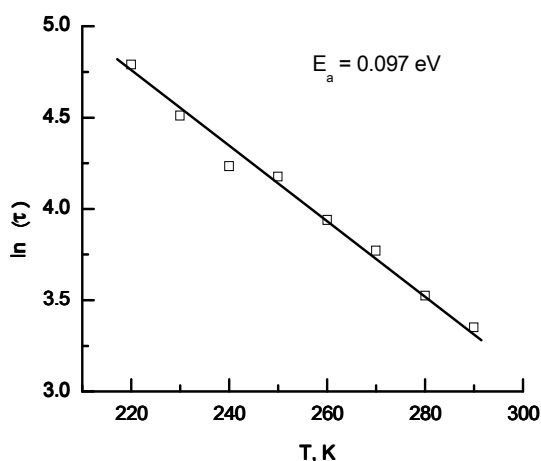


Рис.3. Залежність часу релаксації повільної складової релаксації фотопровідності від температури в кристалах AgGaGeS₄

Отримані таким методом значення енергії глибини залягання t -центрів виявились близькими до значень температурної енергії активації цих центрів, яку визначали зі спектрів термостимульованої провідності в кристалах $\text{AgCd}_2\text{GaS}_4$ [16].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Отже, у роботі після проведених експериментальних досліджень встановлено, що час релаксації фотопровідності в кристалах AgGaGeS_4 залежить від інтенсивності освітлення й температури. Кінетика релаксації фотопровідності характеризується наявністю двох типів релаксаційних процесів: швидкого та повільного з характерними часами, представленими в табл. 1.

Джерела та література

1. Долговременные релаксации и остаточная проводимость в полупроводниках. – М. К. Шейнкман, А. Я. Шик / ФТП. – 1976. – Т.10. – В. 2. – С. 211–234.
2. Долговременная релаксація неравновесной фотопроводимости в полупроводниковых соединениях типа $A^{III}B^V$ / В. С. Вавилов, П. К. Эфимиу, Дж. Е. Зардас // УФН. – 1999. – Т.169. – С. 209–210.
3. Маркевич И. В. Свойства и механизм остаточной проводимости в монокристаллах CdS / И. В. Маркевич, М. К. Шейнкман // ФТТ. – 1970. – Т. 12. – В. 12. – С. 3133–3140.
4. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках / В. С. Вавилов, А. Е. Кив, О. Р. Ниязова. – М. : [б. и.], 1981. – С. 202–215.
5. Панкратов О. А. Перестройка дефектов и долговременные релаксации неравновесных носителей в узкозонных полупроводниках / Б. А. Волков, В. В. Осипов, О. А. Панкратов // ФТП. – 1980. – Т.14. – В.7. – С. 1387–1389.
6. Рывкин С. М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках / С. М. Рывкин. – М. : Физматгиз, 1963. – 496 с.
7. Фізичні властивості тетраарних халькогенідів : монографія / Г.С. Давидюк, Л. В. Булатецька, В. В. Божко та ін. – Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки – 2009. – 212 с.
8. Фотостимулированное образование мелких доноров в чистых кристаллах CdS / Е. Ватева, Б. Ембергенов, Н. Корсунская и др. / ФТП. – 1983. – Т. 17. – В. 3. – С. 484–485.
9. Фотоэлектрические процессы в полупроводниках : учеб. пособие для вузов / В. В. Сердюк, Г. Г. Чемересюк, М. Терек. – Киев ; Одесса : Высш. шк. 1982. – 151 с.
10. Chemical synthesis and crystal growth of AgGaGeS_4 , a material for mid-IR nonlinear laser applications / J. Rame, J. Petit, B. Viana // 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds (ICTMC-19), NIIGATA, Japan, Sep 2014.
11. Photoelectric memory effect in GaAs / G. Vicent, D. Bois, A. Chantre // J. Appl.Phys. – 1982. – Vol. 53. – N. 5. – P. 3643–3649.
12. Saxena Ashok K. / Photoconductivity storage in $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ alloys at low temperatures / Sol. St. Electron. – 1982. – Vol. 25. – N. 2. – P. 127–131.
13. Shikalgar A. G. Photocurrent measurement in chemically deposited CdS:Li films // A. G. Shikalgar, S. H. Pawar / Pramana J. Phis. – 1981. – Vol. 16. – N. 4. – P. 315–318.
14. Single crystal growth and properties of AgGaGeS_4 / О. М. Yurchenko, I. D. Olekseyuk, О. V. Parasyuk, V. Z. Pankevich // Journal of Crystal Growth. Vol. 275, I 1. – P. 1983–1985.
15. Single Crystal Growth and Electronic Structure of Thiogermanate AgGaGeS_4 , a Novel Nonlinear Optical Material / О. Y. Khyzhun, О. V. Parasyuk, and А. О. Fedorchuk // Columbia International Publishing Advances in Alloys and Compounds. 2014. – Vol. 1. – No. 1. – P.15-29.
16. Single Crystal Growth and Electronic Structure of Thiogermanate AgGaGeS_4 , a Novel Nonlinear Optical Material / G. Y. Davydyuk, G. L. Myronchuk, [et. al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2012. – Vol. 73 – P. 439–443.

Миرونчук Галина, Парасюк Олег, Крымусь Андрей. Фотоэлектрические свойства кристалла AgGaGeS_4 .

В работе исследована кинетика релаксации фотопроводимости в кристалле AgGaGeS_4 . Установлено, что время релаксации фотопроводимости в кристаллах AgGaGeS_4 зависит от интенсивности освещения и температуры. По экспериментальным результатам оценена глубина залегания ловушки.

Ключевые слова: релаксація фотопровідності, ловушка, время релаксації.

Myronchuk Galyna, Parasyuk Oleh, Krymus Andrii. Photoelectric Properties of AgGaGeS_4 Crystal. Kinetics of photoconductivity relaxation in AgGaGeS_4 crystal has been investigated in this work. It has been established that photoconductivity relaxation time in AgGaGeS_4 crystals depends on light intensity and the temperature. The depth of trap has been estimated from the experimental data.

Key words: photoconductivity relaxation, trap, relaxation time.

Стаття надійшла до редколегії
15. 04. 2015 р.