УДК 620.3
МРНТИ 29.19.22

https://doi.org/10.55452/1998-6688-2024-21-4-210-218

[1]*Кошанова А.Б.,
докторант, ORCID ID: 0009-0003-6842-2955,
e-mail: aizhankoshanova.kz@gmail.com
[1]Немкаева Р.Р.,
магистр физ.-техн. наук, ORCID ID: 0000-0002-8782-703X,
e-mail: quasisensus@mail.ru
[1]Гусейнов Н.Г.,
магистр физ.-техн. наук, ORCID ID: 0000-0003-4804-5323,
e-mail: solar_neo@mail.ru
[1]Мархабаева А.А.,
PhD, ORCID ID: 0000-0002-0657-422X,
e-mail: aiko_marx@mail.ru
[1]Мухаметкаримов Е.С.,
PhD, ассоц. профессор, доцент, ORCID ID: 0000-0003-1381-4532,
e-mail: m.c.erzhan@mail.ru

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

ПЛАЗМОННЫЙ РЕЗОНАНС В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ZnO С НАНОЧАСТИЦАМИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация

Главным недостатком традиционных оксидов металлов, в том числе оксида цинка (ZnO), является слабое поглощение света в видимом диапазоне. Из множества путей решения данной проблемы создание их композиции с наночастицами (NPs) благородных металлов является наиболее интересным как с практической, так и с теоретической точки зрения. Благодаря эффекту локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР), характеризующегося полосой поглощения света в видимом диапазоне, функциональность оксидных полупроводников может быть существенно улучшена. В этой работе представлены результаты получения композитных пленок на основе ZnO с наночастицами благородных металлов (серебра Ag, золота Au и их сплава AgAu) методом магнетронного распыления, а также анализ эффекта ЛППР в данных композитах. В пленках ZnO:AgNPs ЛППР поглощение наблюдалось на 475 нм, а для ZnO:AuNPs – на 535 нм. Сплавленные наночастицы AuAg демонстрируют максимум с пиком в промежуточном интервале двух этих значений, т.е. в области 508 нм. Полученные данные свидетельствуют о том, что, контролируя состав наночастиц благородных металлов, можно эффективно управлять полосой поглощения света в видимом диапазоне излучения.

Ключевые слова: оксид цинка, наночастицы, серебро, золото, локализованный поверхностный плазмонный резонанс, магнетронное распыление.

Введение

Несмотря на высокую стоимость, наночастицы благородных металлов до сих пор привлекают огромное внимание ученых благодаря своим уникальным плазмонным характеристикам. В частности, в системах с наночастицами серебра (Ag) или золота (Au) наблюдается эффект локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР) [1, 2]. Последнее имеет место, когда падающий свет вызывает резонансное колебание электронов в наночастице. Важно, что резонансная частота зависит от размеров, формы и состава наночастиц, а также их окружения. В частности, известно, что увеличение размеров частиц приводит к смещению резонанса в

сторону длинных волн [3, 4]. Форма наночастиц также играет важную роль: анизотропные структуры, такие как наностержни и нанозвезды, позволяют значительно расширить диапазон плазмонного резонанса [5]. Для наночастиц Ag и Au сферической формы резонансная частота приходится на видимый диапазон излучения. При резонансном освещении происходит локализация энергии падающего излучения на поверхности наночастицы [6, 7], что приводит к возникновению сильного радиального поля вблизи ее поверхности, способного поляризовать органические макромолекулы. Этот эффект является основой техники гигантского (поверхностно-усиленного) комбинационного рассеяния света, которое позволяет детектировать одиночные молекулы [8]. Кроме того, сильная зависимость положения пика плазмонного резонансного поглощения от показателя преломления окружающей среды позволяет создавать датчики показателя преломления [9, 10]. Обзор публикаций последних лет свидетельствует о возрастающем интересе к термооптическим свойствам Au NPs, особенно для медицинских целей и фотокатализа [11–13].

Другой немаловажной областью применения металлических наночастиц является сенсибилизация широкозонных оксидных полупроводников путем создания их композиции. Такое сочетание увеличивает фотокаталитические свойства полупроводников. Наночастицы благородных металлов за счет процессов обмена зарядов на границе металл – полупроводник могут привести к снижению скорости рекомбинации (увеличению времени жизни) неравновесных носителей заряда полупроводника. Во многих работах доказано, что при освещении такой системы УФ-излучением увеличение фотокаталитической активности происходит за счет захвата электронов из зоны проводимости полупроводника металлом и обратный процесс наблюдается при освещении видимым светом.

Ярким представителем широкозонных полупроводников является оксид цинка (ZnO), который широко применяется в различных областях. В частности, ZnO обладает замечательной физической и химической стабильностью [14], большой зоной пропускания и энергией связи экситонов [15], что делает его незаменимым в оптоэлектронике и солнечных батареях [16].

В этой работе основное внимание уделено возможности контролируемого изменения положения полосы поглощения света в композитных тонких пленках ZnO:MeNPs (Ag/Au NPs). Пленки были получены методом магнетронного распыления комбинированной мишени с последующей термической обработкой.

Материалы и методы

Тонкие пленки ZnO:Ag/Au были получены методом ВЧ магнетронного распыления комбинированной мишени, состоящей из круглой заводской мишени оксида цинка (4N, 3’’), в зоне эрозии которой были симметрично расположены стержни серебра (Ag) и золота (Au) размером 0,5 мм × 10 мм. Аналогичная схема используемой установки представлена в [17] работе. Осаждение пленок осуществлялось в течение 30 минут при постоянной мощности ВЧ разряда (70 Вт) и давлении (0,7 Па), обеспечивающемся постоянным потоком ОСЧ аргона в 60 стандартных кубических сантиметрах в минуту. Расстояние между мишенью и подложкой было зафиксировано на 8 см, что обеспечивало однородность пленок по толщине.

В качестве подложек были использованы кварцевые стекла (КУ-1) для изучения оптических спектров поглощения, кремниевые подложки (n типа, ориентация (100), сопротивление 5 Ом) для элементного анализа и определения толщины. Для получения изолированных наночастиц полученные свежеосажденные пленки подвергались отжигу в муфельной печи. Отжиг проводился в течение 20 минут при температуре 500 ^{o}C в условиях атмосферы воздуха. При этом скорость нагрева печи составляла ~12 ^{o}C, а охлаждение было естественным. Параметры отжига подбирались таким образом, чтобы при кристаллизации оксидной матрицы не происходило формирование трещин и размер металлических наночастиц сохранялся минимальным.

Состав свежеосажденных тонких пленок контролировался методом энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 3D 200i с приставкой EDAX. Структура композитов ZnO:MeNPs была охарактеризована методом рамановской спектроскопии на приборе Solver Spectrum (NT-MDT) с лазерными источниками возбуждения 473 нм и 633 нм в диапазоне от 50 до 1500 $см^{-1}$ и временем экспозиции 100 с. Наличие наночастиц благородных металлов было подтверждено результатами исследования поверхности методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) (Solver Spectrum, NT-MDT) и СЭМ. Оптические спектральные характеристики тонких пленок были исследованы в диапазоне видимого излучения на спектрофотометре Shimadzu UV-3600.

Основные положения

Традиционные оксиды металлов, такие как ZnO, имеют слабое поглощение света в видимом диапазоне. Одним из решений этой проблемы является создание композитов с наночастицами благородных металлов (Ag, Au, и их сплава AgAu), которые обладают эффектом локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР).

В пленках ZnO ЛППР поглощение наблюдалось на 475 нм, в ZnO – на 535 нм, а сплавленные наночастицы AuAg показывали максимум в области 508 нм. Это свидетельствует о возможности контролировать полосу поглощения света путем изменения состава наночастиц.

Результаты и обсуждение

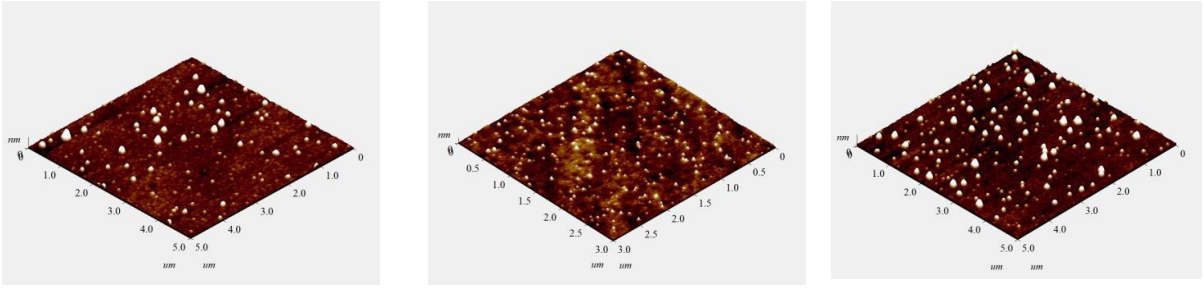
1. Структура и морфология тонких пленок ZnO:MeNPs

В таблице 1 представлены результаты элементного анализа состава свежеосажденных пленок, толщины и количество использованных стержней благородных металлов на поверхности распыляемой мишени. При указанных количествах стержней композитные пленки содержали около 1–2 ат. % благородных металлов, а их толщины, выявленные сканированием скола структуры ZnO:Me/Si, составляли 105–109 нм.

Таблица 1 – Толщины и элементный состав тонких композиционных пленок ZnO:Me

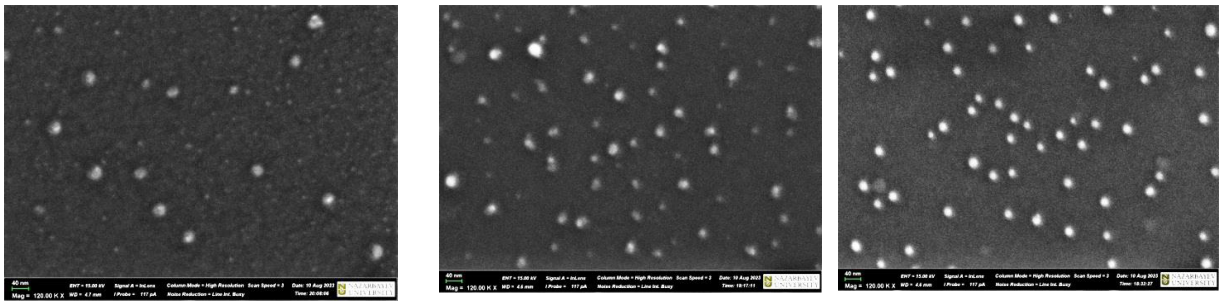
#	Обозначение образца	Метал. стержни, шт.	Толщина, Нм	Zn, ат. %	O, ат. %	Ag, ат. %	Au, ат. %
1	ZnO:AgNPs	4 Ag	105	49.49	49.38	1.13	-
2	ZnO:AgAuNPs	2-Ag, 2-Au	106	49.39	49.27	0.79	0.55
3	ZnO:AuNPs	4 Au	109	49.48	49.14	-	1.38

Свежеосажденные композиционные пленки ZnO:MeNPs обладали высокой прозрачностью, что, в свою очередь, означает, что примеси металла не образовали изолированные наночастицы в матрице ZnO. Последующий отжиг в воздушной атмосфере привел к частичной кристаллизации матрицы и образованию наночастиц на поверхности пленок ZnO. Это утверждение подтверждается результатами исследования поверхностей отожженных пленок методами АСМ и СЭМ. На рисунке 1 представлены АСМ изображения морфологии поверхностей отожженных тонких пленок ZnO:Ag/Au. Видно, что на поверхности пленок ZnO появились наночастицы со средним диаметром ~20–30 нм. На рисунке 2 также представлены СЭМ изображения поверхности указанных пленок, на которых также можно заметить белые пятна, соответствующие наночастицам благородных металлов.



а) ZnO:AgNPs б) ZnO:AgAuNPs в) ZnO:AuNPs

Рисунок 1 – АСМ изображения поверхности пленок ZnO:MeNPs после отжига



а) ZnO:AgNPs б) ZnO:AgAuNPs в) ZnO:AuNPs

Рисунок 2 – СЭМ изображения поверхности тонких пленок ZnO:MeNPs после отжига

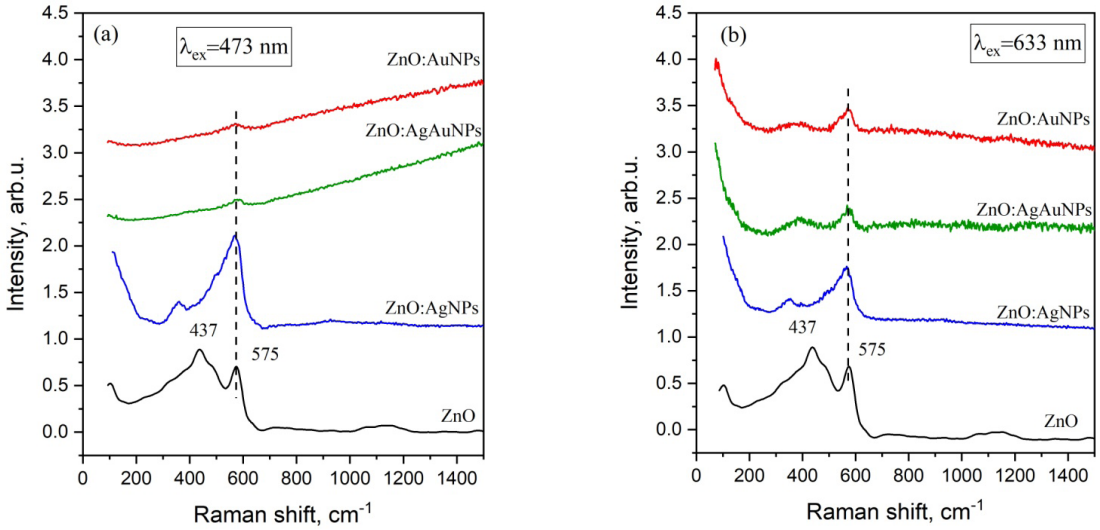
В кристаллическом ZnO ширина запрещенной зоны составляет около 3.3 эВ, но при добавлении наночастиц серебра и золота возникают ЛППР, которые могут изменять ширину зоны. В аморфном ZnO с наночастицами металлов ширина запрещенной зоны также изменяется, причем дефекты и неоднородности структуры усиливают этот эффект [18].

Кроме того, важно помнить, что кристаллическая фаза ZnO за счет своей упорядоченной структуры обеспечивает более высокие оптические свойства, включая показатель преломления (2,0–2,1), по сравнению с аморфной формой (1,6–1,9), что оказывает существенное влияние и на положение пика плазмонного резонанса в композитных материалах с соответствующей матрицей [19].

Структурные характеристики чистого ZnO и композитных пленок ZnO:MeNPs после отжига были изучены методом рамановской спектроскопии. Из рисунка 3 следует, что рамановский спектр чистого ZnO содержит два наиболее ярко выраженных пика в области 437 и 575 $см^{-1}$, соответствующих E_2(high) и A_1(LO)/E_1(LO) фононным модам. Широкий пик в области ~1100 $см^{-1}$ соответствует двум фононным модам оксида цинка 2LO при 1104 $см^{-1}$ и 2A_1(LO) при 1155 $см^{-1}$. При этом пик в области 575 $см^{-1}$ соответствует дефектной структуре оксида цинка. Уширение в диапазоне частот от 300 до 500 $см^{-1}$ объясняется влиянием сигнала подложки аморфного оксида кремния на рамановский спектр ZnO [20–21].

Исследование композитных тонких пленок ZnO:MeNPs осуществлялось с использованием двух длин волн возбуждающего лазера: 473 нм и 633 нм. Это связано с влиянием прямых электронных переходов в наночастицах благородных металлов на рамановский спектр пленки ZnO, так как возникает излучательная рекомбинация электронов в металле. Известно, что энергия прямых межзонных переходов для серебра приходится на ~4 эВ, а для золота эта энергия равна ~2,4 эВ [22]. Действительно, рамановские спектры ZnO:AgAuNPs и ZnO:AuNPs, полученные с использованием 473 нм лазера (рисунок 3 а)), неинформативны из-за растуще-

го тренда флуоресценции наночастиц. Аналогичные спектры, полученные с использованием 633 нм лазера (рисунок 3 б)), содержат пики в области 575 $см^{-1}$, соответствующие дефектной структуре оксида цинка, и широкие пики в области 437 $см^{-1}$ основного пика ZnO. Обратная картина наблюдалась для композитной пленки ZnO:AgNPs. Рамановский спектр ZnO:AgNPs, полученный с использованием 473 нм и 633 нм лазеров, содержит интенсивный дефектный пик в области 575 $см^{-1}$ и широкий пик в области ~355 $см^{-1}$, вероятно, соответствующий двум фононным модам оксида цинка E_2(high)-E_2(low) и A_1(TO) [23].



а) Возбуждающий лазер 473 нм

б) Возбуждающий лазер 633 нм

Рисунок 3 – Раман спектры пленки ZnO и композитных тонких пленок ZnO:MeNPs

2. Локализованный поверхностный плазмонный резонанс в ZnO:MeNPs

Наличие эффекта локализованного поверхностного плазмонного резонанса в отожженных пленках в ZnO:MeNPs было подтверждено результатами исследования спектральной зависимости оптической плотности композитных пленок. На рисунке 4 представлены спектры оптической плотности рассматриваемых композиционных пленок ZnO:AuAg, нормированные на максимум пика плазмонного поглощения. При этом для композитной пленки ZnO:AgNPs пик резонансного поглощения приходится на 475 нм, а для ZnO:AuNPs – на 535 нм. Сплавленные наночастицы AuAg демонстрируют максимум с пиком в промежуточном интервале двух этих значений, т.е. в области 508 нм. Следует отметить, что чистая пленка ZnO имеет низкое поглощение света в видимом диапазоне.

На основе представленной на рисунке 4 спектральной зависимости оптической плотности можно заключить, что изменение состава наночастиц сплава AuAg, приводит к сдвигу положения пика поглощения света. В качестве доказательства на рисунке 5 представлены нормированные спектры оптической плотности, полученные с применением разных количеств золотых и серебряных стержней в процессе распыления. Нижние индексы в описании обозначают количество использованных стержней в процессе распыления. Из представленных на рисунке 5 графиков видно, что путем изменения состава металлических наночастиц можно эффективно управлять полосой поглощения света, связанной с эффектом локализованного поверхностного плазмонного резонанса.

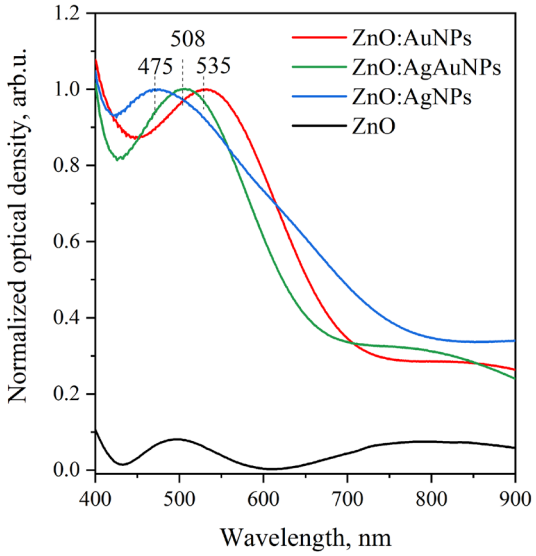


Рисунок 4 – Нормализованные спектры оптической плотности
для пленки ZnO и композитных тонких пленок ZnO:MeNPs

Следует отметить, что увеличение времени отжига также может влиять на положение максимума поглощения, так как при высокой температуре происходит сильная диффузия ионов металлов. Длительный отжиг приводит к увеличению размеров наночастиц на поверхности пленок ZnO, что, как широко известно, приводит к красноволновому смещению пика поглощения [24]. Кроме того, на положение пика поглощения влияет и расстояние между наночастицами. Это, в свою очередь, означает, что концентрация металла также приведет к существенному изменению пика. Тем не менее продемонстрированный в работе механизм настройки оптического поглощения имеет ряд преимуществ по сравнению с вышеуказанными процессами. Так, например, известно, что ионы серебра имеют высокую диффузионную способность [25] и композиты на их основе могут со временем изменять оптические свойства [26] в отличие от более стабильных композитов с наночастицами Au. Однако плазмонные эффекты наиболее ярко проявляются именно в наночастицах Ag. Поэтому создание композитных пленок на основе наночастиц сплава AgAu и оксидной матрицы позволит стабилизировать свойства композита без существенных потерь в эффективности.

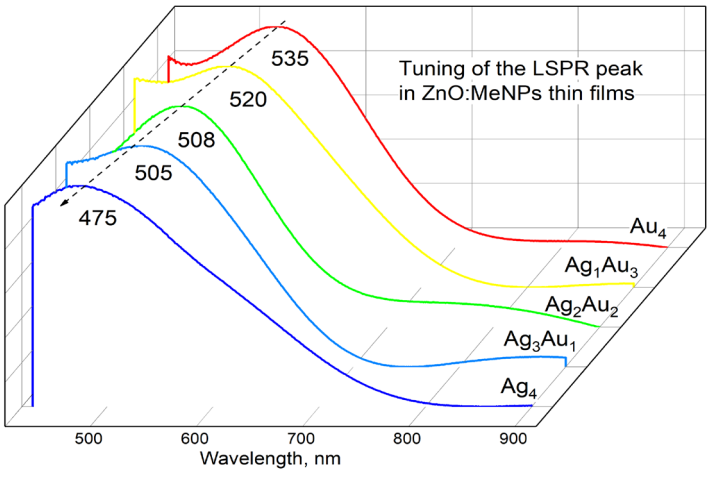


Рисунок 5 – Нормализованные спектры оптической плотности
в композиционных тонких пленках ZnO:MeNPs

Заключение

В данной работе продемонстрирована возможность создания композитных тонких пленок оксида цинка ZnO с наночастицами благородных металлов Ag, Au и AgAu. Композиты были получены путем термической обработки пленок ZnO:Me, полученных методом магнетронного ВЧ распыления комбинированной мишени. В работе показано, что путем создания наночастиц сплава AgAu можно эффективно управлять полосой резонансного поглощения света в видимом диапазоне. Анализ структуры методом рамановской спектроскопии указывает на необходимость исследования таких систем с применением различных длин волн возбуждающего лазера из-за проявления флуоресцентного тренда, связанного с прямыми межзонными электронными переходами в благородных металлах. Полученные в рамках работы композитные пленки могут представлять интерес при создании оптических фильтров, сенсоров окружающей среды, электродов фотоэлектрохимических ячеек, предназначенных для очистки сточных вод и преобразования солнечной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1 Khurana K., Jaggi N. Localized Surface Plasmonic Properties of Au and Ag Nanoparticles for Sensors: A Review. Plasmonics, 2021, no.16, pp. 981–999.

2 Guglielmelli A., Pierini F., Tabiryan N., Umeton C., Bunning T.J., De Sio L. Thermoplasmonics with Gold Nanoparticles: A New Weapon in Modern Optics and Biomedicine. Adv. Photonics Res. 2021, no. 2, p. 2000198.

3 F.Y. Alzoubi, Ahmad A. Ahmad, Ihsan A. Aljarrah, A.B. Migdadi, and Qais M. Al-Bataineh. Localize surface plasmon resonance of silver nanoparticles using Mie theory. J. Mater Sci: Mater Electron, 2023, no. 34, p. 2128.

4 Koichi Okamoto, Daisuke Tanaka, Tetsuya Matsuyama, Kenji Wada, Yusuke Arima and Kaoru Tamada. Design and Optimization of Silver Nanostructured Arrays in Plasmonic Metamaterials for Sensitive Imaging Applications. J. Photonics, 2024, vol. 11, no. 4, p. 292.

5 Novikov S.M., Popok V.N., Fiutowski J., Arsenin A.V. and Volkov V.S. Plasmonic properties of nanostructured graphene with silver nanoparticles. J. Phys.: Conf. Ser., 2020, no. 1461, p. 012119.

6 Baffou G., Cichos F., Quidant R. Applications and Challenges of Thermoplasmonics. Nat. Mater., 2020, no. 19, pp. 946–958.

7 Chehadi Z., Girardon J.S., Capron M., Dumeignil F., Jradi S. Thermoplasmonic-Induced Energy-Efficient Catalytic Oxidation of Glycerol over Gold Supported Catalysts Using Visible Light at Ambient Temperature. Appl. Catal. A Gen., 2019, no. 572, pp. 9–14.

8 Brognara A., Bricchi B.R., William L., Brinza O., Konstantakopoulou M., Bassi A.L., Ghidelli M., Lidgi-Guigui N. New Mechanism for Long Photo-Induced Enhanced Raman Spectroscopy in Au Nanoparticles Embedded in TiO2. Small, 2022, no. 18, p. 2201088.

9 Ye J., Arul R., Nieuwoudt M.K., Dong J., Zhang T., Dai L., Greenham N.C., Rao A., Hoye R.L.Z., Gao W. et al. Under-standing the Chemical Mechanism behind Photoinduced Enhanced Raman Spectroscopy. J. Phys. Chem. Lett., 2023, no. 14, pp. 4607–4616.

10 Lyu P., Espinoza R., Nguyen S.C. Photocatalysis of Metallic Nanoparticles: Interband vs Intraband Induced Mechanisms. J. Phys. Chem. C, 2023, vol. 127, no. 32, pp. 15685–15698

11 Rituraj Borah, Rajeshreddy Ninakanti, Sara Bals & Sammy W. Verbruggen. Plasmon resonance of gold and silver nanoparticle arrays in the Kretschmann (attenuated total reflectance) vs. direct incidence configuration. J. Scientific Reports, 2022, vol. 12, Article number: 15738.

12 Alexis Loiseau, Victoire Asila, Gabriel Boitel-Aullen, Mylan Lam, Michèle Salmain and Souhir Boujday. Silver-Based Plasmonic Nanoparticles for and Their Use in Biosensing. J. Biosensors (Basel), 2019 Jun., vol. 9, no. 2, p. 78.

13 Karunakaran C., Rajeswari V., Gomathisankar P. Combustion synthesis of ZnO and Ag-doped ZnO and their bactericidal and photocatalytic activities. J. Superlattices and Microstructures, 2011, vol. 50, Issue 3, pp. 234–241.

14 Linhua Xu, Gaige Zheng, Lilong Zhao, Shixin Pei. Two different mechanisms on UV emission enhancement in Ag-doped ZnO thin films. J. Journal of Luminescence, 2015, vol. 158, pp. 396–400.

15 Zhuang T.-T., Liu Y., Li Y., Sun M., Sun Z.-J., Du P.-W., Jiang J., Yu S.-H. 1D Colloidal Hetero-Nanomaterials with Programmed Semiconductor Morphology and Metal Location for Enhancing Solar Energy Conversion. J. Small., 2017, no. 13, p. 1602629.

16 Mwankemwa B.S., Nambala F.J., Kyeyune F., Hlatshwayo T.T., Nel J.M., Diale M. Materials Science in Semiconductor Processing, 2017, no. 71, pp. 209–216.

17 Prikhodko O., Dosseke U., Nemkayeva R., Rofman O., Guseinov N., Mukhametkarimov Ye. Localized surface plasmon resonance phenomenon in Ag/Au-WO3-x nanocomposite thin films. J. Thin Solid Films, 2022, no. 757, p. 139387.

18 Asaad A. Kamil, Nabeel A. Bakr, Mubarak T.H., Al-Zanganawee J. Effect of Au and Ag nanoparticles addition on the morphological, structural and optical properties of ZnO thin films deposited by sol-gel method. J. Journal of Ovonic Research, 2022, vol. 18, no. 3, pp. 431–442.

19 Ziaul Raza Khan, Mohd Shoeb Khan, Mohammad Zulfequar, Mohd Shahid Khan. Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method. J. Materials Sciences and Applications, 2011, no. 2, pp. 340–345.

20 Kumar P., Som S., Pandey M. K, Das S, Chanda A, Singh J. Journal of Alloys and Compounds 744, 2018, pp. 64–74.

21 Prabhu S., Pudukudy M., Sohila S., Harish S., Navaneethan M., Navaneethan D., Ramesh R., Hayakawa Y., Optical Materials, 2018, no. 79, pp. 186–195.

22 Changhwan Lee, Yujin Park and Jeong Young Park. Hot electrons generated by intraband and interband transition detected using a plasmonic Cu/TiO2 nanodiode. RSC Adv., 2019, no. 9, pp. 18371–18376.

23 Siti Huzaimah Ributa, Che Azurahanim Che Abdullaha, Mohd Zaki Mohammad Yusof. Investigations of structural and optical properties of zinc oxide thin films growth on various substrates. J. Results in Physics, 2019, vol. 13, p.102146.

24 Quinten M. Optical Properties of Nanoparticle Systems: Mie and Beyond, November 2010, p. 502. ISBN: 978-3-527-63315-9.

25 Shaheen Husain, Aditya Nandi, Faizan Zarreen Simnani, Utsa Saha, Aishee Ghosh, Adrija Sinha, Aarya Sahay, Shailesh Kumar Samal, Pritam Kumar Panda and Suresh K. Verma. Emerging Trends in Advanced Translational Applications of Silver Nanoparticles: A Progressing Dawn of Nanotechnology. J. Funct. Biomater., 2023, 14, 47.

26 Takeo Tomiyama, Ikuo Mukai, Hiroshi Yamazaki and Yoshihiko Takeda. Optical properties of silver nanowire/polymer composite films: absorption, scattering and color difference. J. Optical Materials Express, 2020, vol. 10, Issue 12, pp. 3202–3214.

[1*]Кошанова А.Б.,
докторант, ORCID ID: 0009-0003-6842-2955
e-mail: aizhankoshanova.kz@gmail.com
[1]Немкаева Р.Р.,
физ.-тех.ғылымдарының магистрі, ORCID ID: 0000-0002-8782-703X
e-mail: quasisensus@mail.ru
[1]Гусейнов Н.Г.,
физ.-тех.ғылымдарының магистрі,ORCID ID: 0000-0003-4804-5323
e-mail: solar_neo@mail.ru
[1]Мархабаева А.А.,
PhD, ORCID ID: 0000-0002-0657-422X
e-mail: aiko_marx@mail.ru
[1]Мухаметкаримов Е.С.,
PhD, қауымдастырылған профессор, доцент, ORCID ID: 0000-0003-1381-4532
e-mail: m.c.erzhan@mail.ru

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

АСЫЛ МЕТАЛДАР НАНОБӨЛШЕКТЕРІ ҚОСЫЛҒАН ZnO ЖҰҚА ҚАБЫРШАҚТАРЫНДАҒЫ ПЛАЗМОНДЫҚ РЕЗОНАНС

Аңдатпа

Дәстүрлі металл оксидтерінің, соның ішінде мырыш оксидінің (ZnO) негізгі кемшілігі – көрінетін аумақта жарықты әлсіз жұтуы. Бұл мәселені шешуде практикалық және теориялық көзқарас тұрғысынан көп

қызығушылық тудыратын жолдарының бірі – олардың құрамына асыл металдардың нанобөлшектерін (NPs) қосу арқылы композиттер алу. Мұндай композиттер жарықтың көрінетін аумағындағы жұтылу жолағын локальды беттік плазмондық резонанс (ЛБПР) эффектісі арқылы кеңейтіп, оксидті жартылайөткізгіштердің функционалдық қасиеттерін едәуір арттыра алады. Бұл жұмыста магнетрондық тозаңдандыру әдісі арқылы асыл металдардың (күміс – Ag, алтын – Au және олардың қоспасы – AgAu) нанобөлшектері қосылған ZnO негізіндегі композициялық қабыршақтарды алу нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ, осы композиттердегі ЛБПР әсерінің талдауы жасалды. Аталған ZnO қабыршақтарында ЛБПР әсері 475 нм, ал ZnO үшін 535 нм толқын ұзындығында байқалды. AuAg біріктірілген нанобөлшектері осы екі толқын ұзындықтарының аралығындағы диапазонда, нақтырақ айтқанда, 508 нм-де ЛБПР-дің максималды пигін көрсетті. Алынған нәтижелер асыл металл нанобөлшектерінің құрамын өзгерту арқылы көрінетін спектр аймағындағы жарықты жұту жолағын тиімді басқаруға болатынын көрсетті.

Тірек сөздер: цинк оксиді, нанобөлшектер, күміс, алтын, локальды беттік плазмондық резонанс, магнетрондық тозаңдандыру.

[1]Koshanova A.B.,
doctoral student, ORCID ID: 0009-0003-6842-2955,
e-mail: aizhankoshanova.kz@gmail.com
[1]Nemkayeva R.R.,
Master of Phys.-Tech Sciences, ORCID ID: 0000-0002-8782-703X,
e-mail: quasisensus@mail.ru
[1]Guseinov N.G.,
Master of Phys.-Tech Sciences, ORCID ID: 0000-0003-4804-5323,
e-mail: solar_neo@mail.ru
[1]Markhabayeva A.A.,
PhD, ORCID ID: 0000-0002-0657-422X,
e-mail: aiko_marx@mail.ru
[1]Mukhametkarimov Ye.S.,
PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0003-1381-4532,
e-mail: m.c.erzhan@mail.ru

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Department of Physics and Technology,
Almaty, Kazakhstan

PLASMON RESONANCE IN THIN ZnO FILMS WITH NANOPARTICLES OF NOBLE METALS

Abstract

The main disadvantage of traditional metal oxides, including zinc oxide (ZnO), is poor absorption of light in the visible range. Among the many ways to solve this problem, the creation of their composition with noble metal nanoparticles (NPs) is the most interesting from both practical and theoretical points of view. Due to the effect of localized surface plasmon resonance (LSPR), characterized by a light absorption band in the visible range, the functionality of oxide semiconductors can be significantly improved. This work presents the results of preparation of composite films based on ZnO with nanoparticles of noble metals (silver Ag, gold Au and their alloy AgAu) by magnetron sputtering, as well as the analysis of the LSPR effect in these composites. In ZnO:AgNPs films, the LSPR absorption was observed at 475 nm, while for ZnO:AuNPs at 535 nm. The AuAg alloy nanoparticles exhibit a maximum in the intermediate interval of these two values, i.e., in the region of 508 nm. The obtained data indicate that by controlling the composition of noble metal nanoparticles it is possible to effectively control the light absorption band in the visible range.

Key words: zinc oxide, nanoparticles, silver, gold, localized surface plasmon resonance, magnetron sputtering.

Дата поступления статьи в редакцию: 18.06.2024