

*Rena J. Kasumova,
ScD (Doctor), professor;*

*Sofya R. Figarova,
ScD (Doctor), professor;*

*Gulnara A. Safarova,
PhD,
Baku State University*

Nonlinear Cubic response for Er Doped Zinc Oxide

Key words: *zinc oxide, dopant, erbium, constant-intensity approximation, cubic susceptibility, exciton.*

Annotation: *In this study we are going to analyze the efficiency of frequency conversion to third harmonic under the constant-intensity approximation for the case of ZnO with impurity (ZnO:Er) and without impurity at different erbium concentrations. The factors which limit the efficiency of the process of conversion of frequency are studied.*

Оксид цинка, являясь широкозонным полупроводником n типа, сочетает в себе прозрачность, высокую электропроводность, большую экситонную энергию связи ~60 мэВ. Пленки ZnO, легированные эрбием, успешно используются при разработке светодиодов, оптоэлектронных приборов. Оксид цинка перспективный полупроводниковый материал при изготовлении солнечных батарей, люминесцентных материалов.

Известен ряд методов, с помощью которых можно исследовать нелинейно оптические характеристики среды. Это методы генерации второй и третьей гармоник, врожденное четырехволновое взаимодействие, метод Z – сканирования и другие. Необходимо отметить, что метод, использующий генерацию третьей гармоники, позволяет напрямую фиксировать чисто когерентный электронный вклад в нелинейность.

Важным фактором, влияющим на морфологию исследуемых образцов, является величина температуры, при которой происходит термическая обработка получаемых пленок. Данный температурный параметр сильно влияет на структуру и степень шероховатости получаемых нанокompозитных пленок.

Кроме того физическими, в частности оптическими и электрическими, свойствами оксида цинка можно управлять, добавляя различные примеси.

Экспериментально обнаружено, что в случае добавления к оксиду цинка серебра или меди наблюдается уменьшение нелинейно оптического отклика в полученных

соединениях ZnO:Ag и ZnO:Cu (1), в случае же легирования оксида цинка эрбием имеет место рост на порядок кубичной нелинейной восприимчивости для ZnO:Er(2%) (2-5).

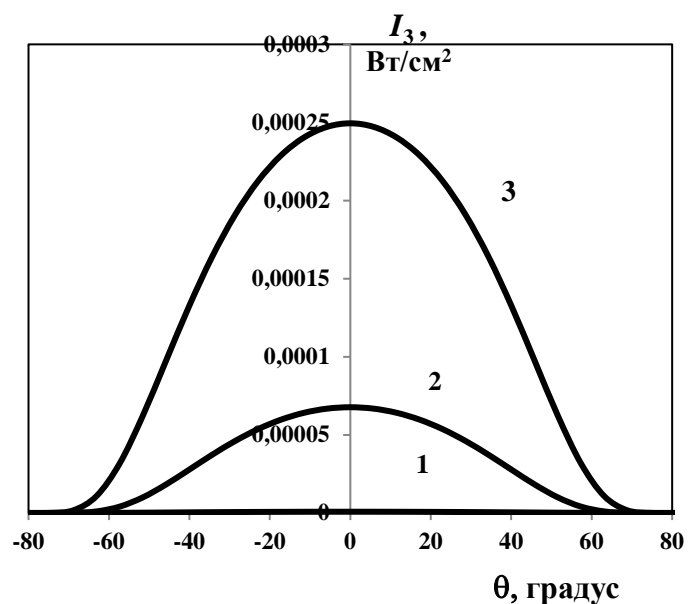
При определенных концентрациях примесей в тонких пленках оксида цинка возможны значительные изменения морфологии и оптических свойств ZnO. Исследования показали, что электронными и люминесцентными свойствами пленок ZnO можно регулировать, меняя концентрацию примеси. Как известно, эрбий редкоземельный элемент, трехвалентные ионы которого, внедренные в матрицу из оксида цинка, участвуют в эффективном энергообмене с экситоном.

В представленной работе докладываются результаты исследований эффективности частотного преобразования в третью гармонику в приближении заданной интенсивности (6) для пленки оксида цинка, легированного эрбием. Рассмотрено несколько вариантов концентраций примеси в матрице оксида цинка. Обсужден механизм возникающего нелинейно оптического отклика.

Теоретический анализ был проведен для генерации третьей гармоники в чистом и легированном эрбием оксиде цинка с учетом явления рефракции, эффекта сноса излучения гармоники. В качестве основного излучения было принято излучение неодимового лазера с модулированной добротностью (Q-switched Nd:YAG laser) на длине волны 1.064 мкм, который был использован в эксперименте с нанокompозитными пленками ZnO и ZnO:Er с толщинами от 200 до 270 нм (2-5).

На рисунке приведены зависимости интенсивности третьей гармоники от угла вращения образцов пленок для экспериментально используемой величины плотности мощности лазерного излучения 2 ГВт/см^2 в случае беспримесного оксида цинка (кривая 1) и ZnO, легированного эрбием с концентрациями 2% (кривая 3) и 5% (кривая 2).

Как видно из сравнения кривых 1-3 данного рисунка сильный сигнал третьей гармоники наблюдается в случае ZnO:Er 2%, когда на эксперименте этому образцу соответствует лучшая морфология, т.е. лучшее качество кристалличности образца. По-видимому, это связано с тем, что при 2 % примеси эрбия поверхность нанопленки однородная, экситоны не локализируются у поверхности раздела и основной причиной роста нелинейно оптического отклика является экситонный резонанс. С увеличением примеси поверхность становится пористой, основную роль начинают играть поверхностные экситоны, которые



локализуются у поверхности раздела, что ведет к уменьшению диэлектрической восприимчивости пленки, и как следствие к уменьшению сигнала гармоники.

Таким образом, в работе приведены результаты теоретического исследования нелинейно оптических свойств пленок оксида цинка. Рассмотрены два варианта состава нанокмозитов: чистый оксид цинка и легированный, включающий редкоземельный эрбий. Проанализированы двухпроцентный и пятипроцентный составы примеси эрбия в матрице, роль которой сыграл оксид цинка. Используемый метод приближения заданной интенсивности позволяет оценить ожидаемую эффективность процесса частотного преобразования. Показано, что легирование эрбия существенно повышает интенсивность третьей гармоники. Это происходит, когда поверхность полученных образцов имеет наименьшую степень шероховатости, когда происходит делокализация экситонов. С увеличением примеси эрбия свыше 2% поверхность становится пористой, увеличивается шероховатость поверхности получаемых образцов.

References:

1. Kulyk B, Sahraoui B, Figa V, Turko B, Rudyk V, Kapustianyk V. Influence of Ag, Cu dopants on the second and third harmonic response of ZnO films: *Journal of Alloys and Compounds*, 2009; 481; 819–825.
2. Vinay Kumar, Vinod Kumar, Malik BP, Mehra RM, Mohan D. Nonlinear optical properties of erbium doped zinc oxide (IEZO) thin films: *Optics Communications*, 2012; 285; 2182-2188.
3. Sofiani Z, Shahraoui B, Addou M, Adhiri R, Lamrani MA, Dghoughi L, Fellahi N, Derkowska B, Bala W. Third harmonic generation in undoped and X doped ZnO films (X: Ce, F, Er, Al, SnO deposited by spray pyrolysis: *J. of Applied Physics*, 2007; 101; 063104-1-5.
4. Lamrani MA, Addou M, Sofiani Z, Shahraoui B, Ebothe J, Hichou A El, Fellahi N, Bernede JC, Dounia R. Cathodoluminescent and nonlinear optical properties of undoped and erbium doped nanostructured ZnO films deposited by spray pyrolysis: *Optics Communications*, 2007; 277; 196-201.
5. Lamrani MA, Jouad M El, Addou M, Habbani T El, Fellahi N, Bahedi K, Touhami M Ebn, Essaidi Z, Sofiani Z, Shahraoui B, Meghea A, Rau I. Influence of roughness surfaces on third-order nonlinear-optical properties of erbium-doped zinc oxide thin films: *Spectroscopy Letters*, 2008; 41; 292-298.
6. Tagiev ZH, and Chirkin AS, Fixed intensity approximation in the theory of nonlinear waves; *J. Eksp. Teor. Fiz.*, 1977; 73; 1271-1282 [*Sov. Phys. JETP*, v. 46, 1977; 669-680]; Tagiev ZH, Kasumova RJ, Salmanova RA, Kerimova NV. Constant-intensity approximation in a non-linear wave theory: *J. Opt. B: Quantum Semiclas. Opt.*, 2001; 3; 84-87.