

РЕЗЮМЕТА
на научни публикации на гл.ас. д-р Наталия Димитрова Берберова-Бухова ,
на български и английски език

За участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“ по
професионално направление 4.1 „Физически науки”,
обявен от ИОМТ-БАН в ДВ брой 79 от 4 октомври 2022 г.

В – 4. Показател 4: Хабилизационен труд – научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus)

A1. Influence of the size of nanoparticles doped in series of azopolymers on the photoinduced birefringence

Dimana Nazarova, Lian Nedelchev, Violeta Dragostinova, Natalia Berberova

Abstract: In this paper we present a study of the photoinduced anisotropy in novel nanocomposite films of azopolymers doped with ZnO nanoparticles with different sizes – 50 and 100 nm. The photoresponse was evaluated by classical polarimetric setup with two crossed polarizers, recording laser with wavelength 473 nm and probe He-Ne laser. Our experimental results indicate that doping with both 50 and 100 nm sized particles improves the response time, however the smaller size nanoparticles provide increase of Δn_{max} with up to 40%, as the 100 nm particles reduce the saturated value of the birefringence, due to the higher scattering.

Резюме: В тази статия представяме изследване на фотоиндуцираната анизотропия в нови нанокомпозитни слоеве от азополимери с вградени наночастици ZnO с различни размери – 50 и 100 nm. Оценка на фотоотклика е направена чрез класическа поляриметрична схема с два кръстосани поляризатора, записващ лазер с дължина на вълната 473 nm и пробен He-Ne лазер. Резултатите от експеримента показват, че дотирането с частици с двата размера 50 и 100 nm подобрява времето за отклик. По-малките наночастиците водят до увеличение на двулъчепречупването с до 40%, докато частиците от 100 nm намаляват стойността на насищане на двулъчепречупването, поради по-силното разсейване.

A2. Time dependent spectral birefringence excited with laser light in azopolymers and azopolymers doped with ZnO

L. Nedelchev D. Nazarova, B. Blagoeva, D. Ivanov, D. Daskalova, N. Berberova, G. Mateev, D. Kostadinova

Abstract: Azopolymers are one of the most efficient types of media for recording the polarization state of light. An essential optical parameter to characterize them is the value of the birefringence Δn induced on illumination with polarized light. Laser beam is used as a pump and the birefringence is commonly probed by another laser with wavelength, different from the pump one. However, data about the spectral behavior of Δn are given rarely.

In this work we present experimental data for the dynamics of spectra of birefringence during illumination with pump lasers with wavelengths varying from 355 nm to 514 nm i.e. from the peak of absorbance to the edge of the absorbance band of the azopolymer used. Furthermore,

we investigate the influence of nanoparticles from zinc oxide (ZnO) with different concentrations, incorporated in the azopolymer. The azopolymer used for this study is the water soluble poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], shortly denoted as PAZO. As indicated by our experiments, thin films from this azopolymer can be used for polarization diffractive elements, operating in the entire visible range of the spectrum.

Резюме: Азополимерите са едни от най-ефективните среди за запис на поляризацията на светлината. Важен оптичен параметър за тяхното характеризиране е стойността на двулъчепречупването Δn , получено при осветяване с поляризирана светлина. Използва се лазерен лъч като напмпващ, а двулъчепречупването обикновено се проследява от друг лазер с дължина на вълната, различна от напмпващия. Независимо от многото приложения на азополимерите данни за спектралното поведение на Δn се дават рядко в литературата.

В тази работа са представени експериментални данни за кинетиката на спектрите на двулъчепречупването по време на осветяване с напмпващи лазери с дължини на вълната, вариращи от 355 nm до 514 nm, т.е. от пика на поглъщане до границата на ивицата на поглъщане за използвания азополимер. Освен това, ние изследваме влиянието на наночастици от цинков оксид (ZnO) с различни концентрации, вградени в азополимера. Азополимерът, използван за това изследване, е водоразтворимият poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], накратко означен като PAZO. Както е получено в нашите експерименти, тънки слоеве от този азополимер може да се използват като поляризационни дифракционни елементи, работещи в целия видим диапазон на спектъра.

A3. Polarization holographic gratings with enhanced parameters recorded in azopolymer based nanocomposite materials

Dimana Nazarova , Georgi Mateev , Lian Nedelchev, Elena Stoykova, Blaga Blagoeva,
Nataliya Berberova , Keehoon Hong, Joongki Park

Abstract: We present study of the parameters of polarization holographic gratings recorded in thin films of the azopolymer PAZO (Poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2- ethanediyl, sodium salt]) and in a composite PAZO-based organic/inorganic material with incorporated TiO₂ nanoparticles with size 21 nm and different concentrations. The gratings are inscribed by two plane waves with left and right circular polarization from a He-Cd gas laser (442 nm) at recording angle 20°. Along with the anisotropic grating in the volume of the media, surface relief is also formed. Gratings with different spatial frequencies are obtained by varying the recording angle. The diffraction efficiency kinetics is probed at 635 nm and the height of the relief gratings is determined by AFM. Our results indicate that the diffraction efficiency for the hybrid samples is enhanced with respect to the pure azopolymer films. Comparison is also made between polarization response of samples deposited from water and from methanol solution.

Резюме: Представяме изследване на параметрите на поляризационни холографски решетки, записани в тънки слоеве от азополимера (Poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2- ethanediyl, sodium salt]) и в композитен органичен/неорганичен материал на основата на PAZO с вградени наночастици от TiO₂

с размер 21 nm при различни концентрации. Решетките са записани с две плоски вълни с лява и дясна кръгова поляризация от He-Cd газов лазер (442 nm) при ъгъл на запис 20°. Заедно с анизотропната решетка в обема на средата се образува и повърхностен релеф. Чрез промяна на ъгъла на запис се получават решетки с различни пространствени честоти. Кинетиката на дифракционната ефективност се изследва при 635 nm, а височината на релефните решетки се определя от АСМ (атомно-силов микроскоп). Нашите резултати показват, че дифракционната ефективност за хибридни образци е повишена по отношение на чистите азополимерни филми. Направено е също сравнение на поляризационния отклик на образци, отложени с разтворител вода и с разтворител метанол.

A4. Influence of the size of Au nanoparticles on the photoinduced birefringence and diffraction efficiency of polarization holographic gratings in thin films of azopolymer nanocomposites

Nataliya Berberova-Buhova, Lian Nedelchev, Georgi Mateev, Elena Stoykova, Velichka Strijkova, Dimana Nazarova

Abstract: This study is aimed to determine the influence of the size of gold (Au) nanoparticles (NP) doped in azopolymer PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) on the photoinduced birefringence of the nanocomposite thin films as well as on the diffraction efficiency of polarization holographic gratings recorded in them. For this reason, we used spherical Au NP with five different dimensions – 10, 20, 30, 40 and 50 nm. Concentrations of the NP in the nanocomposites varied from 0 a.u. (non-doped samples) to 16 a.u. where 1 a.u. corresponds to 0.015 wt %. Birefringence was induced with He–Cd laser ($\lambda = 442$ nm) and measured at 635 nm using DPSS laser. We observe an enhancement of photoinduced birefringence, which is most pronounced for the Au NP with size 20 nm. The polarization holographic gratings were inscribed with two orthogonal circular polarizations (left- and right-handed). AFM measurements were performed to determine the properties of the resulting surface relief gratings. Our results indicate that both the diffraction efficiencies and surface relief modulation of the gratings inscribed in the nanocomposite thin films are higher compared to those in the non-doped samples.

Резюме: Целта на това изследване е да се определи влиянието на размера на златни (Au) наночастици (НЧ), вградени в азополимер PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) върху фотоиндуцираното двулъчепречупване на нанокомпозитните тънки филми, както и върху ефективността на дифракция на поляризационни холографски решетки, записани в тях. Поради тази причина използвахме сферични Au НЧ с пет различни размера – 10, 20, 30, 40 и 50 nm. Концентрациите на НЧ в нанокомпозитите варират от 0 au. (недотирани образци) до 16 au, където 1 au съответства на 0,015 тегл %. Двулъчепречупването е индуцирано с He-Cd лазер ($\lambda = 442$ nm) и се измерва с помощта на пробен диодно напompван твърдотелен лазер с дължина на вълната 635 nm. Наблюдаваме усилване на фотоиндуцираното двулъчепречупване, което е най-изразено за Au НЧ с размер 20 nm. Поляризационните холографски решетки бяха записани с две ортогонални кръгови поляризации (лява и дясна). За да се определят свойствата на

получените повърхностни релефни решетки те бяха анализирани с АСМ. Нашите резултати показват, че както дифракционната ефективност, така и модулацията на повърхностния релеф на решетките, записани в нанокompозитните тънки слоеве, са по-високи в сравнение с тези в недотирани образци.

A5. Tunable Polarization and Surface Relief Holographic Gratings in Azopolymer Nanocomposites with Incorporated Goethite (α -FeOOH) Nanorods

Lian Nedelchev, Georgi Mateev, Velichka Strijkova, Verónica Salgueiriño, David S. Schmool, Nataliya Berberova-Buhova, Elena Stoykova and Dimana Nazarova

Abstract: We employ two approaches to tune the properties of concurrently inscribed volume polarization and surface relief gratings in nanocomposite thin films containing the azopolymer PAZO (poly[1-4-(3-carboxy-4-hydrophenylazo)benzensulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) and goethite (α -FeOOH) nanorods. The first one is applied on the stage of sample preparation by varying the concentration of the goethite nanorods from 0% to 15%. Then, different angles between the recording beams are set in the holographic scheme, which allow us to obtain gratings with spatial periods in the range from 0.86 to 2.51 μm . Surface relief modulation close to 300 nm is achieved as well as total diffraction efficiency in the ± 1 diffracted orders of more than 50%. The influence of the incorporated goethite nanorods on the properties of both volume birefringence and the surface relief grating are discussed.

Резюме: Ние използваме два подхода за настройка на свойствата на едновременно записани обемни поляризационни и повърхностни релефни решетки в нанокompозитни тънки слоеве, съдържащи азополимера PAZO (poly[1-4-(3-carboxy-4-hydrophenylazo)benzensulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) и гьотитни (α -FeOOH) нанопръчки. Първият се прилага на етапа на подготовка на образците чрез промяна на концентрацията на гьотитните нанопръчки от 0% до 15%. След това в холографската схема се задават различни ъгли между записващите лъчи, което ни позволява да получим решетки с пространствени периоди в диапазона от 0,86 до 2,51 μm . Постига се модулация на релефа на повърхността, близка до 300 nm, както и обща дифракционна ефективност в ± 1 дифракционни порядъци повече от 50%. Обсъдено е влиянието на вградените гьотитни нанопръчки върху свойствата на двулъчепречупването, както в обемната, така и в повърхностната релефна решетка.

A6. Enhanced photoanisotropic response in azopolymer doped with elongated goethite nanoparticles

L Nedelchev, D Nazarova, N Berberova, G Mateev, D Kostadinova, R Mariño-Fernández, V Salgueiriño and D Schmool

Abstract: We present a study of the photoinduced birefringence in nanocomposite films of an azopolymer (PAZO) doped with goethite (α -FeOOH, a characteristic antiferromagnetic material) nanoparticles (NPs). The NPs had an elongated shape with a size 15 $\times$ 150 nm, i.e., a ratio of 1:10. Samples were prepared with different concentrations of the NPs in the azopolymer varying from 0% (undoped azopolymer film) to 15 wt %. An unusual dependence of the birefringence on the concentration was observed – two peaks of enhancement at 1 % and at 10 % concentration. Our previous studies on ZnO and SiO₂ NP have indicated only one peak of increase at low concentrations – 0.5 wt % and 2 wt %, respectively. This effect could be

related to the elongated shape of the nanoparticles and the presence of two characteristic NPs sizes – 15 and 150 nm. Moreover, the birefringence increase for the samples with 10 wt % NPs concentration (compared with the non-doped samples) was rather significant – nearly 70%.

Резюме: В тази статия представяме изследване на фотоиндуцираното двулъчепречупване в нанокомпозитни слоеве от азополимер (PAZO), дотиран с наночастици (НЧ) от гьотит (α -FeOOH, характерен антиферромагнитен материал). Наночастиците са с удължена форма с размер 15×150 nm, т.е. съотношение 1:10. Бяха приготвени образци с различни концентрации на наночастиците в азополимера, вариращи от 0% (недотиран азополимерен слой) до 15 тегл.%. Наблюдава се необичайна зависимост на двулъчепречупването от концентрацията – два пика на усилване при концентрации от 1% и 10%. Предходните ни изследвания върху наночастици от ZnO и SiO₂ показват само един пик на увеличение при ниски концентрации – съответно при 0,5 wt% и 2 wt%. Този ефект може да се дължи на удължената форма на наночастиците и наличието на два характерни размера на НЧ – 15 и 150 nm. Освен това, увеличението на двулъчепречупването е значително – близо 70 % при образците с концентрация на НЧ от 10 тегл. % (в сравнение с нелегираните образци).

A7. Polarization holographic gratings in PAZO polymer films doped with particles of biometals

A. Stoilova, G. Mateev, D. Nazarova, L. Nedelchev, E. Stoykova, B. Blagoeva, N. Berberova, S. Georgieva, P. Todorov

Abstract: The paper presents a study of the diffraction efficiency of polarization holographic gratings recorded in thin films of the azopolymer PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) doped with Cu(II) 3-amino-5,5' -dimethylhydantoin (CLP) and Ni(II) 3-amino-5,5' -dimethylhydantoin (NLP) at three different concentrations, namely 1, 2 and 5 wt.%. The influence of the dopants composition and concentration on the parameters of the polarization holographic gratings recorded in the thin composite films has been discussed. The gratings are recorded with a He-Cd gas laser with wavelength 442 nm. The polarization of the recording beams was left and right circular and the recording angle was 20°. Along with the anisotropic grating in the volume of the media, surface relief is also formed. The diffraction efficiency kinetics is probed at 635 nm and the height of the relief gratings is determined by AFM. Diffraction efficiency (η) higher than 30 % was achieved for the hybrid samples, as well as 585 nm surface relief height.

Резюме: Статията представя изследване на дифракционната ефективност на поляризационни холографски решетки, записани в тънки слоеве на азополимера PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]), добавени с Cu(II) 3-amino-5,5' -dimethylhydantoin (CLP) and Ni(II) 3-amino-5,5' -dimethylhydantoin (NLP) при три различни концентрации, а именно 1, 2 и 5 тегл.%. Обсъдено е влиянието на състава и концентрацията на добавените частици върху параметрите на поляризационните холографски решетки, записани в тънките композитни филми. Решетките се записват с He-Cd газов лазер с дължина на вълната 442 nm. Поляризацията на записващите лъчи беше лява и дясна кръгова и ъгълът на запис беше 20°. Наред с анизотропната решетка в обема на средата се образува и релеф на повърхността. Кинетиката на дифракционната ефективност се изследва при 635 nm, а височината на релефа на решетките се определя от АСМ. За хибридните проби беше

постигната дифракционна ефективност (η) по-висока от 30%, както и 585 nm височина на релефа на повърхността.

Г-7. Показател 7: Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus), извън хабилитационния труд.

B1. Birefringence induced in azopolymer (PAZO) films with different thickness

Lian Nedelchev, Dimana Nazarova, Georgi Mateev, Nataliya Berberova

Abstract: In this article we present a study of the photoinduced birefringence (Δn) in films of a water soluble azopolymer: poly[1- [4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt] (PAZO). Varying the concentration of the azopolymer in the solution, films with wide range of thicknesses are obtained – from 50 to 2500 nm. The film thickness is determined with a Talystep precision profilometer. Birefringence is measured using a polarimetric setup with a recording laser at 473 nm and probe He-Ne laser at 633 nm. As shown experimentally, the maximal photoinduced birefringence ($\Delta n_{\max}$) does not depend on the thickness and is of the order of 0.07 for all of the investigated samples. The recording time however considerably increases for films thicker than 500 nm.

Резюме: В тази статия представяме изследване на фотоиндуцираното двулъчепречупване (Δn) във слоеве от водоразтворим азополимер: poly[1- [4-(3-carboxy-4- hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt] (PAZO). При промяна на концентрацията на азополимера в разтвора се получават слоеве в широк диапазон от дебелини – от 50 до 2500 nm. Дебелината на слоя се определя с прецизен профилометър Talystep. Двулъчепречупването се измерва с помощта на поляриметрична схема със записващ лазер с дължина на вълната 473 nm и пробен He-Ne лазер с дължина на вълната 633 nm. Както е показано експериментално, максималното фотоиндуцирано двулъчепречупване ($\Delta n_{\max}$) не зависи от дебелината и е от порядъка на 0,07 за всички изследвани образци. Времето за запис обаче се увеличава значително за слоеве с дебелина над 500 nm.

B2. Laser induced optically and thermally reversible birefringence in azopolymers

D. Nazarova, L. Nedelchev, D. Ivanov, B. Blagoeva, N. Berberova, E. Stoykova,
G. Mateev, D. Kostadinova

Abstract: Azopolymers are well known organic materials for polarization holographic recording due to the induced anisotropy under illumination with polarized light. They possess all the desirable characteristics of the known polarization-sensitive materials, as high sensitivity and reversibility, but excel them substantially in the magnitude of the photoinduced birefringence. This makes possible to record reversible polarization gratings with high diffraction efficiency.

In this paper results of experimental investigations on the reversibility properties of birefringence photoinduced in azopolymers are reported, depending on the conditions of subsequent optical and thermal treatment. Thin films of different polymers were prepared in order to examine the kinetics of multiple recording and erasure of birefringence in different types of azopolymers. The reversibility of the polarization recording has been studied using

two different method of erasure – by increased temperature and on illumination with circularly polarized light.

Резюме: Азополимерите са добре известни органични материали за поляризационен холографски запис поради индуцираната анизотропия при осветяване с поляризирана светлина. Те притежават всички желани характеристики на познатите до момента поляризационно-чувствителни материали, като висока чувствителност и обратимост, но ги превъзхождат значително по отношение на големината на фотоиндуцираното двулъчепречупване. Това прави възможно записването на обратими поляризационни решетки с висока дифракционна ефективност.

В тази статия са докладвани получени резултати от експериментални изследвания върху свойствата на обратимостта на фотоиндуцираното двулъчепречупване в азополимери, в зависимост от условията на последваща оптична и термична обработка. Тънки слоеве от различни полимери бяха подготвени, за да се изследва кинетиката при многократен запис и изтриване на двулъчепречупването в тях. Обратимостта на поляризационния запис е изследвана с помощта на два различни метода на изтриване – чрез повишаване на температурата и при осветяване с кръгово поляризирана светлина.

B3. Polarization holographic gratings in PAZO azopolymer recorded with different recording-beams polarizations

G Mateev, L Nedelchev, D Ivanov, R Tomova, P Petrova, V Strijkova,
N Berberova and D Nazarova

Abstract: Polarization holographic gratings (PHG) were recorded using a laser emitting a wavelength of 491 nm in thin films of the (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) azopolymer, shortly denoted as PAZO. Thin azopolymer films with various thicknesses were spin-coated on plastic and glass substrates. Four different polarization states of the recording beams were used, and the results compared: a) two vertical linear polarizations, b) horizontal and vertical linear polarizations, c) linear polarizations at $+45^\circ$ and -45° relative to the recording plane, and d) two orthogonal circular polarizations – left- and right-handed (LCP and RCP). The diffraction efficiency in the +1 diffraction order was monitored in real time by a probing laser beam at the wavelength of 635 nm. The results indicate that the highest diffraction efficiency is achieved when recording with orthogonal polarizations – linear at $\pm 45^\circ$ or left and right circular. This is explained by the ability of the azopolymer material to record the variations in the polarization state of light better than the variations in its intensity. The holographic gratings obtained can be used to enhance the light-extraction efficiency of an OLED device.

Резюме: Поляризационните холографски решетки (ПХР) бяха записани с помощта на лазер с дължина на вълната 491 nm в тънки слоеве (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]) азополимер, накратко обозначен като PAZO. Тънки азополимерни слоеве с различни дебелини бяха центрофужно отложени върху пластмасови и стъклени подложки. Бяха използвани четири различни състояния на поляризация на записващите лъчи и резултатите са сравнени: а) две вертикални линейни поляризации, б) хоризонтална и вертикална линейни поляризации, в) линейни поляризации при $+45^\circ$ и -45° спрямо равнината на запис, и г) две ортогонални кръгови поляризации – лява и дясна (LCP и RCP). Дифракционната ефективност в +1 дифракционен порядък се наблюдава в реално време с пробен лазерен лъч с дължина на вълната 635 nm. Резултатите показват, че най-висока дифракционна ефективност е постигната при запис с ортогонални поляризации –

линейни при $\pm 45^\circ$ или лява и дясна кръгова. Това се обяснява чрез способността на азополимерния материал да записва промените в състоянието на поляризацията на светлината по-добре от промените в нейния интензитет. Получените холографски решетки могат да се използват за подобряване на ефективността на OLED устройства.

B4. Photoinduced chirality in azopolymer-based nanocomposites with different TiO₂ nanoparticles concentrations

G Mateev, L Nedelchev, D Nazarova, B Blagoeva, N Berberova-Buhova and
E Stoykova

Abstract. After its discovery, photoinduced chirality in azopolymer materials has been studied with growing interest because of its potential applications. According to our previous investigations, it is possible to induce chirality in an amorphous azopolymer with a high linear photoanisotropy by illumination with elliptically polarized light. In the present work, we studied the photoinduced chirality in thin nanocomposite films based on the azopolymer poly[1-[4-(3- carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], shortly PAZO, doped with TiO₂ nanoparticles with a size of about 20 nm. The thickness of the prepared films was approximately 550 nm and the concentration of the nanoparticles varied from 0 to 3 wt. %. A He-Cd laser beam ($\lambda = 442$ nm) was used, with the input ellipticity varying from -1 (left circularly polarized) to $+1$ (right circularly polarized). The ellipticity was set using a quarter-wave and a half-wave plates. We studied the dependences of the output ellipticity and the angle of self-rotation of the polarization azimuth on the input ellipticity. Based on the experimental data obtained, we could analyze the dependence of the self-rotation of the polarization azimuth on the concentration of the nanoparticles. The results show that small concentrations of nanoparticles lead to an enhancement of the self-rotation, hence, the chirality.

Резюме. След откриването ѝ, фотоиндуцираната хиралност в азополимерните материали е изследвана с нарастващ интерес поради потенциалните си приложения. Според предишни наши изследвания е възможно да се индуцира хиралност в аморфен азополимер с висока линейна фотоанизотропия чрез осветяване с елиптично поляризирана светлина. В настоящата работа изследвахме фотоиндуцираната хиралност в тънки нанокомпозитни филми на базата на азополимер poly[1-[4-(3- carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], накратко PAZO, дотиран с TiO₂ наночастици с размер около 20 nm. Дебелината на подготвените слоеве е приблизително 550 nm и концентрацията на наночастиците варира от 0 до 3 тегл. %. Използван е He-Cd лазерен лъч ($\lambda = 442$ nm), като елиптичността на входа варира от -1 (лява кръгова поляризация) до $+1$ (дясна кръгова поляризация). Елиптичността беше зададена с помощта на четвърт вълнови и полувълнови пластини. Изследвахме зависимостите на изходната елиптичност и ъгъла на самозавъртане на поляризационния азимут от входната елиптичност. Въз основа на получените експериментални данни бихме могли да анализираме зависимостта на самовъртенето на поляризационния азимут от концентрацията на наночастиците. Резултатите показват, че малките концентрации на наночастици водят до засилване на самозавъртането, следователно, до хиралност.

B5. Monitoring of a drying process in polymer water solutions by dynamic speckle detection

D. Nazarova, E. Stoykova, L. Nedelchev, B. Ivanov, N. Berberova, N. Malinowski

Abstract: Observation of speed of processes by dynamic speckle analysis has been applied to different samples of industrial or biological nature. The method allows for indicating regions of lower or higher activity on the sample surface through statistical processing of the speckle patterns formed on this surface under laser illumination. The aim of the paper is to check applicability of dynamic speckle technique for detection of the drying process in polymer water solutions. For the purpose, we recorded several sets of 256 correlated in time speckle patterns of a transparent drop of PAZO water solution on a glass plate illuminated by a He-Ne laser. The sets were separated by intervals of 5 minutes, and the last set was recorded 75 minutes after the start of the experiment. For statistical description of activity on the observed sample we chose evaluation of a temporal structure function. The obtained two-dimensional maps of the structure function at different time lags demonstrated efficiency of dynamic speckle analysis for monitoring of drying processes in polymer water solutions.

Резюме: Наблюдаването на скоростта на протичане на процеси с помощта на динамичен спекъл анализ е прилагано към различни образци от индустриално или биологично естество. Методът позволява да се посочат областите с по-ниска и по-висока активност върху повърхността на образца чрез статистическа обработка на спекъл картините, формирани върху тази повърхност при осветяване с лазер. Целта на настоящата работа е да се провери приложимостта на техниката на динамичния спекъл за детектиране на процеса на съхнене на водни разтвори на полимери. За осъществяване на проверката са записани няколко серии от 256 корелирани във времето спекъл картини на прозрачна капка на воден разтвор на PAZO полимер върху стъклена подложка, осветена с He-Ne лазер. Сериите бяха разделени с пет минутни интервали, като последната серия е записана 75 минути след капването на капката. Статистическото описание на активността в наблюдавания образец е проведено чрез пресмятане на времева структурна функция. Получените двумерни разпределения на тази функция за различни времеви лагове потвърдиха ефективността на динамичния спекъл анализ за наблюдаване на процеси във водни разтвори на полимери.

B6. Evaluation of temporal scales of migration of cosmetic ingredients into the human skin by two-dimensional dynamic speckle analysis

E. Stoykova, B. Blagoeva, D. Nazarova, L. Nedelchev, T. Nikova, N. Berberova, Y.-M. Kim, H.-J. Kang

Abstract: A variety of biomedical and food quality assessment tasks have been solved by statistical processing of speckle patterns formed on the surface of diffusely reflecting objects. The output of pointwise processing of a temporal sequence of correlated speckle images is a two-dimensional spatial contour map which characterizes the time scales of the ongoing physical or biological activity within the studied objects. In this work, we check efficiency of the dynamic speckle analysis for temporal characterization of migration of cosmetic ingredients from the skin surface to the lower skin layers. At illumination with a He-Ne laser, formation of speckle patterns on the skin surface is governed by the diffusely reflected photons which have undergone a lot of scattering events in the bulk of the tissue. This entails low correlation of the formed speckle patterns in time and renders difficult applying dynamic speckle analysis.

Activity maps have been built for sections of treated and non-treated skin on the arm of a volunteer. We found out that a bare skin exhibited high activity which decreased for a skin treated by a cream or cosmetic oil. We proved that the observed difference between the activity maps for a bare skin and a treated skin would allow for monitoring of the time scales of penetration of various cosmetic products into the skin to perform their quality assessment.

Резюме: Разнообразие от биомедицински задачи и задачи за оценка на качеството на храните са решени чрез статистическа обработка на спекъл изображения, образувани върху повърхността на дифузно отразяващи обекти. Резултатът от поточковата обработка на времевата последователност от корелирани спекъл изображения е двумерна пространствена контурна карта, която характеризира времево текущата физична или биологична активност в изследваните обекти. В тази работа проверяваме ефективността на динамичния спекъл анализ за времево характеризиране на миграцията на козметични съставки от повърхността към долните слоеве на кожата. При осветяване с He-Ne лазер образуването на спекъл картини върху повърхността на кожата се управлява от дифузно отразените фотони, които са претърпели многократно разсейване в по-голямата част от тъканта. Това води до ниска корелация на формираните спекъл изображения във времето и затруднява прилагането на динамичен спекъл анализ. Изградени са карти на активността за участъци от третирана и нетретирана кожа на ръката на доброволец. Открихме, че нетретираната кожа показва висока активност, която намалява при кожа, третирана с крем или козметично масло. Доказахме, че наблюдаваната разлика между картите на активността за нетретирана кожа и третирана кожа би позволила проследяване във времева скала на проникване на различни козметични продукти в кожата, за да се извърши оценка на качеството им.

B7. Dynamic laser speckle measurement with enhanced visualization of activity map

Elena Stoykova, Natalia Berberova, Tania Nikova

Abstract: The phenomenon of dynamic speckle is used for non-invasive whole-field detection and visualization of physical or biological activity in various objects through statistical description of laser speckle dynamics. Usage of 2d optical sensors to capture sequences of correlated 2d speckle patterns allows for building a pointwise estimate of a given statistical measure which should give a quantitative high contrast detailed 2d map of the spatial distribution of activity across the object surface. The aim of the present paper is to find out an effective way to enhance visualization of the activity map obtained by the normalized correlation-based algorithms. Similar to all processing algorithms, the built estimates exhibit strong fluctuations from point to point due to speckle nature of the acquired patterns. The fluctuations decrease the contrast of the built 2d activity map and worsen sensitivity and resolution of the dynamic speckle method. As a first task, we studied the distributions of the built estimates by processing of synthetic speckle patterns. As a second task, we applied smoothing to the activity map to achieve enhanced visualization. As a third task we considered building a map of a parameter related to the correlation radius of the temporal correlation function of the processes undergoing within the sample. The results are verified both by simulation and experiment.

Резюме: Явлението динамичен спекъл се използва за неинвазивно изследване на цялото поле и визуализация на физичната или биологична активност в различни обекти чрез статистическо описание на динамиката на лазерния спекъл. Използването на двумерни оптични сензори за заснемане на поредица от корелирани двумерни спекъл картини

позволява изграждането на точкова оценка на дадено статистическо измерване, която трябва да даде количествена висококонтрастна подробна двумерна карта на пространственото разпределение на активността по повърхността на обекта. Целта на настоящата работа е да се намери ефективен начин за подобряване на визуализацията на картата на активността, получена от нормализирани корелационно-базирани алгоритми. Подобно на всички обработващи алгоритми, изградените оценки показват силни колебания от точка до точка поради спекъл природата на заснетите картини. Флуктуациите намаляват контраста на построената двумерна карта на активността и влошават чувствителността и разделителната способност на динамичния спекъл. Като първа задача проучихме разпределенията на построените оценки чрез обработка на синтетични спекъл картини. Като втора задача приложихме изглаждане на картата на активността, за да се постигне по-добра визуализация. Като трета задача разгледахме построяване на карта с параметър свързан с радиуса на корелация на функцията на времевата корелация на процесите, протичащи в в образа. Резултатите се проверяват чрез симулация и експеримент.

B8. Intensity-based dynamic speckle method using JPEG and JPEG2000 compression

Elena Stoykova, Blaga Blagoeva, Natalya Berberova-Buhova,
Mikhail Levchenko, Dimana Nazarova, Lian Nedelchev, AND Joongki Park

Abstract: Statistical processing of speckle data enables observation of the speed of processes. In intensity-based pointwise dynamic speckle analysis, a map related to speed's spatial distribution is extracted from a sequence of speckle patterns formed on an object under coherent light. Monitoring of time evolution of a process needs storage, transfer, and processing of a large number of images. We have proposed lossy compression of these images using JPEG and JPEG2000 formats. We have compared the maps computed from noncompressed and decompressed synthetic and experimental images, and we have proven that both compression formats can be applied in the dynamic speckle analysis.

Резюме: Статистическата обработка на спекъл данни позволява наблюдение на скоростта на процесите. В основата на интензитетно-базирания поточков динамичен спекъл анализ, картата, свързана с пространственото разпределение на скоростта се извлича от последователност от спекъл картини, формирани от кохерентно осветен обект. Наблюдението на развитието на процеса във времето се нуждае от съхранение, прехвърляне, и обработка на голям брой изображения. Ние предложихме компресиране без загуба на тези изображения с помощта на JPEG и JPEG2000 формати. Сравнихме картите, изчислени от некомпресирани и декомпресирани синтетични и експериментални изображения и доказахме, че и двата формата за компресиране могат да се прилагат в динамичния спекъл анализ.

B9. Dynamic laser speckle metrology with binarization of speckle patterns

Elena Stoykova, Dimana Nazarova, Nataliya Berberova, Atanas Gotchev,
Branimir Ivanov, Georgy Mateev

Abstract: Dynamic laser speckle analysis is non-destructive detection of physical or biological activity through statistical processing of speckle patterns on the surface of diffusely reflecting objects. This method is sensitive to microscopic changes of the surface over time and needs simple optical means. Advances in computers and 2D optical sensors forced development of pointwise algorithms. They rely on acquisition of a temporal sequence of correlated speckle

images and generate activity data as a 2D spatial contour map of the estimate of a given statistical parameter. The most widely used pointwise estimates are the intensity-based estimates which compose each map entry from a time sequence of intensity values taken at one and the same pixel in the acquired speckle images. Accuracy of the pointwise approach is strongly affected by the signal-dependent nature of the speckle data when the spread of intensity fluctuations depends on the intensity itself. The latter leads to erroneous activity determination at non-uniform distribution of intensity in the laser beam for the non-normalized estimates. Normalization of the estimates, introduces errors. We propose to apply binarization to the acquired speckle images by comparing the intensity values in the temporal sequence for a given spatial point to the mean intensity value estimated for this point and to evaluate a polar correlation function. Efficiency of this new processing algorithm is checked both by simulation and experiment.

Резюме: Динамичният лазерен спекъл анализ е неразрушително откриване на физична или биологична активност чрез статистическа обработка на спекъл изображения на повърхността на дифузно отразяващи обекти. Този метод е чувствителен към микроскопични промени на повърхността с течение на времето и се нуждае от прости оптични средства. Напредъкът в компютрите и двумерните оптичните сензори наложи разработването на точкови алгоритми. Те разчитат на поредица от времева последователност от корелирани спекъл изображения и генерират данни за активността като двумерна пространствена контурна карта на оценката на даден статистически параметър. Най-широко използваните точкови оценки са интензитетно-базираните оценки, които съставят картата от времевата последователност от стойности на интензитет, взети в един и същ пиксел в получените спекъл изображения. Точността на точковия подход е силно повлияна от зависимия от сигнала характер на спекъл данните, докато разпространението на флукуациите на интензитета зависи от самия интензитет. Последното води до погрешно определяне на активността при неравномерно разпределение на интензитета в лазерния лъч за ненормализираните оценки. Нормализиране на оценките въвежда грешки. Ние предлагаме да се приложи бинаризация към получените спекъл изображения чрез сравняване на стойностите на интензитета във времевата последователност за дадена пространствена точка със средната стойност на интензитета, оценена за тази точка, и да се оцени полярна корелационна функция. Ефективността на този нов алгоритъм за обработка се проверява чрез симулация и експеримент.

B10. Pointwise intensity-based dynamic speckle analysis with binary patterns

Elena Stoykova, Georgy Mateev, Dimana Nazarova, Nataliya Berberova, Branimir Ivanov

Abstract: Non-destructive detection of physical or biological activity through statistical processing of speckle patterns on the surface of diffusely reflecting objects is an area of active research. A lot of pointwise intensity-based algorithms have been proposed over the recent years. Efficiency of these algorithms is strongly deteriorated by the signal-dependent nature of the speckle data, non-uniform illumination or varying reflectivity across the object, especially taking in view the limited number of the acquired speckle patterns. Pointwise processing of a sequence of 2D images is also time-consuming. In this paper, we propose to transform the acquired speckle images into binary patterns by using for a sign threshold the mean intensity value estimated at each spatial point from the temporal sequence corresponding to this point. In this case, activity is characterized by the 2D distribution of a temporal polar correlation

function estimated at a given time lag from the formed binary patterns. Processing of synthetic and experimental data confirmed that the algorithm provided correct activity determination with the same accuracy as the temporal normalized correlation function at non-uniform distribution of intensity in the illuminating laser beam without the necessity to apply normalization and at accelerated computation.

Резюме: Безразрушителното откриване на физична или биологична активност чрез статистическа обработка на спекъла върху повърхността на дифузно отразяващи обекти е област на активно изследване. През последните години бяха предложени много поточкови интензитетно-базирани алгоритми. Ефективността на тези алгоритми е силно влошена от зависимия от сигнала характер на спекъла, неравномерното осветяване или различна отразяваща способност в обекта, особено като се има предвид ограниченият брой придобити спекъл картини. Поточковата обработка на поредица от двумерни изображения също отнема много време. В тази статия предлагаме да трансформиране получените спекъл изображения в двоични модели, като използваме за знаков праг средната стойност на интензитета, оценена за всяка точка от пространството от времевата последователност, съответстваща на тази точка. В този случай активността се характеризира с двумерно разпределение на времевата полярна корелационна функция, оценена при даден времеви лаг от получените двоични картини. Обработката на синтетични и експериментални данни потвърди, че алгоритъмът осигурява правилно определяне на активността със същата точност като времевата нормализирана корелационна функция при неравномерно разпределение на интензитета с осветяващия лазерен сноп без необходимост от прилагане на нормализация и при ускорено изчисление.

B11.Recognition of small areas of activity by the pointwise intensity-based dynamic speckle analysis

E. Stoykova, N. Berberova, B. Blagoeva, D. Nazarova, L. Nedelchev, A. Machikhin

Abstract: Industrial inspection of processes by capture of speckle patterns often requires detection of a small activity area buried in a background. This work presents analysis of sensitivity of the dynamic speckle method by processing simulated and experimental correlated in time 8 bit encoded speckle patterns. Simulation of the patterns was done for an exponentially decreasing temporal correlation function by fresnel propagation of a monochromatic wave reflected from a delta-correlated in time phase screen and captured at different diameters and focal distances of the optical sensor objective lens. For the experiment, we used a 3d printed flat object with hollow sections that was covered with a transparent film and a droplet of a polymer solution and monitored the process of their drying. Both normalized and non-normalized processing algorithms were used.

Резюме: Индустриалната инспекция чрез заснемане на спекъл изображения често изисква откриване на малка област на активност скрита във фона. Тази статия представя анализ на чувствителността на динамичния спекъл метод чрез обработка на симулирани и експериментални корелирани във времето 8 битово кодирани спекъл изображения. Симулацията на картините е направена за експоненциално намаляваща времева корелационна функция чрез френелово разпространение на монохроматична вълна, отразена от делта корелиран във времето фазов екран и заснета при различни диаметри и фокусни разстояния на лещата на обектива на оптичния сензор. За експеримента използвахме триизмерен принтиран плосък обект с кухи участъци, който беше покрит с

прозрачен филм и капчица полимерен разтвор и наблюдавахме процеса на тяхното изсъхване. Използвани са както нормализирани, така и ненормализирани алгоритми за обработка.

B12. SLM-based Testing of Algorithms in Dynamic Speckle Metrology

Elena Stoykova, Nataliya Berberova, Dimana Nazarova, Branimir Ivanov

Abstract: The paper reports on phase-only spatial light modulator implementation of an optical simulator of speckle patterns with controllable spatially varying evolution in time for algorithms testing in dynamic speckle metrology of physical or biological activity.

Резюме: Статията представя прилагането на фазов пространствен светлинен модулатор като оптичен симулатор на спекъл картини с контролируема пространствено променяща се еволюция във времето за тестване на алгоритми в динамична спекъл метрология на физическа или биологична активност.

B13. Digital image processing: denoising by adaptive median filtering and wavelet transform

P. Sharlandjiev, D. Nazarova and N. Berberova

Abstract: Digital image processing is an important area of preservation and representation of cultural and historical objects. Part of it is the task of cleaning images corrupted by noise. Many different methods and approaches have been successfully implemented, but still filtering and denoising techniques are developing and improving intensively. Herein, we report numeric simulations of 2D image filtering. Effects of impulse noise are very efficiently reduced by adaptive median filtering. The situation of additive noise, which itself depends on the intensity of the original image, is more complicated. However, we demonstrate that in this case the use of wavelet transforms in the denoising procedure is very productive and promising.

Резюме: Обработването на цифрови изображения е важна част от съхраняването и представянето на културни и исторически обекти. Част от задачите са свързани с изчистването на шума, насложен в изображенията. Много различни методи и подходи са успешно прилагани, но техниките за филтриране и изчистване на шума все по-интензивно се развиват и подобряват. В тази статия се докладва числена симулация за филтриране на двумерни изображения. Влиянията на импулсния шум са много ефикасно редуцирани чрез филтриране с адаптивен медианен филтър. При адитивен шум, който зависи от интензитета на оригиналното изображение, ситуацията е по-сложна. Въпреки това, ние показваме, че в този случай използване на трансформацията по метода на вълничките за премахването на шума е с добри резултати и е много обещаващо.

B14. Phase recovery from fringe patterns with global carriers: approach based on Hilbert transform and wavelet de-noising techniques

P. Sharlandjiev, N. Berberova, D. Nazarova and G. Stoilov

Abstract: Fringe pattern analysis is an important task in optical metrology. Fringe patterns can be formed by optical interference, by projection techniques, by overlapping two similar wave structures, etc. Patterns with constant global angular carriers represent straight lines in the field-of-view. The presence of an object under investigation distorts the fringes. Analysis of these

distortions is called also phase recovery and it is widely used in many applications of science and engineering, i.e. for retrieval of surface topography of 3D objects. Usually, three steps are discerned: pre-processing (noise reduction, background zeroing), phase retrieval (extraction of the phase distribution), and post-processing (unwrapping, smoothing and ‘cleaning’).

Herein we present an approach based on a combination of Hilbert transform for phase recovery and different wavelet techniques for de-noising and smoothing. By numeric simulations we show that this technique is effective and robust. Different types of noise are considered: Gaussian additive noise, multiplicative intensity dependent (speckle) noise, high frequency environmental noise, jitter, fringe distortion due to non-sinusoidal modulation (presence of second and third harmonics in the fringes). Each type of noise can be considered separately or all of them – cumulatively.

Резюме: Анализът на структури с ивици е важна задача в оптичката метрология. Ивични структури се формират чрез оптична интерферометрия, проекционни техники, припокриване на подобни вълнови полета и др. Структури с постоянна ъглова честота представляват прави ивици в полето на наблюдение. Изследваният обект деформира ивиците. Анализът на тези изкривявания се нарича извличане на фазата и се използва широко в науката и техниката, напр. за получаване на топографията на 3Д обекти. Този анализ обикновено има 3 етапа: предварителна обработка (намаляване на шума в изображението, нулиране на фона), извличане на фазата (намиране на фазовото разпределение) и крайна обработка на резултатите (разопаковане на фазата, изглаждане, „почистване“).

В тази статия представяме подход, базиран на комбинация от преобразование на Хилберт за извличане на фазата и различни техники с вълнички за обезшумяване и сглаждане на данните. Чрез числено моделиране показваме, че тази методология е ефективна и стабилна. Различни видове шум са моделирани и анализирани: гаусов добавъчен, интензитетно зависим мултипликативен (спекъл), джитер, наличие на високи хармонични в ивиците др.

B15. Diffraction efficiency calculations of polarization diffraction gratings with surface relief

D Nazarova, P Sharlandjiev, N Berberova, B Blagoeva, E Stoykova and L Nedelchev

Abstract: In this paper, we evaluate the optical response of a stack of two diffraction gratings of equal one-dimensional periodicity. The first one is a surface-relief grating structure; the second, a volume polarization grating. This model is based on our experimental results from polarization holographic recordings in azopolymer films. We used films of commercially available azopolymer (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]), shortly denoted as PAZO. During the recording process, a polarization grating in the volume of the material and a relief grating on the film surface are formed simultaneously. In order to evaluate numerically the optical response of this “hybrid” diffraction structure, we used the rigorous coupled-wave approach (RCWA). It yields stable numerical solutions of Maxwell’s vector equations using the algebraic eigenvalue method.

Резюме: В тази статия ние правим оценка на оптичния отклик на сложна дифракционна решетка съставена две части с еднаква едномерна периодичност. Първата е повърхностно-релефна решетка; втората-обемна поляризационна решетка. Този модел се основава на нашите експериментални резултати от поляризационни холографски

записи в азополимерни слоеве. Използвахме слоеве от търговско достъпен азополимер (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]), накратко обозначен като PAZO. По време на процеса на запис се образуват едновременно поляризационна решетка в обема на материала и релефна решетка върху повърхността на слоя. За да оценим числено оптичния отклик на тази „хибридна“ дифракционна структура, използвахме строгия подход на свързаните вълни (rigorous coupled-wave approach-RCWA). Той дава точни числени решения на векторните уравнения на Максвел, използвайки метода на алгебричните собствени стойности.

B16. Modelling of the diffraction efficiency of surface relief gratings with varying spatial frequency, height and shape of the relief

B Blagoeva, N Berberova, D Nazarova, L Nedelchev, G Mateev, E Stoykova, E Otsetova-Dudin and P Sharlandjiev

Abstract. An important goal in the development of diffractive optical elements is to achieve high diffraction efficiency. One class of these elements are the surface relief gratings recorded by polarization holography. For recording media, we used azopolymer (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]), shortly denoted as PAZO. The aim of the present work is to simulate a highly efficient surface relief grating formed in the azopolymer PAZO. The model is based on experimental results already obtained by our group. The tasks of the research are related to the analysis of the diffraction efficiency in the spectral range from 300 nm to 800 nm and for: 1) range of grating spatial frequencies from 1200 ln/mm to 1800 ln/mm, 2) surface relief height varying from 100 nm to 400 nm and 3) different shapes of the formed relief.

Резюме: Важна цел при разработването на дифракционни оптични елементи е постигането на висока дифракционна ефективност. Един вид от тези елементи са повърхностните релефни решетки, записани чрез поляризационна холография. Като среда за запис използвахме азополимер (поли[1-[4-(3-карбокси-4-хидроксифенилазо) бензенсулфонамидо]-1,2-етандиол, натриева сол]), накратко обозначен като PAZO. Целта на настоящата работа е да се симулира високоефективна повърхностна релефна решетка, образувана в азополимера PAZO. Моделът се основава на експерименталните резултати получени преди това от нашата група. Задачите на изследването са свързани с анализ на дифракционната ефективност в спектралния диапазон от 300 nm до 800 nm и при: 1) диапазон на пространствените честоти на решетката от 1200 ln/mm до 1800 ln/mm, 2) височина на релефа на повърхността варираща от 100 nm до 400 nm и 3) различни форми на образувания релеф.

B17. Optical constants of azopolymer PAZO thin films in the spectral range 320 – 800 nm

N Berberova, P Sharlandjiev, A Stoilova, L Nedelchev, D Nazarova and B Blagoeva

Abstract. Azobenzene containing polymers (azopolymers) have been investigated for a number of applications – holographic data storage, polarization optical elements, diffractive gratings, etc. Herein we report on the optical characteristics of films obtained from the

commercially available water soluble azopolymer PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt). Thin films were deposited by spin coating and their thickness was determined by a Talystep precision profilometer. The FTIR spectra of PAZO were measured between 3000 cm⁻¹ and 500 cm⁻¹. For the first time, to the best of our knowledge, we evaluated the PAZO complex refractive index continuously in a broad spectral range (320 – 800 nm) based on transmission and reflection spectrophotometric data. The wavelength dependence of the complex refractive index of organic dyes layers cannot be readily described with dispersion models used for crystals, metals or semiconductors. This is why we used a derivative approach on a wavelength-by wavelength basis to solve a set of two nonlinear equations with two unknowns – the real and imaginary parts of the refractive index. The determination of the optical constants of PAZO films is effective and robust.

Резюме: Азобензен съдържащите полимери са изследвани за редица приложения – холографско съхранение на данни, поляризационни оптични елементи, дифракционни решетки и т.н. Тук докладваме оптичните характеристики на слоеве, получени от търговско наличния водоразтворим азополимер PAZO (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt). Тънките слоеве са центрофужно отложени и дебелината им е определена от прецизен профилометър Talystep. Докладвани са ИЧ спектрите на PAZO между 3000 cm⁻¹ и 500 cm⁻¹. За първи път, доколкото ни е известно, ние оценихме комплексния показател на пречупване на PAZO в широк спектрален диапазон (320 – 800 nm) въз основа на спектрофотометрични данни на преминаване и отражение. Зависимостта на дължината на вълната от комплексния показател на пречупване на слоевете от органични багрила не може да бъде лесно описана с дисперсионни модели, използвани за кристали, метали или полупроводници. Ето защо използвахме произведен подход на база дължина на вълна, за да решим набор от две нелинейни уравнения с две неизвестни – реалната и имажинерната част на показателя на пречупване. Определянето на оптичните константи на слоевете PAZO е ефективно и обещаващо.

B18. Optical response of azopolymer (PAZO) layers doped with TiO₂ nanoparticles

Nataliya Berberova, Peter Sharlandjiev, Dimana Nazarova, Lian Nedelcheva

Abstract: In this paper we analyze the optical response of azopolymer (poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt]), shortly denoted as PAZO. The photoinduced birefringence of this material has a potential for polarization holographic recording. We consider thin PAZO layers with embedded TiO₂ spherical particles. This is a numeric simulation motivated by the search of photoinduced birefringence enhancement in azopolymer layers. The scattering of a single particle in the dye-polymer matrix is calculated using the exact vector Maxwell equations. The particles are treated as ensemble of non-aggregated spheres with normal distribution of sizes, characterized by the mean radius $\langle r \rangle$ and standard deviation $\sigma = \langle r \rangle / 4$. Multiple scattering by individual particles is ignored. The refractive index of the PAZO matrix at 442 nm has a complex value (due to absorption) as we have determined it from experimental spectrophotometric data. The 442 nm wavelength is commonly used for recording polarization holographic gratings in azopolymer materials. Embedded TiO₂ spheres with mean radius from 10 to 80 nm are considered. The angular dependences of all the scattering matrix elements, which describe the optical response of the composite layers, are estimated.

Резюме: В тази статия ние анализираме оптичния отклик на азополимер (поли[1-[4-(3-карбокси-4-хидроксифенилазо) бензенсулфонамидо] -1,2-етан-едиил, натриева сол]), накратко обозначен като PAZO. Фотоиндуцираното двулъчепречупване на този материал има потенциал за поляризационен холографски запис. Разглеждаме тънки PAZO слоеве дотирани със сферични частици от TiO_2 . Мотивирани от търсенето на повишаването на стойността на фотоиндуцираното двулъчепречупване в азополимерни слоеве, ние създадохме тази числена симулация. Разсейването от една частица в матрицата багрило-полимер се изчислява с помощта на точните векторни уравнения на Максвел. Частиците се третират като ансамбъл от неагрегирани сфери с нормално разпределение по размер, характеризиращо се със среден радиус $\langle r \rangle$ и стандартно отклонение $\sigma = \langle r \rangle / 4$. Многократното разсейване от отделни частици не се взема под внимание. Коефициентът на пречупване на матрицата PAZO при 442 nm има комплексна стойност (поради абсорбция), както сме го определили от експериментални спектрофотометрични данни. Дължината на вълната от 442 nm обикновено се използва за запис на поляризационни холографски решетки в азополимерни материали. Разглеждат се вградени TiO_2 сфери със среден радиус от 10 до 80 nm. Оценени са ъгловите зависимости на всички елементи на матрицата на разсейване, които описват оптичния отклик на композитните слоеве.

B19. Optical response evaluation of azopolymer thin solid films doped with gold nanoparticles with different sizes

Nataliya Berberova-Buhova, Lian Nedelchev, Elena Stoykova, Dimana Nazarova

Abstract: Azobenzene and azobenzene-containing polymers are intensively studied in the last decades because of their high potential for various applications: polarization holography, holographic optical polarization-sensitive elements, high-density storage by multiplexing, ptychography, etc. In this article are reported studies based on the optical response of azopolymer poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo)benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], (PAZO) thin films with embedded Au spherical nanoparticles with different sizes. We found that effective medium approximations (Maxwell-Garnett and Bruggeman) are not satisfactory in evaluation of films optical response. The complex refractive index of the composite film is evaluated as a dependence on three factors: 1) the PAZO matrix complex refractive index; 2) volume scattering efficiency of the Au particle and 3) the filling factor of the composite film. The scattering of a single particle in the azopolymer matrix is calculated using the exact vector Maxwell equations. The particles with mean radius 10, 30 and 50 nm are treated as ensemble of non-aggregated spheres. Multiple scattering by individual particles was ignored. Three specific filling factors of 0.008, 0.010 and 0.030 are considered. The optical transmittance and absorption of a 440 nm thick composite film were evaluated. The algorithm is efficient and the results are robust. The photoinduced spectral response of the composite layers is under study.

Резюме: През последните години се изследват интензивно азобензенът и азобензен-съдържащите полимери поради високия им потенциал за различни приложения: поляризационна холография, холографски оптични поляризационно-чувствителни елементи, памет с висока плътност чрез мултиплексиране, птихография и т.н. В тази статия са докладвани проучвания на базата на оптичния отклик на азополимерни [1-[4-(3-карбокси-4-хидроксифенилазо) бензенсулфонамидо]-1,2-етан-едиил, натриева сол],

(PAZO) тънки слоеве с вградени Au сферични наночастици с различни размери. Установихме, че приближението на ефективната среда (Maxwell-Garnett и Bruggeman) не са достатъчно приложими при оценката на оптичния отклик на слоевете. Комплексният показател на пречупване на композитния слой се оценява като зависимост от три фактора: 1) комплексният показател на пречупване на матрицата PAZO; 2) ефективност на обемно разсейване на златните частици и 3) коефициент на запълване на композитния слой. Разсейването на единична частица в азополимерната матрица се изчислява с помощта на точните векторни уравнения на Максвел. Частиците със среден радиус 10, 30 и 50 nm се третираат като ансамбъл от неагрегирани сфери. Многократното разсейване от отделните частици не е взето под внимание. Разглеждат се три специфични фактора на запълване от 0,008, 0,010 и 0,030. Бяха оценени оптичната пропускливост и абсорбцията на композитен филм с дебелина 440 nm. Алгоритъмът е ефективен и резултатите са надеждни. Фотоиндуцираният спектрален отклик на композитните слоеве е в процес на проучване.

B.20 Composite thin films of azopolymer and embedded gold nanosized particles: evaluation of the effective complex refractive index

Nataliya Berberova-Buhova, Peter Sharlandjiev, Georgi Mateev,
Lian Nedelchev, Blaga Blagoeva, Elena Stoykova, Dimana Nazarova

Abstract: Azobenzene and azobenzene-containing polymers are intensively studied because of their high potential for many novel applications in polarization holography, design of optical polarization-sensitive elements, optical storage, all-optical switching, diffractive optical elements, etc. We study in the paper a thin hybrid layer composed of a polymer matrix and embedded gold nanoparticles. For a polymer matrix we used polymer poly[1-[4-(3-carboxy-4-hydroxyphenylazo) benzenesulfonamido]-1,2-ethanediyl, sodium salt], denoted shortly as PAZO. Film reflectance and transmittance strongly depend on the morphology of nanoparticles and the composite film filling factor. Herein, we present essential details concerning the estimation of the film complex refractive index. The embedded particles are considered as ensemble of non-aggregated spheres with no multiple scattering by individual particles. The complex refractive index of the composite film is evaluated from the volume scattering efficiency of the Au particles, the PAZO matrix complex refractive index and the filling factor. Embedded Au spheres with ensemble mean diameters of 20, 60 and 100 nm are considered as well as filling factors of 0.008, 0.010 and 0.030.

Резюме: Азобензенът и азобензен-съдържащите полимери се изучават интензивно поради високия им потенциал за много нови приложения в поляризационната холография, проектиране на оптични поляризационно-чувствителни елементи, оптична памет, оптични превключватели, дифракционни оптични елементи и др. В тази статия ние изследваме тънък хибриден слой, съставен от полимерна матрица и вградени златни наночастици. За полимерна матрица използвахме полимер поли[1-[4-(3-карбокси-4-хидроксифенилазо) бензенсулфонамидо]-1,2-етан-едиил, натриева сол], означен накратко като PAZO. Коефициентът на отражение и пропускливост на слоя силно зависят от морфологията на наночастиците и коефициента на запълване в композитния слой. Тук представяме съществени изследвания на оценката на показателя на пречупване на комплексния филм. Вградените частици се разглеждат като ансамбъл от

неагрегирани сфери без многократно разсейване от отделните частици. Комплексният показател на пречупване на композитния слой се оценява от ефективността на обемно разсейване на Au частиците, комплексния показател на пречупване на матрицата PAZO и фактора на запълване. Разглеждат се вградени Au сфери със среден диаметър на ансамбъла от 20, 60 и 100 nm, както и коефициенти на запълване от 0,008, 0,010 и 0,030.