

FOSZFORESZCENS STRONCIUM-ALUMINÁTOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS FEJLESZTÉSE

Ph.D. értekezés tézisei

HAVASI VIKTOR

Témavezető:
Dr. Kukovecz Ákos



Kémia Doktori Iskola

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék
Természettudományi és Informatikai Kar
Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2022

1. Előzmények és célok

A fény és szín jelenségek a történelmi korok óta foglalkoztatják és inspirálják az emberiséget. A számos ma ismert lumineszcencia típus közül a foszforeszcencia már a 17. század óta ismert és kutatott jelenség, melyet elsőként átmeneti fémekkel szennyezett alkáli szulfidokon figyeltek meg. A felfedezést azon felismerés követte, hogy a szervesetlen kristályokban a lumineszcencia jelenségek bizonyos szennyező elemek jelenlétéhez kötött. Mára a különböző lumineszcens tulajdonságú szerves és szervesetlen anyagok előállítása, jellemzése és alkalmazása egy új, önálló iparágga nőtte ki magát. Napjainkban, a természetben előforduló változatoknál jóval kedvezőbb tulajdonságokkal bíró mesterséges kristályokat állíthatunk elő. Ezen mesterséges anyagokban a lumineszcencia minőségi paraméterei tervezhetőek és hangolhatóak szennyező elemek adagolásával és a befogadó kristályrács paramétereinek módosításával is. A modern szervesetlen foszforeszcens anyagok fejlesztésének egyik fő irányvonala a kristályok lumineszcens tulajdonságainak finomhangolása a széleskörű igényekhez. A foszforeszcencia során kialakuló energiatranszfer folyamatok még csak részben tisztázottak, így a kutatások másodlagos irányzata ezen lehetséges folyamatok jobb megértésére irányul.

A különböző látható lumineszcenciát mutató anyagok felhasználása jelenleg is széleskörű, de további új megoldásokkal bővíthető, amelyekben sikerrel aknázhatjuk ki a foszforok fontos képességeit: a napfény és mesterséges fényforrások alatti feltöltődést és a szabad szemmel látható foszforeszcenciájuk akár 20-30 órás életidejét. Az újszerű alkalmazási lehetőségek között tehát a foszforeszcencia, mint alternatív energiatároló megoldás kerülhet előtérbe. Az ún. tartós foszforokkal hétköznapi területeken díszítő, jelző és biztonsági pigmentként történő felhasználásban találkozhatunk leggyakrabban, bel- és kültéri alkalmazások egyaránt megtalálhatóak: épületek természetes fénytől elzárt részein, közvilágítás-mentes közutak jelző csíkjaiban és bankjegyekben. Napelemek kiegészítő rétegeként és természetes fényen zajló fotokatalitikus reakciók segítésére is találhatóak már megoldások. A speciális, infravörös tartományban sugárzó tartós foszforok biológiai megjelölő ágensként használhatóak. Ezen túl egyes foszforok radioaktív sugárzás elnyelésére, kimutatására, vagy akusztikus jelenségek kimutatásának segítésére is alkalmasak. Az újszerű alkalmazások előrevetítik, hogy a szervesetlen foszforok különleges (pl. színváltás, hullámhosszhangolás) tulajdonságainak, tartóssági és feldolgozhatósági paramétereinek felderítése és fejlesztése szükséges.

Doktori munkám során a következő témakörök ismeretanyagának bővítésével foglalkoztam:

1. A $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu,Dy}$ és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu,Dy}$ stroncium-aluminátok előállítása során a homogenizációs eljárások, a flux és aktivátor összetevők mennyiségi hatásának vizsgálata és az optimális körülmények megállapítása. Az előállított foszforok kristályosságának jellemzése röntgen diffraktometriával (XRD) és lumineszcens teljesítményének vizsgálata fotolumineszcencia spektroszkópiás (PL) és foszforeszcencia fényintenzitás mérések (AG) módszerekkel.
2. A stroncium-aluminátok szemcseméret manipulációjának hatásvizsgálata. Örléses eljárással a $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu,Dy}$ és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu,Dy}$ foszforoknál elérhető szemcseméret

- változások követése és összehasonlítása pásztázó elektronmikroszkópia (SEM) segítségével. Az őrlött stroncium-aluminátok kristályosságának és lumineszcens teljesítményének jellemzése és összehasonlítása XRD, PL és AG módszerekkel. Az őrlési energiák számítása és a két foszfor teljesítménytényezőinek összehasonlítása azonos károsító behatások mellett.
3. A minőségükben leromlott stroncium-aluminátok regenerálási lehetőségeinek vizsgálata. A kétféle stroncium-aluminát regenerálhatóságát befolyásoló tényezők, a kiindulási anyag károsodottságának és a regenerálási körülmények hatásának felderítése. Az Eu^{2+} lumineszcencia centrum regenerációjának megfigyelése XPS módszerrel. Az azonos mértékben károsodott és azonos körülmények közt regenerált $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu,Dy}$ és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu,Dy}$ foszforok kristályosságának, és fotolumineszcens teljesítményének összehasonlítása XRD, PL, AG és termolumineszcencia (TL) módszerekkel. A tapasztalt különbségek magyarázata.
 4. A $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} , Ho^{3+} és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} , Ho^{3+} vegyesen ko-aktivált foszforok optikai és szerkezeti tulajdonságainak felderítése és a foszforok közti különbségek jellemzése.
 5. $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} feltöltődésével és a foszforeszcenciát biztosító töltéshordozók eltárolódásával kapcsolatok ismeretek bővítése. A töltéshordozók csapdázódási energiaszintjeinek és mennyiségének számítása különböző típusú és intenzitású gerjesztő források hatására.
 6. A $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} foszforral segített $\text{ZnO}:\text{Co}+\text{AgNP}$ kompozit fotokatalizátor fejlesztése és szerkezetének jellemzése elektronmikroszkópiás, elemanalitikus és dinamikus fényszórás (TEM, SEM-EDS, DLS), valamint XRD és UV-Vis módszerekkel. A kompozit katalizátor hatékonysági vizsgálata festékbontásos, modell fotokatalitikus rendszerben. A foszforral segített fotokatalitikus reakció megvalósításához energiatakarékos és biztonságos elrendezési lehetőségeinek bemutatása és vizsgálata a fotokatalitikus hatékonyság szempontjából.

2. Kísérleti rész és vizsgálati módszerek

A stroncium-aluminátok egyenként 6,25 mmol/minta anyagmennyiségben készültek szilárd fázisú és égetéses homogenizációs módszerekkel egyaránt. A szintézis mindkét esetben két lépcsőben valósult meg. Szilárd fázisú szintézisek esetén az összetevő fémek oxidjait és karbonátjait bolygó golyósmalomban 1 órás nagy energiájú őrléses keveréssel homogenizáltuk. Az égetéses szintézis esetén a nyers stroncium-aluminátot az összetevőinek vízben oldott fém-nitrátjaiból, az oldat karbamidos kémiai égetésével állítottuk elő. Mindkét esetben a homogenizált prekuzort 1200 °C-os hőkezelésnek vetettük alá enyhén redukzív atmoszféra alatt. A kész mintákat dörzsmozsárban porítottam. A stroncium-aluminátokban az aktivátor elemek a befogadó kristályrácsban a hasonló atomi átmérűjű elemek helyét foglalják el, ezért az aktivátorok mennyisége at.%-ban a befogadó kristályrácsban a helyettesített elemhez képest lettek megadva.

A fizikai stressz ellenállás vizsgálatokban a kétfajta stroncium-aluminátot Si_3N_4 őrlőedényben és golyókkal, bolygó golyós malmos őrlésnek vetettem alá. A folyamatban az őrlés befektetett energiáját az idő és fordulatszám változtatásával értem el, 200-500 rpm és 0-120 perc intervallumokban.

A stroncium-aluminátok katalízisben betöltött segéd szerepének vizsgálatokor a kompozit katalizátort több lépcsőben állítottuk elő. A kompozit alapjául szolgáló ZnO-t és ZnO:Co-t (Zn:Co = 93:7) karbamidos kémiai égetéssel a fémek nitrát sóinak oldatából állítottuk elő. A ZnO és ZnO:Co katalizátorok felületére fotodepozícióval ezüst nanorészecskéket (Ag NPs) választottunk le. A reakcióhoz 4g ZnO/ZnO:Co-t szuszpendáltunk 500 ml vízben, majd Zn:Ag = 1:0,2 atom arányban AgNO_3 sót oldottunk a szuszpenzióban, a fotodepozíciót a szuszpenzió kevertetése közben 3 órás UV besugárzás biztosította. A stroncium-aluminát PDMS-be ágyazását egyszerű keveréssel és katalizátoros térhálósítással valósítottuk meg, 1:0,02-0,12 polimer:foszfor tömegarányokban. A kompozit katalizátorok fotokatalitikus teljesítményét 10 mg/l metilnarancs oldat bomlási reakcióján keresztül követtük önmagában és foszforos segítséssel is. A katalitikus festékbomlási reakciók álló ágyas rendszerben, keverés nélkül, LED megvilágításos aktivációval lettek megvalósítva.

A stroncium-aluminátok feltöltődési folyamatát és foszforeszcenciáját 20 mg mintamennyiségeken vizsgáltuk α , β és UV besugárzás mellett, amely esetekben TL és AG teljesítmény is meghatározásra került, ezen kívül 300 mg mennyiséget vizsgáltunk csak UV besugárzás és AG követés esetén. Az ismert sugárzási teljesítmények mellett a besugárzási idő változtatása mellett figyeltük meg a foszforeszcencia minőségének alakulását.

A stroncium-aluminát és katalizátor részecskéinek morfológiai jellemzőire, méretére és makro-szerkezeti tulajdonságaira elektronmikroszkópos (SEM, TEM) felvételekből és dinamikus fényszórás mérés (DLS) eredményéből következtettünk. Az elemi összetételt és eloszlást (kompozit esetén) energia diszperzív röntgen spektroszkópiás (SEM-EDS) módszerrel elemeztük. A foszforok és katalizátorok belső szerkezeti tulajdonságait porröntgen diffraktometria (XRD) segítségével határoztam meg. A stroncium-aluminát részecskék felszíni összetételéről és a lumineszcencia centrum oxidációs állapotáról röntgen fotoelektron spektroszkópiával (XPS) nyertünk információt. A foszforok és katalizátorok fotolumineszcens teljesítményét és színét diffúz reflexiós UV-Vis spektroszkópia módszerrel határoztuk meg. A foszforok kristályszerkezetében létrejött, csapdázó energiaszinteket termolumineszcens (TL) módszerrel és az azon alapuló számítási módszerekkel határoztuk meg. A stroncium-aluminátok foszforeszcenciáját (AG) foton sokszorozó cső alkalmazására alapuló komplex készülékkel követtük.

3. Új tudományos eredmények

1. A stroncium-aluminátok optimális előállításának, mechanikai stressztűrésének, részecskeméret-csökkentési lehetőségeinek és regenerálhatóságának felderítése

- 1.1 A SrAl_2O_4 : $\text{Eu}^{2+}/\text{RE}^{3+}$ és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$: $\text{Eu}^{2+}/\text{RE}^{3+}$ foszforok előállítása során megmutattuk, hogy szintézis és minőség szempontból is mindkét foszfor esetén az optimális flux mennyiség Al:B 9:1, a prekursorok optimális homogenizációja 1 órás őrléses keverés 450 rpm-en, az optimális magas hőmérsékletű szintézis időtartama nem több, mint 4 óra (1200 °C, H_2/N_2 10 v/v% atm. mellett), és az optimális aktivátor/ko-aktivátor mennyiség Sr:Eu:Dy 0,88:0,04:0,08 [1,3].
- 1.2 Kimutattuk, hogy őrléses részecskeméret csökkentés során mindkét stroncium-aluminát kristályossága és részecske mérete is egy kritikus befektetett határenergia (~10 J/g) felett degradálódik jelentősen, és őrléssel az átlag szemcseméret nem csökkenthető 0,5 μm alá. Felderítettük, hogy az azonos őrlési körülményeknek kitett stroncium-aluminátok részecskeméretükben és a kristályosságuk degradációjában is különböztek, ennek oka a két foszfor kristallitjainak különböző mértékű aggregációja. Az XRD, PL, AG és TL vizsgálatokkal megmutattuk, hogy mindkét stroncium-aluminát aktuális fotolumineszcens és foszforeszcens teljesítménye is a kristályosságuk állapotától függ [2].
- 1.3 Megmutattuk, hogy a leromlott teljesítményű stroncium-aluminátok részlegesen regenerálhatóak a hőkezelésükkel azonos (4 h, 1200 °C, H_2/N_2 10 v/v% atm.) körülmények között, ahol az eredmény leginkább a foszforok kiindulási állapotától függött. Alátámasztottuk, hogy az őrlés során a foszforok lumineszcencia centruma oxidálódik, a regeneráció során újra redukálódik ($\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$), ezzel együtt a fotolumineszcenciájuk regenerálódott. A teljes regeneráció sikertelenségének oka a foszforok részleges újrakristályosodása, amely következtében kedvezőtlen hatású kristályhibák maradtak mindkét foszfor kristályszerkezetében, ezáltal a foszforeszcencia teljesítmény csak csekély mértékben volt helyreállítható [2].

2. A SrAl_2O_4 : Eu^{2+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$: Eu^{2+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} vegyesen ko-aktivált foszforok optikai és szerkezeti tulajdonságainak felderítése

- 2.1 Felderítettük, hogy mindkét foszforban a Dy^{3+} ko-aktivátor mellett és helyett Ho^{3+} ko-aktivátort alkalmazva az emissziós csúcson mért fotolumineszcencia intenzívebbé válik, ami a Dy^{3+} ko-aktivált változatokhoz képest SrAl_2O_4 : Eu^{2+} , Ho^{3+} esetén +100% és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$: Eu^{2+} , Ho^{3+} +60% fényerőt jelent. A ko-aktivátor cseréje a foszforeszcencia nagyon korai (<10 s) szakaszában intenzívebb, késői szakaszában gyengébb foszforeszcencia felé hangolódik [1,3].

- 2.2 Megállapítottuk, hogy a $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{RE}^{3+}$ esetében egyeleemes ko-aktivációkor jelentős a mellékfázisaként megjelenő Ln-gránátok képződése, ami vegyes ko-aktiváció mellett jelentősen kisebb mértékű. A $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Ho}^{3+}$ foszforban ezért az aktivátor és ko-aktivátor elemek 1:1:1 arányú adagolása kiemelkedő tulajdonságokat hozott: 45% fotolumineszcencia intenzitás emelkedés mellett a foszforeszcencia élettartama mindössze 12%-al rövidült, ami a Ln-gránátok képződésének visszaszorulásával magyarázható. A szennyező képződés a $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{RE}^{3+}$ esetében elhanyagolható volt, ezért a vegyes $\text{Dy}^{3+}/\text{Ho}^{3+}$ vegyes ko-aktivációval átmeneti, lineáris jellegű fotolumineszcencia és foszforeszcencia élettartam módosulás volt megfigyelhető [1,3].
- 2.3 Megmutattuk, hogy a $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{RE}^{3+}$ és $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ (RE = Gd, Tb) esetén a Ho^{3+} -al szimplán és vegyesen ko-aktivált változatok fotolumineszcencia intenzitása érhető el, de a Ho^{3+} -ra jellemző foszforeszcencia élettartam csökkenés nélkül. A TL vizsgálatok eredménye alapján a Gd, Tb, Ho, Ce elemek a Dy-hoz hasonló domináns energiájú, de eltérő stabilitású csapdázó energia szinteket alakítanak ki a befogadó kristályban, míg a Nd kioltó energiaszinteket alakít ki.

3. A $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}/\text{ZnO}:\text{Co}+\text{AgNP}$ kompozit fotokatalizátor energiahatékony és biztonságos alkalmazási lehetőségének vizsgálata fotokatalitikus rendszerekben

- 3.1 A foszforeszcenciát, mint alternatív energiátárolási lehetőséget alkalmaztuk egy modell fotokatalitikus rendszer segítésére. A foszfor emisziós hullámhosszára (450-550 nm) érzékenyített ZnO:Co katalizátor katalitikus aktivitását ezüst nanorészecskék (AgNP) hozzáadásával jelentősen növeltük. Megmutattuk, hogy a stroncium-aluminát többféle módon, a katalizátorral keverve és háttérsugárzóként is alkalmazható erre a célra. Ezek közül a biztonságosabb a műanyagba ágyazott foszforral (0,12:1 foszfor:PDMS tömegarányban) háttérsugárzásos elrendezés, míg a foszfor/katalizátor (1:1 tömegarányban) keverékes megoldás a festék molekulák gyorsabb eliminációját mutatta [4].
- 3.2 A foszfor által nyújtott többletfény legkedvezőbbben energiatakarékos, szaggatott gerjesztő megvilágítás alkalmazásával használható ki mindkét elrendezésben. Legkedvezőbb esetben a foszforral segített fotokatalitikus MO bontási reakció mindössze 2 %-al lassult 50% energia megtakarítás mellett. A foszforral kevert katalizátor esetében kimutattuk, hogy a keverék mennyiségtől függően a katalitikus festékbomlás mellett adszorpciós és önárnyékoló hatások is érvényesülnek [4].

4. $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ feltöltődésével és a töltéshordozók eltárolódásával kapcsolatos folyamatok vizsgálata

- 4.1 Felderítettük a $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ töltéshordozó tárolásának telítődési tendenciáit és foszforeszcencia teljesítményének alakulását radioaktív α és β sugárzások, valamint UV fény gerjesztések hatására. Megállapítottuk, hogy a foton, elektron vagy részecske energiája (amennyiben az már képes a gerjesztésre) kevésbé befolyásolja a feltöltődést, ellenben a besugárzás fluxusának és a gerjesztő forrás töltésének hatása sokkal jelentősebb. A vizsgálatok során számszerűen megmutattuk az adott gerjesztő forrással elérhető telítődési szinteket [5].
- 4.2 Termolumineszcens módszerrel megállapítottuk, hogy a $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ionizáló és UV gerjesztés hatásaira a foszforeszcenciát biztosító töltéshordozók különböző jellegű csapdapozíciókat foglalnak el a kristályszerkezetben. A különbség abból adódik, hogy az ionizáló sugárzás hatására a töltéshordozók közvetlenül, a lumineszcencia centrum kihagyásával gerjesztődnek és csapdázódhatnak [5].

4. A doktori értekezés alapját képező közlemények

- [1] Luminescence properties of Ho^{3+} co-doped $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} long-persistent phosphors synthesized with a solid-state method

Z. Győri, V. Havasi, D. Madarász, D. Tátrai, T. Brigancz, G. Szabó, Z. Kónya, Á. Kukovecz

Journal of Molecular Structure 1044 (2013) 87.

IF₍₂₀₁₃₎:1,60; idézet₍₂₀₂₁₎: 16

- [2] On the effects of milling and thermal regeneration on the luminescence properties of Eu^{2+} and Dy^{3+} doped strontium aluminate phosphors

V. Havasi, D. Tátrai, G. Szabó, E. Varga, A. Erdőhelyi, Gy. Sipos, Z. Kónya, Á. Kukovecz

Journal of Luminescence 219 (2020) 116917.

IF₍₂₀₁₉₎:3,28; idézet₍₂₀₂₁₎: 15

- [3] Luminescence and color properties of Ho^{3+} co-activated $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} phosphors

V. Havasi, G. Sipos, Z. Kónya, Á. Kukovecz

Journal of Luminescence 220, (2020) 116980.

IF₍₂₀₁₉₎:3,28; idézet₍₂₀₂₁₎: 2

- [4] Photocatalytic performance of $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy phosphor assisted $\text{ZnO}:\text{Co}+\text{Ag}$ nanocomposite under continuous and pulsed illumination

V. Havasi, B. Vödrédi, Á. Kukovecz

Catalysis Today 284, (2017) 107-113.

IF₍₂₀₁₇₎:4,03; idézet₍₂₀₂₁₎: 13

- [5] Systematic comparison of saturation effects and afterglow properties of $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy phosphor excited by alpha and beta ionizing sources and UV light

V. Havasi, D. Tátrai, G. Szabó, Gy. Sipos, Z. Kónya, Á. Kukovecz

Journal of Molecular Structure 1140, (2017) 89-98.

IF₍₂₀₁₇₎:1,78; idézet₍₂₀₂₁₎: 3

5. Előadások, poszterek, konferenciárészvételek

- 31th European Congress on Molecular Spectroscopy (EUCMOS)
Kolozsvár, 2012. aug. 26 - 31.

The influence of synthesis methods, different dopant ions and ratios on the luminescence of SrAl₂O₄ nanoparticles

Győri Zoltán, Havasi Viktor, Pusztai Péter, Madarász Dániel, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán

- XXXI. OTDK Kémia és Vegyipari Szekció, Eger, 2013. április 4-6.

Holmiummal ko-aktivált stroncium-aluminátok szintézise és fotolumineszcens tulajdonságainak vizsgálata

- A Magyar Mikroszkópos Társaság éves konferenciája, Siófok, 2013. máj. 23-25.

Havasi Viktor, Győri Zoltán, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán

Synthesis and characterization of Ho³⁺ co-doped SrAl₂O₄:Eu²⁺, Dy³⁺ phosphors in order to using them as downconverter composites with quantum dots

- XXXVI. Kémiai előadói Napok, Szeged, 2013. okt. 28-30.

Havasi Viktor, Győri Zoltán, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán

Hosszantartóan foszforeszcens stroncium-aluminátok előállítás és jellemzése

- The Conference for Young Scientists in Ceramics, 10th Students Meeting, 2013. nov. 6-9.

Havasi Viktor, Győri Zoltán, Kukovecz Ákos, Kónya Zoltán

Synthesis and characterisation of Strontium-aluminate phosphors and CdSe Quantum Dot based composites

- XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár, 2014. november 6-9

Bogya Erzsébet Sára, Havasi Viktor, Kukovecz Ákos

Ülő csepp-párolgás tanulmányozása makropórusos szén nanocső filmekről

- 12th Multinational Congress on Microscopy, Eger, 2015. aug. 23-28.

Synthesis and characterization of oversized porous ZnO flakes deposited directly on conductive metallic substrates (poszter)

Havasi Viktor, Kónya Zoltán, Kukovecz Ákos

- 33th European Congress on molecular Spectroscopy (EUCMOS)
Szeged, 2016. júli. 30 - aug. 4.

Charging-up effects on long persistent luminescence properties of visible light and ionizing irradiated Sr₄Al₁₄O₂₅:Eu, Dy phosphors

Havasi Viktor, Tátrai Dávid, Szabó Gábor, Sipos György, Kónya Zoltán, Kukovecz Ákos

- 7th International Workshop on Photoluminescence in rare earths: photonic materials and devices (PRE'17) Róma, 2017 nov. 30- dec. 2.

Luminescence and color tuning of Sr₄Al₁₄O₂₅: Eu²⁺, Dy³⁺, Ho³⁺ phosphors by mixed lanthanide co-activation (előadás)

Havasi Viktor, Sipos György, Kónya Zoltán, Kukovecz Ákos

6. Egyéb közlemények

1. Synthesis, characterization and photocatalytic activity of crystalline Mn (II) Cr (III)-layered double hydroxide

Z. Timár, G. Varga, Sz. Muráth, Z. Kónya, Á. Kukovecz, V. Havasi, A. Oszkó, I. Pálinkó, P. Sipos
Catalysis Today 284, (2017) 195-201.

IF₍₂₀₁₇₎: 4,03; idézet₍₂₀₂₁₎: 21

2. Exploring Pd/Al₂O₃ Catalysed Redox Isomerisation of Allyl Alcohol as a Platform to Create Structural Diversity

A. Dékány, E. Lázár, B. Szabó, V. Havasi, Gy. Halasi, A. Sági, Á. Kukovecz, Z. Kónya, K. Szőri, G. London

Catalysis Letters 147, (2017) Issue 7, 1834–1843.

IF₍₂₀₁₇₎: 2,79; idézet₍₂₀₂₁₎: 3

3. Pulse electrodeposition and characterization of non-continuous, multi-element-doped hydroxyapatite bioceramic coatings

M. Furko, Z. May, V. Havasi, Z. Kónya, A. Grünwald, R. Detsch, A. R. Boccaccini, Cs. Balázs

J. Solid State Electrochem 22, (2018) Issue 2, 555–566.

IF₍₂₀₁₇₎: 2,31; idézet₍₂₀₂₁₎: 9

4. Development and characterization of multi-element doped hydroxyapatite bioceramic coatings on metallic implants for orthopedic applications

M. Furko, V. Havasi, Z. Kónya, A. Grünwald, R. Detsch, A.R. Boccaccini, Cs. Balázs

Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 57, (2018) Issue 2, 55-65.

IF₍₂₀₁₇₎: 1,05; idézet₍₂₀₂₁₎: 33

5. The aggregation behaviour of 2H-imidazole-2-thione derivatives in solution, the solid state and over polycrystalline gold surface

T.N. Hung, G. Varga, Z. Kónya, Á. Kukovecz, G. Kozma, V. Havasi, P. Sipos, G. Mlostoń, I. Pálinkó

Journal of Molecular Structure 1180, (2019) 26-30.

IF₍₂₀₁₈₎: 2,01; idézet₍₂₀₂₁₎: 0

6. Cross-Calibration of an α -Source Used for Luminescence Dating by Applying Different Samples and Procedures

G. Sipos, C. Schmidt, T. Bartyik, D. Filyó, G. Magyar, V. Havasi, Á. Kukovecz

Geochronometria 48 (1), 61-72

IF₍₂₀₂₁₎: 1,51; idézet₍₂₀₂₁₎: 0

Összes referált közlemény: **11**

ebből az értekezéshez kapcsolódik: **5**

Összesített impakt faktor: **27.67**

ebből az értekezéshez kapcsolódik: **13,97**

Összes idegen hivatkozás: **106**

ebből az értekezéshez tartozik: **45**

Nem idegen hivatkozás: **9**