

Nanostruktúrák LED-ek

Cikkünk bemutatja a különböző heteroszerkezetű világító diódák felépítését, valamint kritikus kérdésekre ad választ a két- és háromkomponensű félvezetők rétegszerkezetének előállításával kapcsolatban. Az infravörös LED-ek előállítási tapasztalatai alapján megkísérelünk útbaigazításokat adni fehéren világító félvezető fényforrások gyártási nehézségeinek megoldására. Bemutatásra kerül az kis dimenziós szerkezetek előállítására alkalmas rétegnövesztési technológiák közül a legkifinomultabb és leghatékonyabb, a molekulásugár epitaxia (MBE). Az MBE technológiánál mód nyílik arra, hogy a molekularétegek kialakulását in-situ módon kövessük, és szükség esetén beavatkozzunk a növesztés folyamatába.

This paper shows the architecture of some different types of hetero structure LEDs, as well as answer to critical questions about production of binary and ternary semiconductor layer structures. We sketch the possibility solving the manufacturing difficulties of white-light semiconductors on the basis of the infrared LED manufacturing experience. Will be presented a molecular beam epitaxy (MBE), which is the most sophisticated and effective growing technology for producing low-dimensional structures. MBE technology is possible to follow the development of molecular layers in-situ, and to intervene in growing if necessary.

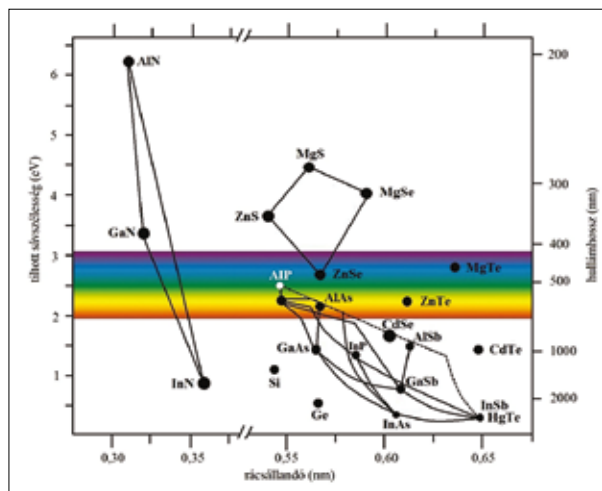
1. BEVEZETÉS

A LED-ekben a fénykeltés elve, hogy a direkt félvezetőkben a gerjesztett töltéshordozók pn-átmenetbe injektálása és rekombinációja során látható elektromágneses sugárzás, azaz fény keletkezik. A folyamat egy tökéletes egykristályos félvezetőben közel 100% hatásfokkal játszódik le, de a valódi LED-ek az elektromos energiát csak kisebb, mint 50% hatásfokkal képesek fényre alakítani. A veszteségi mechanizmusok feltárása és a szerkezeti anyagok fejlesztése komoly kihívást jelent az anyagtudomány számára.

2. HETEOSZERKEZETŰ DIÓDÁK FELÉPÍTÉSE

A nagy hatásfokú félvezető fényforrások (diódák és lumineszcens anyagok) közös jellemzője, hogy a töltéshordozók rekombinációja az anyag felületétől távol játszódik le, hogy a felületi hibák ne rontsák a hatásfokot. A direkt félvezető diódák aktív rétegében keletkező sugárzás hullámhosszát az aktív réteg tiltott sávja szabja meg, ahol a félvezetők tiltott sáv szélessége megfeleltethető egy-egy domináns hullámhossznak (1. ábra).

A LED-ekben az aktív tartományt mindig egy nagyobb tiltott sávú anyag veszi körül, amely mint potenciálgát



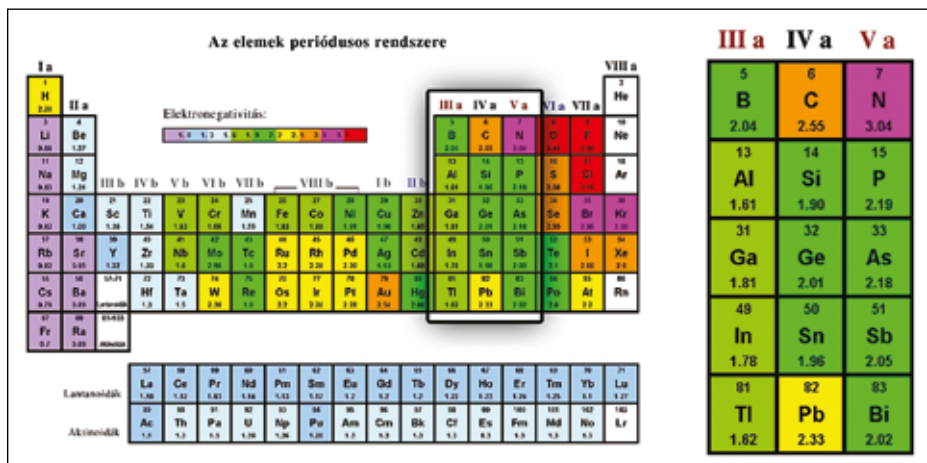
1. ábra Néhány fontos félvezetőanyag tiltott sávja a rácsállandó függvényében [1]

akadályozza a gerjesztett töltéshordozók szét diffundálását. Az aktív tartományt körülvevő nagyobb tiltott sávú anyag kisebb törésmutatójú és átlátszó az aktív tartományban keletkező fény számára, amely így kis veszteséggel tud kijutni a kristályból.

3. III-V FÉLVEZETŐK ÉS SZILÁRD FÁZISÚ ÖTVÖZETEK

A leggyakrabban használt LED-anyagok a periódusos rendszer harmadik és ötödik oszlopában található elemekből képződő vegyület-félvezetők és szilárdfázisú ötvözeteik (2. ábra).

Ezek a III-V félvezetők lehetnek két-, három- vagy négykomponensű anyagok. A legkisebb rendszámú atomokat tartalmazó anyagok tiltott sávja a legnagyobb. A nitrid-félvezetőkben kation cseréjével a tiltott sáv a következők szerint csökken: $AlN > GaN > InN$. A nitrid-félvezetők egyéből az ultrabolyától a közeli infravörös tartományig terjedő spektrumban működő LED-ek és detektorok készíthetők. Az V. oszlop elemeit cserélve szintén egyre kisebb tiltott sávú anyagot kapunk például gallium-alapú félvezetők esetén, növelve a használt elem rendszámát a tiltott sáv rendre így csökken: $GaN > GaAs > GaSb$. Az anyagok rácsállandója és törésmutatója ellentétesen változik a tiltott sáv változásával, azaz a nagyobb tiltott sávú félvezetőnek kisebb a rácsállandója és a törésmutatója.



2. ábra III-V félvezetők helye a periódusos rendszerben [2]

A legtöbb háromkomponensű anyag rácsállandója erősen változik az összetétellel, ezért az egymásra épített, különböző összetételű rétegek deformációja kristályhibák megjelenéséhez vezet egy kritikus vastagságnál.

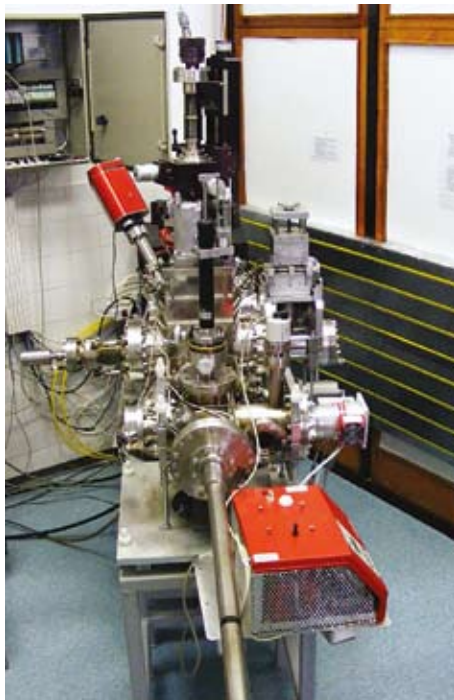
A kétkomponensű félvezetők tiltott sávja mindig nagyobb, mint a közel azonos rendszámú elemi félvezetőké, mert az eltérő elektronegativitás miatt a vegyület-félvezetők kötése ionos jellegű is mutat, az elektrosztatikus vonzás energiája pedig növeli a kötése erősséget. A GaAs tiltott sávja 1,45 eV, de a vele azonos sorban lévő Ge csak 0,76 eV tiltott sávval rendelkezik.

Ha tervezett hullámhosszon sugárzó LED-eket szeretnénk létrehozni, azok aktív rétege többnyire csak kétkomponensű félvezetők elegyítésével hozható létre. A félvezető elegykristály rácsállandója az összetevők rácsállandójának lineáris kombinációja (Vegard szabály). A tiltott sáv viszont nem lineárisan változik az összetétellel. A lineáris kombinációval számított értéknél mindig valamivel kisebb értéket mutat. Az összetétel tiltott sáv függvény görbülsége anyagrendszer szerint eltérő mértékű. Előbbiekből következik, hogy eltérő tiltott sávú és ugyanakkor rácsillesztett anyagokat csak négy összetevőt tartalmazó félvezető ötvözetekből lehet előállítani.

4. NÖVESZTÉSI MÓDSZEREK

Míg a kétkomponensű félvezető anyagok olvadékaikból kristályosíthatók, a félvezető-ötvözetek tömbi előállításánál mindig változik az összetétel, mert a komponenseknek eltérő megoszlási hányadosa van a szilárd és olvadék fázisban. A növesztések általános problémája, hogy a kristályt alkotó elemek gőznyomása a kristálynövesztés hőmérsékletén nagy. A GaN egykristályokat csak korlátozott mértékben tudják előállítani, ezért a legtöbb LED-szerkezetet zafír hordozón növesztik. [3] [4]

A gyakorlatban a többkomponensű félvezetőket valamilyen más anyagból készített egykristályos hordozóra választják le. Ha a két anyag rácsállandója közel azonos, akkor



3. ábra MBE az MFA és OE közös laboratóriumában [6]

egy kristályos rétegek keletkeznek. A növesztés hőmérséklete döntően meghatározza a rétegek minőségét, mert a legtöbb anyagrendszerben a komponensek szilárd fázisú oldhatósága erősen függ a hőmérséklettől. A leválasztás lehet telített olvadékból (LPE – folyadékfázisú epitaxia), gőzfázisból (VPE – gőzfázisú epitaxia, HVPE – hidrid¹ gőzfázisú epitaxia, MOCVD – kémiai gőzfázisú leválasztás), atomi rétegenként (ALE, ALD – atomi réteg epitaxia) vagy ultra nagy vákuumban (MBE – molekulásugaras epitaxia). [5]

A VPE és HVPE előnyösen alkalmazható vastag rácsillesztett rétegek leválasztására, mert a rétegnövesztési sebesség nagy. A nagyon vékony félvezető rétegszerkezeteket pedig többnyire MOCVD, vagy MBE módszerrel állítják elő (3. ábra).

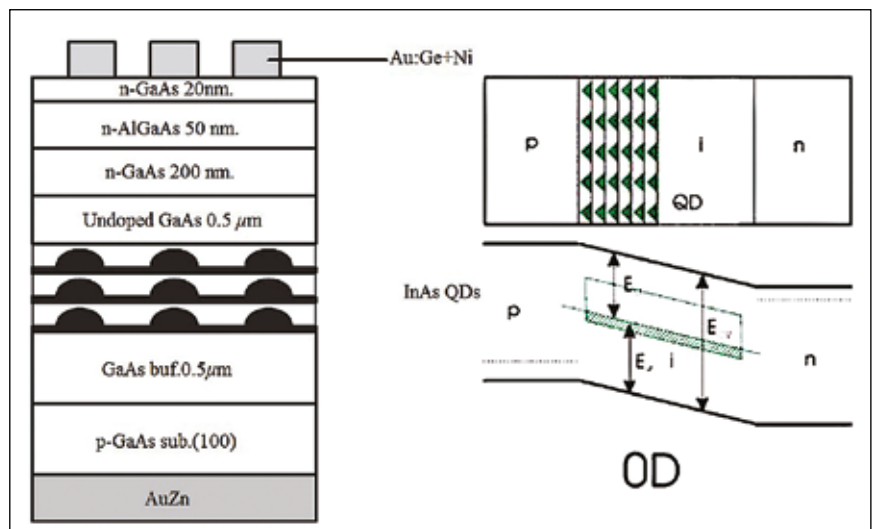
A néhány nanométer vastagságú félvezetők tiltott sávja már erősen függ a vastagságtól, ezért az összetétel változtatásán kívül, további lehetőség nyílik a LED-ek emissziós spektrumának hangolására.

5. FESZÍTETT RÉTEGEK

A nagyon vékony rétegekben a rácsszerkezet rugalmasan torzul, ha az összetétel eltér a rácsillesztett összetételtől. Azt a legnagyobb vastagságot, amely még éppen egykristályosan tud nőni, kritikus rétegvastagságnak nevezzük [7]. Ez a vastagság függ a növesztett réteg és a hordozó rácsállandója közötti relatív eltéréstől. A kritikus vastagság ott a legnagyobb, ahol a növesztett réteg és a hordozó rácsállandója a növesztés hőmérsékletén azonos. Ha a növesztett réteg rácsállandója nagyobb, mint a hordozóé, akkor a III-V félvezetőkben a tiltott sáv szélessége megnő a feszítetlen állapothoz képest. A rácsfeszültség megváltoztatja a félvezetők rácsszerkezetét és a kristályfelületek kémiai potenciálját, ezért a feszített réteget tartalmazó eszközök működését is jelentősen módosítja.

A hordozó eltérő rácsállandója hatással van a leváló réteg összetételére is. Megfigyelték, hogy a határfelülethez közel a rétegek összetétele úgy módosul, hogy közelítsen a hordozó rácsállandójához. A feszített rétegek növekedése során gyakran inhomogén vastagságú rétegek növekednek, amelyekben a felületi energia térben változik, ezért az anyagösszetétel is szigetesen eltérővé válik (4. ábra).

A jellemzően piramis alakú szigetek tetején a rácsfeszültség csökken, ezért az addig egységes összetételű anyag két különböző összetételű fázisra válik szét. A szigetek így

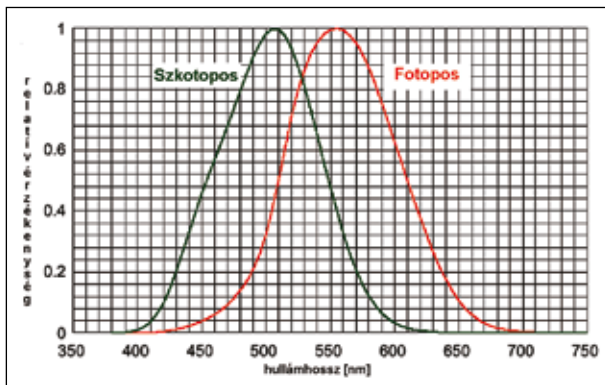


4. ábra Kvantum pontokat tartalmazó heteroátmenet felépítése [8]

¹hidrid = Hydride vapour phase epitaxy

potenciálgödörként viselkednek és a töltéshordozók rekombinációja ezekben a potenciálgödörben játszódik le. Ha a potenciálgödörök sűrűsége elég nagy a kristályhibákhoz viszonyítva, akkor a kristályhibák jelenléte indifferenssé válik és a belső kvantumhatásfok nagy lehet a sok hibahelyet tartalmazó szerkezetek esetén is. [12]

Napjainkban a látható tartományban sugárzó diódák hatásfoka és élettartama már nagyobb, mint a fénycsöveké, kompakt fénycsöveké és fémhalogén lámpáké, de világítástechnikai alkalmazásuk szélesebb elterjedése érdekében még több kritikus problémát meg kell oldani. Az egyik legjelentősebb feladat, hogy a veszteségi hőt hatékonyan el lehessen vezetni, a másik pedig, hogy az emissziós spektrum beállítható legyen a kívánt színhőmérséklet és színviszaadás szerint [9], figyelembe véve a tervezett megvilágítási szinthez illesztett szemérzékenységi görbét is (5. ábra).



5. ábra Az emberi szem érzékenységi görbéje világosban (fotopos) és sötétben (szkotopos) [10]

Fehér fényű félvezető-alapú fényforrást jelenleg vagy széles sávú fénypor és kék LED, vagy több különböző hullámhosszon sugárzó LED-ek kombinációjával hoznak létre. A legjobb hatásfok ez utóbbi módszerrel érhető el, de az eltérő színű fények homogén összekeverése elengedhetetlen, és ilyenkor a fénysűrűség jelentősen csökken. A nagy hatásfokú fényporok viszont drága, ritka földfémeket tartalmaznak, ami a tömeges alkalmazásuk gazdaságosságát – a jövőben – várhatóan csökkenti. Napjainkban pillanatnyilag a fényporos megoldás dominál.

A diódák emissziós hullámhossza (például a kék LED „színe”) a félvezetők összetételével és a méret megválasztásával egyaránt hangolható. A kék LED-szerkezetek aktív tartománya azonban hibahely mentesen már csak néhány nanométer vastagságú InGaN rétegekből készíthető. A rácsillesztési probléma a kívánt hullámhossz növelésével tovább nő, ehhez ugyanis nagyobb indiumtartalom szükséges és ez egyben nagyobb rácsállandójú anyagot is jelent. A nagyon vékony rétegek készítése érdekében a kezdetben használt folyadékfázisú (LPE), illetve gőzfázisú (VPE) epitaxiás növesztést fel kellett váltasa egy finomabb molekulásugár epitaxiás technológia (MBE), amellyel már atomi pontosságú rétegeket lehet kontrolláltan növesztetni. [11]

E technológia viszont lehetőséget nyújt a kék LED+fénypor szerkezetek elhagyására és továbblépésre a fénypor nélküli fehér fényű LED-ek felé. A rácsfeszültség egyik feloldási lehetősége, hogy a 4. ábrán is látható önszerveződő „nulla-dimenziós” kvantumpontokat kell létrehozni. Mivel a töltéshordozók rekombinációja és a fény keletkezése e kvantumpontokban történik, az emissziós hullámhossz a nanokristály méretének megfelelő tervezésével állítható be.

A fentebb bemutatott, direkt félvezetőkből készített heteroszerkezetekkel és nanostruktúrájú anyagokkal a hagyományos fényporok kiválthatók. [5] A cél egy olyan széles sávú GaN/InGaN heterostruktúrájú LED létrehozása, amely a teljes látható tartományban az emberi szem érzékenységi igényét kielégíti.

Az ilyen, ún. nulla dimenziós kvantumpontok előállítására alkalmas rétegnövesztési technológiák fejlesztése előfeltétele a hazai LED- és anyagtudományi kutatás további sikerének.

Irodalomjegyzék:

- [1] a szerző (Réti István) ábrája
- [2] a szerző (Nádas József) ábrája
- [3] S. Nakamura, G. Fasol, in: The Blue Laser Diode: GaN Based Light Emitters and Lasers, Springer, Berlin, 1997.
- [4] S. Nakamura in High Brightness LEDs, ed G.B. Stringfellow and M. G. Craford, Ch. 8; I. Akasaki and H. Amano, in High Brightness LEDs, ed G.B. Stringfellow and M. G. Craford, ch. 7.
- [5] G.B. Stringfellow: Microstructures produced during the epitaxial growth of InGaN alloys (Journal of Crystal Growth 312 (2010) p.735–749)
- [6] Fotó: Rakovics Vilmos
- [7] Á. Nemcsics: III-V-based Low-dimensional Structures (DSc Theses of HAS; MTA Budapest 2011)
- [8] a szerző (Rétilstván) ábrája a Suwaree Suraprapapich, „Quantum dot integration in heterostructure solar cells,” Solar Energy Materials & Solar Cells, 2006, p. 2968–2974. és a Á. Nemcsics, „Novel Alternative for the GaAs-based Self-organized Quantum-structure,” Óbuda University e-Bulletin, 2011, p. 1. felhasználásával
- [9] G. Wenzel, J. Bugyjas, I. Gálfi, K. Szarka: Sávszűrözött hamis-színes felvétel szelektáló képességének fokozása, Finommechanika-Mikrotechnika, vol. 20, pp. 208-213, 1981.
- [10] Adrian Warburton http://rosacea-research.org/wiki/index.php/Phototherapy:a_guide_to_the_pitfalls_of_terminology (2014-09-13) ábrájának felhasználásával
- [11] J. Bugyjas: Elektromechanikus szerkezetek elemei (Főiskolai jegyzet). Budapest: BMF KVK – 2019, 2003.
- [12] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 4188.



Réti István

kutató mérnök
MTA TTK Műszaki Fizikai
és Anyagtudományi Intézet
reti.istvan@ttk.mta.hu



Ürmös Antal

doktorandusz
Óbudai Egyetem KVK MTI
urmos.antal@phd.uni-obuda.hu



Nádas József

mérnök tanár
Óbudai Egyetem KVK MTI
nadas.jozsef@kvk.uni-obuda.hu



Dr. Rakovics Vilmos

tudományos főmunkatárs
MTA TTK Műszaki Fizikai
és Anyagtudományi Intézet
rakovics.vilmos@ttk.mta.hu

Beszámoló az 5. Lumen V4 konferenciáról

Ötödik alkalommal szervezték meg a Lumen V4 Visegrádi Országok Világítási Konferenciáját, a világítástechnikai szakma magyar kezdeményezésű nemzetközi tudományos fórumát, amelyen a visegrádi országok (Lengyelország, Csehország, Magyarország és Szlovákia) világítási szakemberei és kutatói cserélnek eszmét és tapasztalatot. A rendezvényt két évente, a résztvevő országok világítástechnikai társaságai szervezik felváltva. Első alkalommal, 2006-ban Balatonfüreden, ezúttal pedig a második kört elkezdve Visegrádon szervezte meg a magyar Világítástechnikai Társaság a szakmai találkozót 2014. október 8. és 10. között.

„Bátran kijelenthetem, hogy nagyszerű érzés azt tapasztalni, hogy egy álom beteljesült. Öröm számunkra, hogy kezdeményezésünk, a két évenkénti szervezés során már egyszer körbejárta országainkat, most újból mi, az ötletgazdák lehetünk házigazdái közös rendezvénysorozatunknak” – kezdte köszöntőjét Nagy János, a magyar Világítástechnikai Társaság elnöke, a Lumen V4 konferenciák ötletadója és elindítója. Az elnök úr megköszönte a visegrádi tagállamok szervezőinek és világítástechnikai szakembereinek az erőfeszítését, amely a sikerességét és egyben a jövőjét biztosítja a Visegrádi Országok Világítási Konferenciájának. Az idei helyszín különlegessége, hogy 1335-ben itt, Visegrádon kötött politikai és kereskedelmi szövetséget Károly Róbert magyar király, Luxemburgi János cseh király és Nagy Kázmér lengyel király – emlékeztetett Nagy János. Ez után a lengyel (Pracki Piotr), cseh (Sokansky Karel), szlovák (Dionyz Gasparovsky) Világítástechnikai Társaság elnökei, továbbá Visegrád polgármestere, Félegyházi András is köszöntötte a résztvevőket.

Az idei alkalom egyik nagy lépése volt, hogy a négy nemzet Világítástechnikai Társasága közösen kezdeményezte a fény és világítás nemzetközi napjának bevezetését november 4-ére, amelynek célja, hogy felhívja a figyelmet az energiahatékony és komfortos világítási megoldásokra.

A konferencia négy tudományos szekcióból állt: beltéri világítás, kültéri világítás, fényforrások és világítás-modellezés, illetve rendszerfejlesztés és mérés-technikák. Az előadások témája a világítás-technika széles tartományát lefedte: a fényforrásfejlesztéstől kezdve a világítási rendszerek tervezésén keresztül a működésbeli kérdéseket, mérés-technikát, különböző világítási tervezést és alkalmazásokat, szabványokat, a fényszennyezést és az emberi szempontokat is magába foglalta. A korszerű világítástechnikai szemlélet jegyében természetesen a LED-es világítás is hangsúlyosan szerepelt a konferencia tematikájában. Minden szekcióból hét előadást hallhattunk a két nap folyamán, így elmondható, hogy az előadások száma is lehetőséget biztosított a kiválasztott témákon belüli újdonságok átfogó ismertetésére. Az előadásokon kívül körülbelül 40 darab poszter is bemutatásra került, amelyek közül a legjobbak díjazásban is részesültek – a legjobb előadásokhoz hasonlóan. Továbbá a gyártók és forgalmazók termékbemutató standokkal jelentek meg a rendezvény ideje alatt.

BELTÉRI VILÁGÍTÁS

Visegrád történetének rövid bemutatása után elkezdődtek a szakmai előadások.

A beltéri világítás szekcióban dr. Szabó Ferenc előadásában bemutatta a Sixtus kápolna LED-es díszvilágításának korszerűsítése során alkalmazott új megoldásokat és a színek optimalizációjának folyamatát. A freskók reflexiós tényezőjének vizsgálata után sikerült olyan megvilágítást létrehozni, amely nem tartalmaz a freskókra nézve káros sugárzást és a színük is megegyezik az



1. ábra Szekció utáni vita, Majoros professzor úr érdeklődik

eredeti színükkel. Rejtett lámpatestekkel, megnövelt megvilágítási szint mellett is sikerült 30%-os energiamegtakarítást elérniük. A másik magyar előadó ebben a kategóriában Kéri Renáta volt, aki a Pannon Egyetemen, az intelligens, adaptív folyosóvilágítással kapcsolatos kutatási eredményekről tartott előadást. A projekt célja az volt, hogy a komfortérzet megtartása mellett a világítás szabályozásával energiát takarítsanak meg. A megfigyelők által kitöltött komfortérzetre vonatkozó teszt eredményeit felhasználva olyan világítást valósítottak meg, amely éves szinten közel 50%-os energiamegtakarítást eredményezett.

A lengyel Baranowsky Pawel arról beszélt, hogy a mai világítási modell előregedett, a megvilágítási igények korfüggők, ezért új elvekre lenne szükség. Az első cseh előadó, Zák Petr a beltéri világítás tervezésével kapcsolatban kiemelte, hogy a tervezés két alapja a fiziológiai és az energetikai szempont, és csak ezek figyelembevételével hozható létre összehangolt, optimalizált világítás. Kanka Jan, a csehországi lakóterek benapozásával foglalkozott. A szlovák Világítástechnikai Társaság elnöke azt a kérdést vetette fel, hogy lehetséges-e a lakóvilágítás szabványosítása. Mivel a házimunka is munkavégzésnek számít, hasonló látási feladatok vannak. Bemutatta a szlovák lakóvilágításra vonatkozó nemzeti szabványt, és javasolta a nemzetközi lakóvilágítási szabvány elkészítését. A második szlovák előadó, Mácha Marek bemutatta a LED-es lámpaburák új optomechanikus nanoszerkezetekkel való kialakításának eredményeit. A fénysík pontos irányítása mellett 96%-os transzmissziót értek el, a romatikus aberráció kiküszöbölése mellett. A szekció utáni vitában az utóbbi előadás részletei érdekelték leginkább a közönséget.

KÜLTÉRI VILÁGÍTÁS

A kültéri világítás szekcióban Szóke Tamás előadást tartott a Városi Világítási Mesterterv jelentőségéről. Kiemelte, hogy az útvilágítási szabvány nem elég precíz, továbbá nincs közvilágítási törvény. A mestertervben jelenleg a vizsgálat és koncepciókialakítás fázisában az energiahatékonyssággal és megvilágítással kapcsolatos követelmények kidolgozása zajlik, továbbá előkalkulációkat végeznek a befektetői döntések segítésére. Az a cél, hogy Budapest közvilágításának hosszú távú fejlesztésére iránymutatást adjanak és szakmai alapokon nyugvó követelményeket határozzanak meg. Pap Zoltán a BDK ügyvezetője a már megvalósult budapesti LED-es út- és parkvilágítás tapasztalatait osztotta meg a résztvevőkkel. A BDK küldetése a korszerű technológiák alkalmazásával a fővárosi energiafogyasztás csökkentése. Az előadásban ismertetésre került a beszerzés célja, folyamata, a beérkezett minta lámpatestek műszaki ellenőrzésének folyamata a Világítástechnikai Társasággal való együttműködésben, a megvalósítás menete, valamint a szállítás, kivitelezés és helyszíni ellenőrzés folyamata. Ezt követően Némethné Vidovszky Ágnes mutatta be az M4 metró világítási berendezéseinek mérési tapasztalatait. Két nagy problémát emelt ki: jelenleg nincs metróra vonatkozó világítási szabvány, illetve az UGR szerinti káprázáskorlátozás még nem elegendő a vizuális komforthoz. A metróaluljárókban a világítás mindenhol elérte a BKV által meghatározott minimum értékeket, sok helyen viszont több mint kétszeres megvilágítás volt mérhető.

Novak Tomas a cseh közvilágítási rendszer felújítását előkészítő követelményrendszer főbb pontjait ismertette, amelyek betartása mellett energiatakarékos, gazdaságos és a közlekedés biztonságát növelő közvilágítás lesz megvalósítható. Az éjszakai és alkonyati vezetés közben végzett vizuális feladattal kapcsolatban Pohl Jaroslav kiemelte, hogy biológiai rendszerünk nincs felkészülve erre, a látómezőnk beszűkül, színeket nem látunk, és az aktivitásunk is kisebb. Maixner Tomas tette fel előadásában azt a kérdést, hogy a zebrát vagy a gyalogost kell-e megvilágítani? Ezzel utalt arra, hogy nagyon sok helyen rosszul van kialakítva a gyalogos átkelőhelyek világítása, nincs meg a kellő pozitív vagy negatív kontraszt. A közvilágítási rendszerek elektromos paramétereit elemezte előadásában Janiga Peter. Kiemelte, hogy a világításmérésnél a pontos diagnosztikához egyéb paramétereket (pl. aszimmetria, felharmonikusok, nullavezető árama) is mérni kellene, főleg mióta egyre többfelé alkalmaznak LED-es világítást.

FÉNYFORRÁSOK ÉS VILÁGÍTÁSMODELLEZÉS

Ebben a szekcióban a legnagyobb érdeklődést Tóth Zoltán előadása váltotta ki. Egy új optikai modellt mutatott be, amellyel vizsgálható, hogy a LED-mátrixok elé helyezett különböző karakterisztikájú diffúzorokkal mennyire homogén világítás hozható létre, és ez milyen hatásokkal jár. Dubnicka Roman a beltéri világítás modellezés becslési bemeneti paramétereinek hatását vizsgálta. Arra figyelmeztetett, hogy bár a különböző világítástechnikai szoftverek számítási eredményeiben nincs jelentős különbség, a helyiség és berendezések reflexiós tényezőinek becslése okozhat akár 23%-os eltérést is a számított és a helyszínen mért megvilágításértékek között. A szekció utáni vitában több egyetértő hozzászólás is érkezett ehhez az előadáshoz. Az egyik résztvevő külön kiemelte, hogy a berendezések a mérőhálóra is nagy hatással lehetnek. Ahhoz, hogy modellezni tudjuk az épületbe jutó természetes fényt, ismerni kell a közvetlen és diffúz világítás közötti kapcsolatot – mondta Darula Stanislav. Ezt vizsgálták az „ISO/CIE sky standards”-nek megfelelő mesterséges égbolt segítségével. Hartman Peter a természetes fényrel megvilágított beltéri színes felületek emberre gyakorolt hatásának kísérleti eredményeiről számolt be. Ezek a színes felületek spektrális szűrőként viselkednek, amelyek a fény spektrumából a látható tartományon kívüli (pl. ultraibolya) spektrumokat kiszűrjük, így képesek befolyásolni a nemvizuális érzéseinket, és a cirkadián ritmusunkat. Pracki Piotr a fénysűrűség-eloszlás és modellezés témaköréből kiemelte, hogy a szabványnak való megfelelés még kevés a komfortos világításhoz, ezért a világításnak a szabványoknál szigorúbb ajánlásoknak is meg kellene felelnie. Az égbolt skenneradatainak bizonytalanságáról Kómar Ladislav tartott előadást. Elmondása szerint a vertikális skennerek hibája nagyon nagy, de ez jelentősen csökkenthető a normalizált funkció bevezetésével, amely szerint több mintát kell venni azokról a területekről, ahonnan sok fény jön. Krbal Michal bemutattott egy olyan egységes adatbázis rendszert, amely alkalmas lenne az összes létező fényforrás és lámpatest paramétereinek egységes leírására és ennek tárolására, lehetővé téve köztük a keresést és lekérdezést.

RENDSZERFEJLESZTÉS ÉS MÉRÉSTECHNIKÁK

A rendszerfejlesztés és mérés technikák szekcióban Kolláth Zoltán bemutatta a fényszennyezés földfelszíni, DSLR kamerás, saját fejlesztésű módszerrel történő feltérképezésének lehetőségeit. Kiemelte, hogy a képekben gazdag fények (pl. LED) fényszennyezése jelentősebb, ezért minél kisebb színhőmérsékletű fényforrásokat kellene alkalmazni a közvilágításban. Matusiak Barbara a trondheimi természetes fény laboratórium borús égbolt szimulátorának továbbfejlesztését és ennek eredményeit mutatta be. Az új LED-es berendezés képes előállítani az R, G, B színeket és a fehér fény 2000-18000 K közötti színhőmérsékleteit, különböző megvilágítások mellett. Maierova Lenka azt elemezte, hogy a különböző embertípusoknak

más a cirkadiánritmusuk, így más az optimális megvilágítási szint számukra egy nap folyamán. Sikora Roman előadásában bemutatta, hogy nagy energiamegtakarítás érhető el a LED-es, szabályozással ellátott közvilágítási rendszerek modellezésével. Slominski Sebastian rámutatott, hogy a modern LED-es közvilágítási

lámpatestek káprázaskorlátozása egyre jelentősebb probléma. A szerző egy új és pontos mérési módszert mutatott be a káprázás mérésére. A szekció utáni vitában ezt az előadást Schanda János kiegészítette annyival, hogy a mérőműszer felbontóképességét és látószögét ismerni kell, hogy pontosan tudjuk, mit mérünk. Zagan Wojciech elmondta, hogy 2007-től Lengyelországban kötelezővé tették nappal is a járművek tompított fényének bekapcsolását. Ennek hatását vizsgálták több kísérlettel. Arra jutottak, hogy ez az intézkedés az autók láthatóságát növelte, viszont ha ezt nem tartja be mindenki, akkor nő a balesetveszély az eltérő láthatóságú járművek miatt. Wolska Agnieszka felvetette azt a problémát, hogy a GR kültéri káprázási index kevésbé praktikus gyakorlati szempontból. Az UGR mérési tapasztalatokra alapozott, további paraméterekkel kiegészített új módszerre van szükség a kültéri káprázás meghatározásához. Ezzel a kijelentéssel a szekció utáni vitában többen egyetértettek, és javasolták ennek kidolgozását és szabványba sorolását.

Az utolsó előadást követően a négy nemzet Világítástechnikai Társaságának elnöke közösen írta alá a fény és világítás nemzetközi napjának bevezetését elindító levelet.

Az előadásokat mindkét nap turisztikai és kulturális programok kísérték. A visegrádi várban megrendezett lovagi tornán aktívan részt vettek a megjelentek, majd a sétahajózás alkalmával felfedezték a Dunakanyar szépségeit. Az első napot a reneszánsz hangulatú, királyi gálavacsora zárta, a konferenciát pedig a grillvacsorát követő „Lumen V4” feliratú torta ünnepélyes felvágása és elfogyasztása.

A konferencia sikerességét jelezte a 157 fős létszám is. Örömmel láthatunk, hogy szép számban voltak jelen hazánk képviselői is, mind az előadók, mind a hallgatóság soraiban. Magyarország világítástechnikával foglalkozó jelentős egyetemi intézetei, köz- és díszvilágításhoz kötődő üzemeltetői, szolgáltatói szervezetek és lámpatest-, fényforrásgyártó cégek képviselői egyaránt megjelentek, részt vettek a konferencia menetében, és mind előadóként, mind felszólalóként illetőleg szekcióelnökként értően szóltak hozzá a konferencia témáihoz.

A konferencia záróbeszédében Nagy János kiemelte, hogy a Lumen V4 konferencia sorozat második köre ezennel elindult, a korábbinál magasabb színvonalon, amelyet a tartalmas előadások és poszterek, továbbá a nemzetközi és hazai szervezés biztosított. Köszönetet mondott mindenkinek, aki hozzájárult a konferencia sikeréhez. Zárásképpen a Lumen V4 vándorszobrot átadta Pracki Piotr-nak, a lengyel Világítástechnikai Társaság elnökének, ugyanis két év múlva ők lesznek a következő konferencia házigazdái.



2. ábra A fény és világítás nemzetközi napjának bevezetését elindító levél aláírása.



Takács Kristóf

okleveles villamosmérnök

MEE-VTT tag

takacs.kristof.89@gmail.com