

SVĚTLO-KONVERTUJÍCÍ KOMPOZITNÍ FOSFOR S VYSOKÝM CRI

Vojtěch Miller¹ <vojtech.miller@tul.cz>, Jan Kubát²

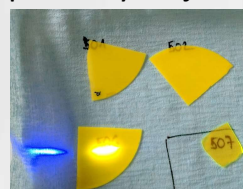
¹Technická Univerzita v Liberci, Fakulta Mechatroniky, Aplikované vědy v inženýrství; ²Crytur spol. s r.o., Turnov

ABSTRAKT

Cílem této práce je vyvinout bílý LED zdroj světla s vysokým indexem podání barev CRI. V projektu bylo využito kompozitního fosforu složeného z monokrystalického YAG:Ce³⁺, nitridového červeného fosforu CaAlSiN₃:Eu²⁺ a modré LED s maximem emise na 450 nm. Součástí projektu je příprava vrstev s práškovým nitridovým fosforem, výběr monokrystalu se správnými vlastnostmi a optimalizace obou komponent na základě průběžně získaných dat.

ÚVOD

V posledních letech je vidět na trhu s osvětlením obrovský nárůst sortimentu LED a jejich neustálý vývoj. Tato práce se zabývá vývojem kompozitního světlo-konvertujícího fosforu, který umožní výrobu bílých LED chipů (WLED) s vysokou věrností podání barev (CRI > 80). Kombinace monokrystalického fosforu s práškovým je zajímavou alternativou k



YAG:Ce s nitridovou vrstvou excitovaný 450 nm laserem

čistě práškovým nebo keramickým řešením, které se v posledních letech začínají objevovat na trhu.

VÝSLEDKY CRI

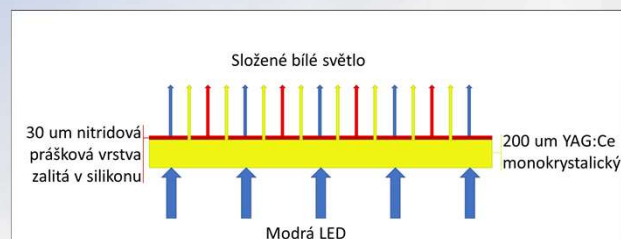
Hodnoty CRI kompozitních waferů jsou lepší než u LED složených pouze z YAG:Ce. Tento fakt je dán primárně tím, že je doplněna chybějící červená složka spektra. V grafech níže je porovnán index CQS Rf (index, průměrovaný z 99 různých barev oproti indexu CRI Ra průměrovaným pouze z 8 barev), který ukazuje rozdíl mezi LED osvětlením, skládajícího se pouze z YAG:Ce, a kompozitního fosforu, kde je přítomen i červený fosfor. Ideální osvětlení (černé těleso) by mělo všechny barvy na hodnotě 100.

| Vzorek | u' | v' | CCT | CRI Ra | CRI R9 |
|--------|--------|--------|------|--------|--------|
| 402 | 0,2526 | 0,4437 | 4055 | 87,5 | 80,4 |
| 403 | 0,2524 | 0,4559 | 3736 | 87,7 | 64,4 |
| 404 | 0,2551 | 0,4683 | 3382 | 86,4 | 48,1 |
| 405 | 0,2556 | 0,4391 | 4003 | 86,2 | 83,8 |
| 406 | 0,2521 | 0,4381 | 4296 | 87,0 | 83,7 |
| 407 | 0,2542 | 0,4626 | 3574 | 86,5 | 55,1 |
| 408 | 0,2529 | 0,4550 | 3730 | 87,6 | 65,1 |
| 409 | 0,2538 | 0,4616 | 3554 | 87,1 | 56,4 |
| 410 | 0,2548 | 0,4555 | 3651 | 87,2 | 63,5 |
| 411 | 0,2531 | 0,4677 | 3476 | 86,6 | 48,1 |
| 412 | 0,2547 | 0,4555 | 3629 | 87,1 | 63,0 |
| 502 | 0,2230 | 0,4322 | 7349 | 84,6 | 83,7 |
| 503 | 0,2227 | 0,4261 | 8133 | 83,5 | 85,3 |
| 504 | 0,2232 | 0,4324 | 7287 | 84,7 | 84,8 |
| 510 | 0,2222 | 0,4446 | 6275 | 85,5 | 67,6 |
| 511 | 0,2219 | 0,4367 | 6969 | 85,2 | 80,4 |

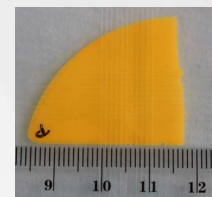
Příklad typických hodnot z 4. a 5. sady vzorků

METODIKA

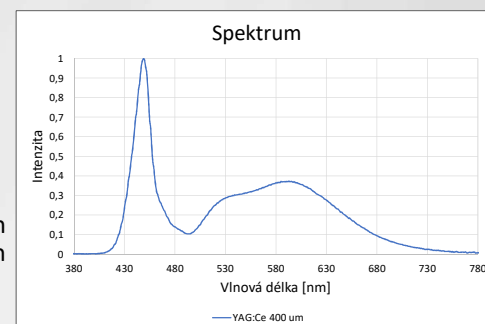
Aby bylo vyzařované světlo klasifikováno jako bílé, je nutné, aby jeho souřadnice v barevném prostoru CIE (Commission internationale de l'éclairage) byly dostatečně blízko Planckově křivce černého tělesa. Bílé světlo se v běžné praxi dělí na studenou nebo teplou bílou barvu.



Uspořádání kompozitního světlo-konvertujícího fosforu



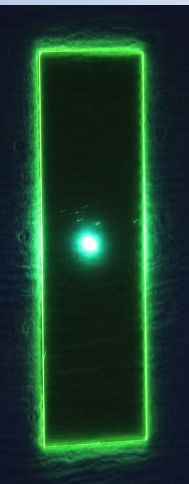
100 ks 1x1 mm vzorků připravených pro aplikaci



Typické emisní spektrum YAG:Ce buzeného 450 nm světlem

Cílem této práce je dosáhnout bílé barvy o teplotě 5000 K. Měření proběhlo na set-upu skládajícím se z integrační koule ISP80, CCD spektrometru AvaSpec-2048L a LED diody Cree s maximem emise na 450 nm. Vyhodnocovanými parametry byly barevné souřadnice, CRI Ra (celkový index podání barev) a CRI R9 (červená složka indexu podání barev).

VÝSLEDKY CIE

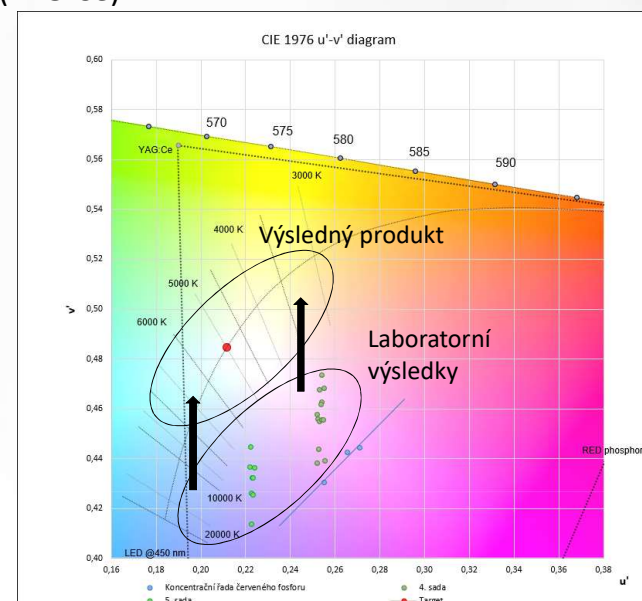


Dosud bylo provedeno celkem 5 testovacích sad, které byly vyhodnoceny vzhledem ke stanovenému cíli 5000 K. Celkem bylo porovnáno 200ks vzorků s proměnnými parametry tloušťky, absorpčního koeficientu, úpravy povrchu, koncentrace nitridové vrstvy zalité v silikonu. Vynesená modrá křivka znázorňuje kalibraci nitridové vrstvy. Dále je v grafu vidět čtvrtá a pátá sada (zelené body). U těchto sad byla použita konstantní koncentrace vrstev červeného nitridu, ale měnila se tloušťka monokrystalu (YAG:Ce).

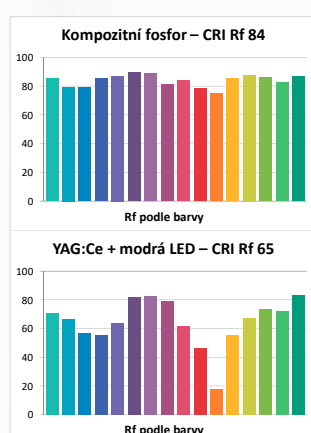
Na změně tloušťky je závislá souřadnice v'. Z naměřených dat je vidět postupný posun blíže k požadovanému cíli.

Fotografie šíření světla v monokrystalickém luminoforu

V samotné aplikaci se předpokládá systematický posun směrem nahoru v souřadnici v'. Tento posun je způsoben tím, že při proměřování na integrační kouli dochází k vyvazování žlutého/zeleného světla do stran waferu. Toto světlo je odvedeno od vstupu do integrační koule a ve výsledném spektru chybí, kdežto v aplikaci je toto světlo vyváženo všechno a žádné neuniká.



Graf CIE 1976 včetně Planckovy křivky, 4. a 5. sady vzorků a orientační barevné škály



Porovnání barevného podání

ZÁVĚR

Výsledné vzorky kompozitních světlo-konvertujících fosforů dosahují hodnot CRI Ra v rozmezí od 82–88, což splňuje zadání projektu. K dalšímu zlepšení je možné využít monokrystalický substrát LuAG:Ce³⁺ s maximem emise na 510 nm.