

Antoni RÓŻOWICZ<sup>1</sup>

**WPLYW DŁUGOŚCI FALI PROMIENIOWANIA WZBUDZAJĄCEGO  
NA ROZKŁAD WIDMOWY PROMIENIOWANIA WIDZIALNEGO  
EMITOWANEGO PRZEZ LUMINOFOR**

*Obecnie najczęściej stosowanymi źródłami światła są lampy fluorescencyjne. Parametry techniczne tych lamp zależne są od cech charakterystycznych związanych z luminoforem a mianowicie: rodzaju, składu granulacji, sposobu nałożenia i temperatury barwowej, oraz od układów zasilania lampy. Większość badań prowadzonych w tej dziedzinie objęte jest ścisłą tajemnicą technologiczną, a udostępniane dane mają charakter marketingowy i wybiórczy. W artykule przedstawiono analizę rozkładów widm luminoforów w funkcji wzbudzenia.*

**INFLUENCE OF INDUCE RADIATION WAVE LENGTH ON SPECTRUM  
DISTRIBUTION OF VISIBLE RADIATION EMITTED BY LUMINOPHOR**

*Fluorescent lamps are most often used as sources of light at present time. Technical parameters of these lamps depends on characteristics bounded up with luminophor: kind of luminophor, composition of granulation, solution of luminophor apply, colour temperature and power supply systems. Most scientific researches are technical secret. Partly showed data are only marketing informations. In this paper analysis of distributions of visible radiation emitted by luminophor in function of induce radiation are showed.*

**1. WSTĘP**

W niskociśnieniowych lampach wyładowczych (fluorescencyjnych) źródłem światła widzialnego są luminofory wzbudzone przez promieniowanie emitowane przez pary rtęci. Promieniowanie emitowane w wyniku wzbudzenia atomów rtęci składa się z około: 11,5% promieniowania o długości fali 184,9 nm, 85% o długości 253,7 nm i 3,5 % pozostałych długości: 313, 365, 405, 435, 546 nm [2, 3]. Rozkład widmowy promieniowania lampy jest ściśle uzależniony od rodzaju użytego luminoforu. Dlatego w produkcji lamp stosuje się takie proszki fluorescencyjne, które absorbują promieniowanie ultrafioletowe o długości fali odpowiadającej długościom linii rezonansowych rtęci, a równocześnie ich pasmo

---

<sup>1</sup> dr hab. inż. Antoni Różowicz prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Świetlnej, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

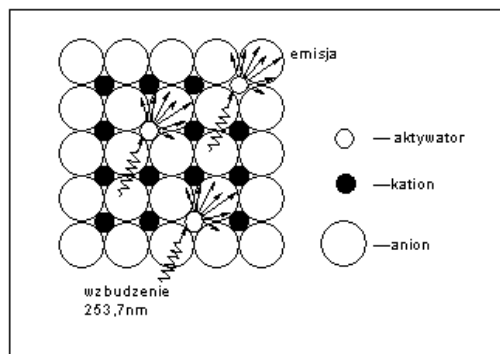
emisyjne jest w zakresie światła widzialnego. W niniejszym artykule przedstawiono analizę wpływu zmian długościach fali promieniowania wzbudzenia na rozkład widmowy promieniowania emitowanego przez luminofory stosowanych w niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyładowczych.

## 2. RODZAJE I WŁAŚCIWOŚCI LUMINOFORÓW

W lampach fluorescencyjnych w zależności od ich przeznaczenia stosuje się luminofory różnego typu. Wyróżnia się dwa podstawowe typy luminoforów [5, 7]:

- standardowe – zwykle są to halofosforany wapnia aktywowane antymonem i manganem,
- wąskopasmowe – przeważnie są to gliniany lub borany aktywowane lantanowcami (europem lub terbem).

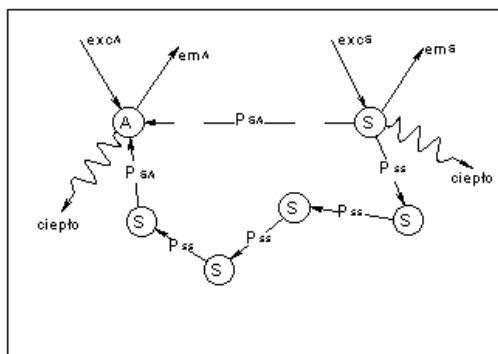
Luminofory to związki polikrystaliczne, w których sieć główna jest utworzona przez aniony i kationy ( $Ba^{3+}$ ,  $B^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Y^{3+}$  oraz jony lantanowców). W materiałach tego typu część kationów zostaje zastąpiona przez aktywator (A), czyli jon iluminujący (rys. 1). Jako aktywatory stosuje się między innymi jony:  $Eu^{2+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ , mają one za zadanie przetwarzać promieniowanie wzbudzające na promieniowanie widzialne. Zastosowanie domieszkowania w postaci jonów aktywatora często nie wystarcza do zapewnienia żądanych parametrów widm absorbcyjnych i emisyjnych, dlatego stosuje się dodatkowy czynnik uczulający (sensitizer S). Rolę tę mogą pełnić, między innymi jony gadolinu ( $Gd^{+}$ ) lub ceru ( $Ce^{+}$ ) [4]. Zastosowanie czynnika uczulającego, który pochłania przypadkowe promieniowanie UV i przekazuje je do aktywatora, pozwala na zwiększenie wydajności emisji.



Rys. 1. Schemat sieci krystalicznej luminoforu z aktywatorem [5]

W lampach fluorescencyjnych wyróżnia się dwa rodzaje transferu energii; cała energia jest transferowana pomiędzy poziomami emisyjnymi o takiej samej energii (rys. 2) lub transferowana jest tylko część energii. Jeśli jon aktywatora znajduje się w stanie wzbudzonym to jego ponowne przejście do stanu podstawowego może nastąpić na skutek następujących procesów: przejść radiacyjnych na poziom podstawowy, deekscytacji niepromienistej lub transferu energii do najbliższego (lub dalszego) jonu. Ten ostatni

proces ma szczególne znaczenie w przypadku aktywatorów niewystarczająco wzbudzonych przez promieniowanie par rtęci [1].



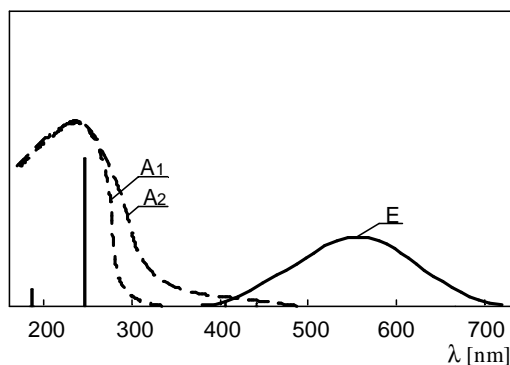
Rys. 2. Schemat transferu energii w luminoforze pomiędzy A-S i S-S; emA – emisja od aktywatora, emS – emisja od sensitizera, excS – wzbudzenie, PSA, PSS – transfer energii [5]

O właściwościach optycznych poszczególnych luminoforów decyduje ich złożona struktura chemiczna. Należy jednak pamiętać o możliwości wystąpienia interakcji pomiędzy poszczególnymi składnikami mieszaniny. W zależności od występujących efektów interakcji (antagonistycznych lub synergistycznych) możliwe jest uzyskanie zupełnie innych własności niż wynika to z własności każdego ze składników oddzielnie.

### 3. KONWERSJA PROMIENIOWANIA WZBUDZAJĄCEGO NA PROMIENIOWANIE WIDZIALNE

Luminofory stosowane w niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyładowczych powodują konwersję promieniowania UV na widzialne. Użyte w lampach fluorescencyjnych powinny oczywiście być zdolne absorbować promieniowanie 184,9, 253,7, 313 nm – w przypadku lamp klasy 1b (krzywa A1) i 184,9, 253,7, 313, 365, 405, 435 – w przypadku lamp klasy 1a (krzywa A2), pochodzące z niskociśnieniowego wyładowania rtęci (rys. 3). Pasmo emisyjne luminoforu z kolei powinno być możliwie szerokie i leżeć głównie w widzialnej części widma elektromagnetycznego.

Z jednej strony rozkład widma emisji luminoforu jest niezależny od długości fal wzbudzenia, z drugiej – skuteczność konwersji UV na światło już od długości fal wzbudzenia zależy. Taka konwersja z krótkofalowego promieniowania na długofalowe (z wysokoenergetycznego na niskoenergetyczne) prowadzi do strat energii promieniowania.



Rys. 3. Pasma absorpcji (A1 – luminoforu lamp klasy 1b, A2 – luminoforu lamp klasy 1a) i pasmo emisyjne (E – luminoforu lamp klasy 1b i 1a)

I tak jeśli założymy, że promieniowanie linii rezonansowych niskociśnieniowego wyładowania rtęci jest całkowicie absorbowane, to wartość energii zaabsorbowanej  $E_R$  można wyrazić wzorem:

$$E_R = h \cdot \nu_R = \frac{h \cdot c}{\lambda_R} \quad (1)$$

Natomiast energię  $E_L$  światła wyemitowanego:

$$E_L = h \cdot \nu_L = \frac{h \cdot c}{\lambda_L} \quad (2)$$

gdzie:  $h$  – stała Plancka,  $\nu$  – częstotliwość,  $c$  – prędkość światła,  $R$  - indeks oznaczający promieniowanie UV,  $L$  – indeks oznaczający promieniowanie widzialne.

Stosunek energii absorpcji i emisji promieniowania możemy przedstawić jako:

$$\frac{E_R}{E_L} = \frac{\lambda_L}{\lambda_R} \quad (3)$$

Światło na długości fali  $\lambda_L = 555$  nm ma energię:

$$E_L = \frac{\lambda_R}{\lambda_L} \cdot E_R = 0,457 \cdot E_R \quad (4)$$

gdzie  $\lambda_R = 253,7$  nm, najważniejsza z dwóch linii rezonansowych rtęci.

W przypadku większych długości fali promieniowania wzbudzającego zgodnie z zależnością (4) będzie większa wartość skuteczności konwersji.

I tak gdy długość fali promieniowania wzbudzającego  $\lambda_R = 460$  nm,

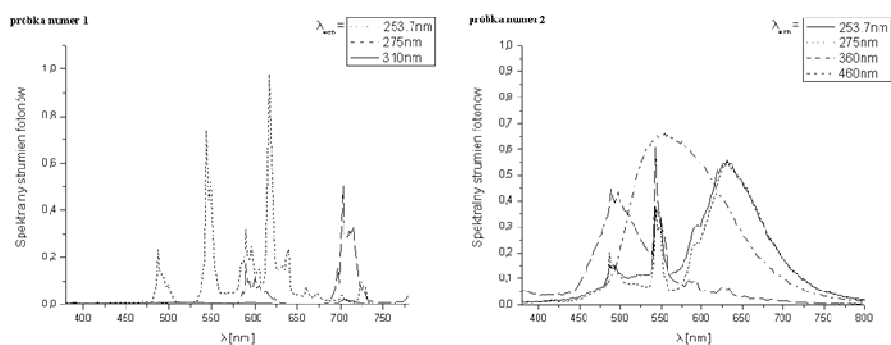
$$E_L = \frac{\lambda_R}{\lambda_L} \cdot E_R = 0,83 \cdot E_R \quad (5)$$

Należy zauważyć, że jest to promieniowanie w zakresie pasma widzialnego a więc praktycznie nie jest absorbowane przez luminofory klasy 1b, wystąpi zatem zwiększona zawartość promieniowania niebieskiego w promieniowaniu widzialnym (zgodnie z danymi przedstawionymi na rys.2). Ponadto podczas transmisji tego promieniowania przez warstwę luminoforu o określonej grubości wystąpią dodatkowe straty. Natomiast luminofory klasy 1a tylko częściowo absorbują promieniowanie o tej długości, dlatego w widmach promieniowania luminoforów tej klasy zauważy się zwiększoną zawartość promieniowania niebieskiego oraz pozostałych charakterystycznych.

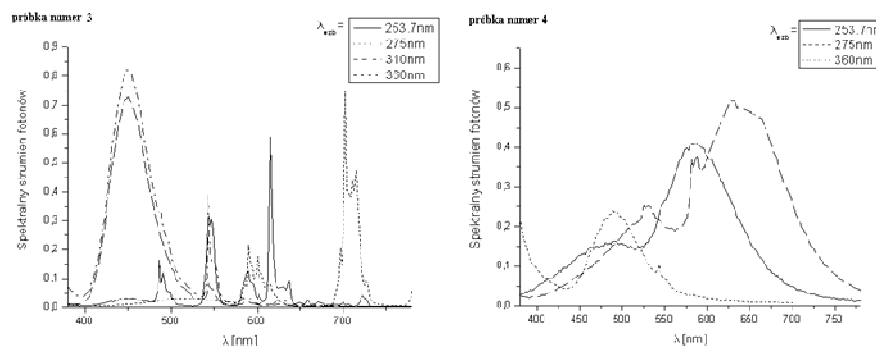
W warunkach rzeczywistych luminofor nie absorbuje całkowicie promieniowania wzbudającego wynika to z fizycznych właściwości proszku [6, 8], gdyż złożona struktura chemiczna związków stosowanych w mieszaninach luminoforów nie pozwala na jednoznaczne określenie mechanizmu przejść energetycznych oraz rodzaju efektów, antagonistycznych bądź synergistycznych, zachodzących pomiędzy poszczególnymi składnikami badanego proszku.

#### 4. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Pomiary wykonano przy następujących długościach fali promieniowania wzbudzenia:  $\lambda_{wzb} = 253,7; 275; 310; 360; 460$  nm. Przeprowadzono badania dla czterech różnych mieszanin luminoforów stosowanych w niskociśnieniowych rtęciowych lampach wyładowczych klasy 1a i 1b o temperaturze barwowej 2700 K (próbki numer 1, 2) oraz 4000 K (próbki 3 i 4). Badaniami objęte zostały luminofory używane do produkcji lamp o wskaźniku oddawania barw  $R_a \geq 80$ , klasa 1b i  $R_a \geq 90$  klasa 1a. Otrzymane wyniki przedstawione zostały na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Rozkłady widmowe promieniowania luminoforów klasy 1a i 1b stosowanych w niskociśnieniowych lampach wyładowczych o temperaturze barwowej 2700 K w funkcji długości fali promieniowania wzbudającego



Rys. 5. Rozkłady widmowe promieniowania luminoforów klasy 1a i 1b stosowanych w niskociśnieniowych lampach wyladowczych o temperaturze barwowej 4000K w funkcji długości fali promieniowania wzbudzającego

Z otrzymanych wyników pomiarów rys. 4, 5 wynika, że długość fali promieniowania wzbudzającego istotnie wpływa na kształt rozkładów widmowych luminoforów.

Wraz ze zmianą długości fali promieniowania wzbudzającego zmieniają się długości fal odpowiadające kolejnym maksimum w widmie emisyjnym.

W przypadku luminoforów klasy 1b i 1a o temperaturze barwowej 2700 K (rys. 4) wzrost długości fali promieniowania wzbudzającego powoduje przesunięcie widma emisyjnego w kierunku niższych długości fali.

Natomiast dla luminoforów klasy 1b i 1a o temperaturze barwowej 4000 K (rys. 5) jeśli długość fali wzbudzania jest mniejsza od 300 nm występuje wzrost długości fali widma emisji w kierunku podczerwieni. w przypadku gdy długości fali promieniowania wzbudzającego jest większa niż 300 nm obserwuje się przesunięcie w kierunku mniejszych długości fali.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają zależność kształtu rozkładu widmowego badanego luminoforu od długości fali promieniowania wzbudzającego. Zawartość procentowa każdego ze składników luminoforu ma istotny wpływ na kształt widma emisyjnego luminoforu tej samej klasy np. 1a (rys.2, 3).

Złożona struktura chemiczna związków stosowanych w mieszaninach luminoforów nie pozwala na jednoznaczne określenie mechanizmu przejść energetycznych oraz rodzaju efektów, antagonistycznych bądź synergistycznych, zachodzących pomiędzy poszczególnymi składnikami badanego proszku.

## 6. LITERATURA

- [1] Godlewski J.: *Generacja i detekcja promieniowania optycznego*. PWN, Warszawa 1997
- [2] Kim J.: *Luminescence analysis of fluorescent lamps*. IceCapINc. 9/20/2002
- [3] Mayer Ch.: *Discharge lamps*, Deventer, Antwerpen 1988

- [4] Peimin G., Fei Z., Guobao L., Funhui L., Shujian T., Xiping J.: *Novel phosphors of  $Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  or  $Bi^{3+}$  activated  $Gd_2GeO_5$* , Journal of Luminescence, vol. 105, pp. 61-67, 2003
- [5] Różowicz A.: *Quantities influencing the light ripple depth of fluorescent lamps supplied with A/C voltage of various frequencies*, Archives of Electrical Engineering, VOL. LIV, No.212. pp.193-204, 2005,
- [6] Różowicz A.: *On the thickness of phosphor coating in fluorescent lamps and its impact on selected lighting parameters*, Electrical Power Quality and Utilization Journal, vol. XI, no. 1, pp. 43-47, 2005
- [7] Różowicz A.: *Materiały fluorescencyjne stosowane w niskoprężnych lampach wyładowczych i ich wpływ na tętnienie światła*, Przegląd elektrotechniczny, nr 5/2004, s. 451-455.
- [8] Różowicz A.: *On the thickness of phosphor coating in fluorescent lamps and its impact on selected light parameters*, Electrical Power Quality and Utilization Journal, Vol.XI., No 1. pp. 45-48, 2005