

Выбор люминофоров белого свечения для автоэмиссионных источников света*Д.И.Озол*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

В связи с разработкой катодолуминесцентных источников света с холодным катодом – автокатодных ламп общего назначения - представляет интерес выбор катодолуминофора белого свечения с максимальной светоотдачей (люмен/Вт). Известны белые катодолуминофоры, использовавшиеся в чёрно-белых кинескопах, но оптимальные люминофоры для эффективных автокатодных источников света должны удовлетворять несколько отличным требованиям – в частности, обеспечивать качественную цветопередачу.

Наиболее широко применявшиеся белые катодолуминофоры [1-4]:

1. $\text{ZnS:Ag} + (\text{Zn,Cd})\text{S:Cu,Al}$ (обозначение - P40)
2. $\text{ZnS:Ag} + (\text{Zn,Cd})\text{S:Ag}$ (P4, в отечественной номенклатуре известен как БМ)
3. $\text{ZnS:Ag} + \text{ZnS:Cu,Al} + \text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Eu}^{3+}$ (смесь синей, зелёной и красной компонент приблизительно в следующей пропорции: 62% зелёной, 30% красной, и 8% синей)
4. $(\text{Zn,Cd})\text{S:Ag,Au,Al}$
5. $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$ (P45, КЛБ-1, К-84) и близкий к нему $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Tb,Dy}$ (КЛБ-2)

Первые два состава имеют наилучший КПД, их спектр (следовательно, и светоотдача) варьируется в зависимости от соотношения компонент. Смесевой состав №3 имеет меньший КПД, чем первые два; его преимущество – не содержит кадмия. Составы №4 и №5 – однокомпонентные, их эффективность ниже, чем у смесевых, они имеют преимущества для изображающих приборов (кинескопов и др), т.к позволяют обеспечить более высокое разрешение. Не исключено, что №4 менее подвержен концентрационному тушению. Отметим, что смесевые белые люминофоры позволяют добиться более высокой энергоэффективности за счёт снижения стоксовых потерь путём подбора ширины запрещённой зоны для каждого цвета свечения в отдельности.

Телевизионные белые катодолуминофоры имеют координаты цветности, близкие к $x=1/3, y=1/3$ (цветовая температура 5000-9000 К) – такие характеристики цвета считались наилучшими для чёрно-белого телевидения. Однако для лампового люминофора данные параметры не являются оптимальными. В силу фундаментальных ограничений энергоэффективность известных катодолуминофоров не превышает 25%, причём она может мало отличаться от 20% для люминофоров с различными спектрами свечения. Это приводит

нас к выводу, что для достижения максимальной светоотдачи целесообразно рассматривать люминофоры, спектр излучения которых имеет максимально достижимый люмен-эквивалент – при этом оставаясь белым. Оптимальными будут люминофоры, имеющие координаты цветности $x=0,45-0,5$ $y=0,38-0,45$ (цветовая температура 2500-2800 К) – т.е. в той части области белого, где предельно возможный люмен-эквивалент максимален [5]. Подчеркнём, что данный белый свет не является чернотельным и даже не обязательно является планковским.

Отметим также, что белый свет цветовой температуры 2500-2800 К не только является привычным для потребителя (соответствует лампам накаливания), но и наиболее оптимален при освещённостях, соответствующих бытовым и офисным применениям (200-400 люкс), согласно кривым комфорта Крюсова (Kruithof) [6,7].

В отличие от кинескопов (за исключением проекционных трубок) люминофор в автоэмиссионной лампе работает при большей плотности тока – которая, в частности, приводит к более высокой установившейся температуре люминофора. Насыщение люминесценции оптимального люминофора должно начинаться при больших плотностях тока, и температурное тушение не должно ощутимо проявляться при температурах до 70-100 °С.

Высокая температура люминофора может приводить и к изменению спектра свечения. Так, люминофор КЛБ-2 при нагреве меняет цвет свечения с бело-голубого ($x=0,27$ $y=0,41$) на зеленоватый ($x=0,264$ $y=0,48$). Вероятно, это обусловлено внешним температурным тушением, причём относительно «мелкие» центры свечения с малой длиной волны (синие) испытывают более сильное тушение по сравнению с более длинноволновыми (энергетические уровни которых расположены «глубже» в запрещённой зоне), и синие пики в спектре становятся менее интенсивными по сравнению с зелёными и красными.

Литература

1. Гугель Б.М. Люминофоры для электровакуумной промышленности. - М., 1967.
2. Luminescence. From Theory to Applications / ed. by Cees Ronda. - WILEY, 2008.
3. Practical Applications of Phosphors / ed. by W.Yen,S.Shionoya,H.Yamamoto. - CRC Press, 2006.
4. Ozawa Lyuji Cathodoluminescence and Photoluminescence: theories and practical applications. - CRC Press, 2010.
5. MacAdam D.L. Maximum Attainable Luminous Efficiency of Various Chromaticities. - J. Opt. Soc. Am. -1950. - 40, 120
6. Kruithof, A.A. Tubular Luminescence Lamps for General Illumination. - Philips Technical Review. – 1941. – 6. - p.65-96.
7. Boyce, P. Lighting for offices. Human factors in lighting (2 ed.). - London: Taylor & Francis, 2003