

УДК 628.9

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF
SEMICONDUCTOR RADIATION SOURCES**

Ю. Чжан, П.О. Баранов

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
savkova@bntu.by

Y. Zhang, P. Baranau

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрены основные фотобиологические показатели перспективных источников оптического излучения, приведен обзор их положительных и негативных влияний на психофизиологические функции человека.*

***Abstract:** the main photobiological indicators of promising sources of optical radiation are considered and a review of their positive and negative effects on human psychophysiological functions is given in this article.*

***Ключевые слова:** оптическое излучение, светодиод, лазер, биологический эффект, параметры опасности, мелатонин.*

***Keywords:** optical radiation, LED, biological effect, lazer, hazard parameters, melatonin.*

Введение

В последние десятилетия наблюдается интенсивное и повсеместное использование энергоэффективных полупроводниковых источников оптического излучения, воздействия которых на зрительные и психофизиологические восприятия человеческим организмом до конца не изучены. Целый ряд международных и региональных организаций, таких как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Европейская Научная Комиссия по здравоохранению, окружающей среде и возникающим рискам (SCHEER), Международная Комиссия по освещению (CIE), Международная электротехническая комиссия (IEC) и др. проводят исследования в этой области и публикуют отчеты. Кроме того, в периодических изданиях активно ведется полемика о положительных и отрицательных влияниях полупроводниковых источников излучения.

Основная часть

Согласно публикации [1] в общем случае полупроводниковые источники излучения можно разделить на неорганические и органические. Неорганические, одними из первых появившиеся в 1960- годах, были основаны на кристаллах арсенида галлия (GaAs) и излучали инфракрасное излучение, но не видимое, поэтому их применимость была ограничена. Введение фосфора (P)

в GaAs привело к появлению светодиода с красным светом. Основными материалами для создания неорганических светодиодов в настоящее время являются AlGaAs (красный и инфракрасный), AlGaP (зеленый), AlGaInP (светло-оранжевый, красный, оранжевый, желтый), AlGaN (близкий к ультрафиолетовому), C (ультрафиолетовый), GaAsP (красный, оранжево-красный, оранжевый, желтый), GaP (красный, желтый, зеленый), GaN (Green, изумрудно-зеленый), InGaN (зелено-голубой, синий, близкий у ультрафиолетовому диапазону), сапфир (Al₂O₃) как субстрат (голубой), SiC (голубой). Органические светодиоды (OLEDs) являются перспективными источниками излучения, являются органическими соединениями, содержащими последовательности атомов углерода и водород, причем иногда азот, кислород, сера или другие атомы, прикрепленные к этой последовательности. Органические полупроводники считаются экологически чистыми технологиями и являются биоразлагаемыми [2].

Неорганических светодиодов, излучающих белый свет, то есть излучение такого широкополосного спектра, не существует. Существует два метода для изготовления «белых светодиодов». Три дополнительных цвета (также называемые основными), которые используются для создания других видимых цветов путем их смешивания в соответствующих пропорциях, - это красный, зеленый и синий (RGB). Таким образом, можно создать белый свет с помощью трех светодиодов, излучающих в три основных аддитивных длины волны (цвета). Тем не менее, есть способ создать восприятие белого глазом, используя только два цвета, известный как дополнительная пара [3]. Два типа электролюминесцентных материалов используются для создания белых OLED, а именно флуоресцентных и фосфоресцентных материалов.

В излучении белых светодиодов наблюдается всплеск функции спектрального распределения в голубой области, не заметный человеческому глазу, как показано на рисунке 1 [4] (по оси абсцисс отложены длины волн, нм, по оси ординат – значения относительной спектральной эффективности, отн. единицы).

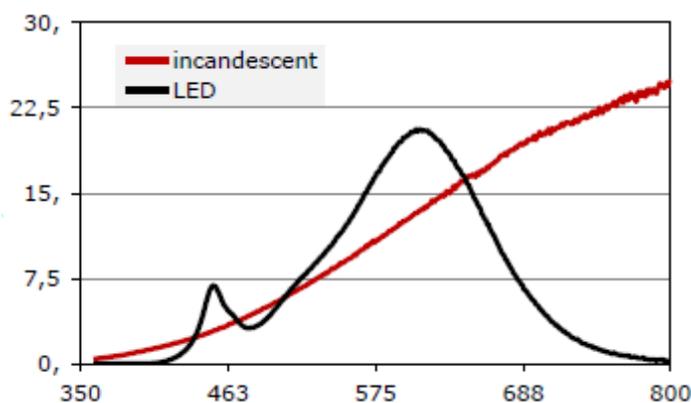


Рисунок 1 - Спектры излучения для лампы накаливания мощностью 60 Вт (красный цвет) и эквивалентной светодиодной лампы (черный цвет)

Это обстоятельство создает риски, связанные с влиянием на задний сегмент глаза синего света, что соответствует потенциальной опасности сетчатки, но только на уровнях, значительно превышающих пределы воздействия, рекомендованных ICNIRP [1]. Потенциальные эффекты воздействия синей составляющей на нездоровые глаза усугубляются у городского населения умеренных географических широт, проводящего много времени при искусственном освещении. Уязвимые и восприимчивые популяции – дети, подростки, пожилые люди. Оптические свойства кожи являются сложными и являются результатом отражения, поглощения и рассеяния различных длин волн падающего оптического излучения. Положительным эффектом является стимулирование выработки витамина D.

Ультрафиолетовое излучение (180 нм - 400 нм) ультрафиолетовых светодиодов оказывает фотохимическое преобладающее действие, вызывая воспаление конъюнктивы или, при более глубоком проникновении, катаракту. Видимое (400 нм - 780 нм) и инфракрасное (780 нм - 1 мм) излучение оказывают тепловое преобладающее действие; повреждение происходит от повышения температуры, индуцированной в ткани, что может привести, при достаточно длительном воздействии, к денатурации белка. Поэтому его сущность определяется мощностью падающего излучения, его длительностью и способностью ткани рассеивать тепло проводимостью. Повреждение глаз особенно усиливается при использовании излучения с длинами волн от 400 до 1400 нм (видимое-VIS и ближнее инфракрасное-NIR), поскольку глаз фокусирует VIS и NIR излучение на сетчатке, увеличивая мощность или энергию плотность в сто тысяч раз по отношению к падающему на роговицу излучению. В средней и дальней инфракрасной области (1400 нм - 1 мм) тепловой эффект ограничивается внешней поверхностью, не затрагивая сетчатку [3].

Влияние света на циркадную систему зависит от 1) временных, 2) интенсивность, 3) продолжительность, 4) спектр светового стимула и 5) предыдущего освещения [1]. В настоящее время доступные исследования показывают, что искусственный свет может влиять на циркадную систему, в зависимости от световых характеристик. Источники света, которые излучают более короткие волны, как и некоторые типы светодиодов, будут иметь большее влияние на циркадные ритмы при равном оптическом силе, продолжительности и времени воздействия. Воздействие вечером может привести к изменению моделей сна и других неблагоприятных последствий, хотя доказательства ограничены. В работе [4] были получены зависимости концентрации мелатонина в крови человека от длины волны излучения и от интенсивности излучения (рисунок 2). На рисунке 2а показаны зависимости для различных длин волн: 424 нм (точки слева), 456 нм (квадраты), 472 нм (ромбы), 496 (развернутые квадраты), 520 (окружности) и 548 нм (точки справа) Авторами [3, 4] на основе этих данных было установлено, что разница между светодиодами и другими типами источников не наблюдается. Однако авторы [6] заключают: «светодиодные лампы содержат высокий уровень синего цвета в спектре, который при включении в вечерние часы препятствует выработке

мелатонина». Выработка мелатонина определяется не только цветовой температурой излучения, но и уровнем освещенности (яркости), который зачастую не учитывается [6, 7].

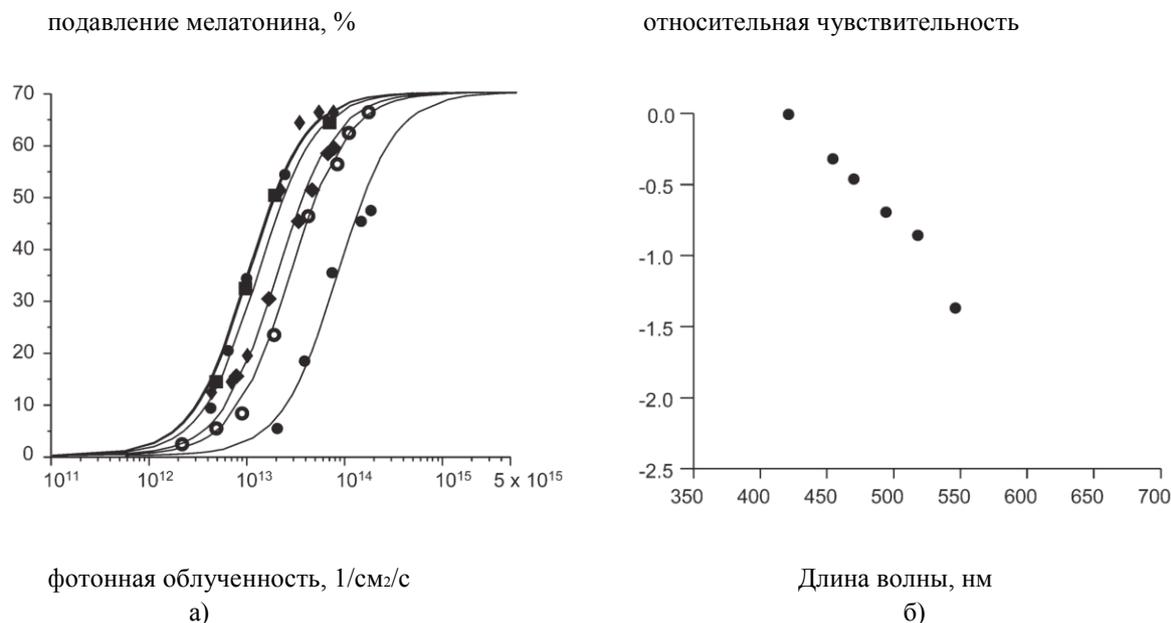


Рисунок 2 - Влияние излучения на подавление синтеза мелатонина: а – зависимости процента снижения синтеза мелатонина от интенсивности облученности; б – зависимость уровня мелатонина от длины волны излучения

Видимое излучение (760-400 нм) применяется в лечебно-профилактических целях. Представляет собой гамму цветовых оттенков, избирательно влияет на возбудимость корковых и подкорковых нервных центров, благодаря чему модулирует психоэмоциональные процессы в организме. Проникает в кожу на глубину до 1 см, но действует в основном через зрительный анализатор — сетчатку глаза. У видимого излучения более короткая длина волны, чем у инфракрасного излучения, оттого кванты несут более высокую энергию. Но влияние на кожу происходит главным образом примыкающими к границам его спектра инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами. Оказывают тепловое и химическое влияние. Например, в спектре лампы накаливания, которая есть источник видимого света, до 85% инфракрасного излучения. Согласно стандарту IEC (International Electrical-Technical Commission) (IEC 60825-1) [16] лазеры сгруппированы в 7 классов опасности в зависимости от значения AEL: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B и 4, самая низкая степень опасности соответствует лазерам класса 1 и самая высокая — лазерам класса 4.

В процессе поглощения излучения в коже выделяется тепло, которое воздействует на местные обменные процессы и модулирует функции термомеханочувствительных волокон. В разнообразных источниках есть информация, что красный свет стимулирует физическую активность, оранжевый — работу почек, желтый — желудочно-кишечного тракта и восстановление регуляции уровня артериального давления. Зеленый цвет нормализует работу сердечно-сосудистой системы, а голубой и фиолетовый —

деятельность мозга, а так же, как и синий влияет на фоторазрушение гематопорфирина [5].

Заключение

Большинство световых источников, работающих из электросети, имеют степень временной модуляции. Однако, такие источники, как лампы накаливания, имеют тепловую инерцию, что означает, что степень модуляции ограничена примерно на 10%. Светодиоды, управляемые из источников постоянного тока, не будут мерцать, если модуляция не будет введена, например, для увеличения предполагаемой яркости. Светодиоды, работающие из сетевых материалов (50 Гц в Европе), могут иметь степень модуляции от менее чем на 10% до 100%. Такая модуляция также может быть введена системами DIMMING.

Для обеспечения комфортной визуальной среды, включающей ближнее и дальнее окружение, необходимо определить «окна безопасности» для человеческого организма – диапазоны длин волн, интенсивности и времени воздействия излучения. Кроме того, необходимо учитывать время суток, возраст находящихся под воздействия излучения людей, а также вид источника излучения с позиций того, смотрят ли люди на него непосредственно зрительным анализатором (как, например, на экраны компьютеров, смартфонов, телевизоров, видеостены и т.д.) или находятся под их воздействием (источники освещения, лазеры).

Литература

1. Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER). Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). European Union, 2018 (9th plenary meeting on 5-6 June 2018). 92 p.
2. Kumar Khanna V. (2014). Fundamentals of solid-state lighting - LEDs, OLEDs, and their applications in illumination and displays. CRC Press (Taylor & Francis Group), Boca Raton (FL).
3. Kuse Y., Ogawa K., Tsuruma K., Shimazawa M., and Hara H. (2014). Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light, Sci Rep. 4: 5223.
4. Higglett M.P., O'Hagan J.B. and Khazova M. (2012). Safety of light emitting diodes in toys. Journal of Radiological Protection, 32, 51-72.
5. Laser Safety Standards and Measurements of Hazard Parameters for Medical Lasers pp 22 2012.
6. Энергосвет информационный электронный журнал по энергосбережению Кординационного совета Призидиума Генерального совета Всероссийской политической партии ЕДИНАЯ РОССИЯ по вопросам энергосбережения и энергетической эффективности 2016. С 35-42.
7. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dokterkarasenko.ru/fizioterapiya/svetolechenie.html> – Дата доступа: 23.04.2021.