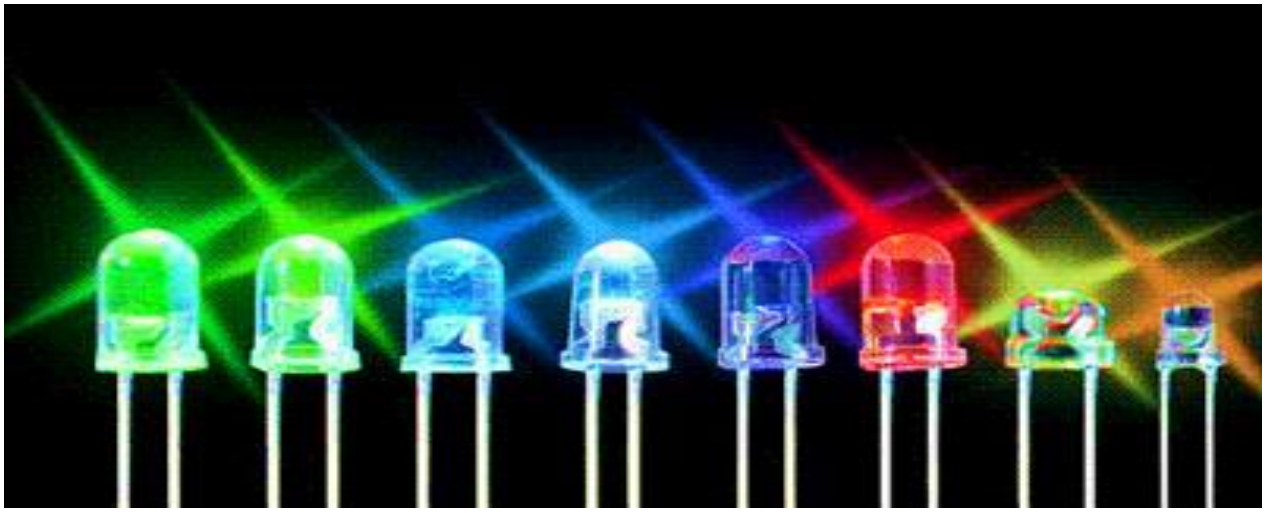
آشنایی با دیود ساطع کننده نور (LED)

نویسنده: آرام قادری - Amde2002@gmail.com



چکیده - در این گردآوری که به بررسی دیود ساطع کننده نور پرداخته‌ایم، در حال حاضر با توجه به عمر طولانی، عدم تولید حرارت و کم‌مصرف بودن دیودهای ساطع کننده نور، این محصول استفاده وسیعی در نورپردازی هتل‌ها، سالن‌های اجتماعات، راهروها، خصوصاً در برق اضطراری هتل‌ها دارد .مصرف انرژی ناچیز تولید نکردن حرارت که به‌صورت غیرمستقیم باعث کاهش تلفات و افزایش راندمان این عنصر می‌شود. قیمت یک لامپ هالوژن دیودهای ساطع کننده نور مرغوب ۳ وات با شدت نوری معادل هالوژن معمولی تقریباً ۴ تا ۵ برابر گران‌تر از هالوژن معمولی درجه‌یک است و در مقابل مصرف لامپ هالوژن دیودهای ساطع کننده نور برابر کمتر از هالوژن معمولی و عمر آن حداقل ۵ برابر هالوژن، معمولی است .این خود گویای کاهش ۹۰ درصدی مصرف برق، است که کاهش چشم‌گیر هزینه را در پی خواهد داشت. در دیودهای ساطع کننده نور هزینه‌های نصب ترانس، کابل فشارقوی و تجهیزات برق ۲۲۰ v نیز عملاً موردنیاز نیست علاوه بر این محصولات نورپردازی دیودهای ساطع کننده نور به علت تولید نکردن حرارت، هیچ‌گونه اثر سوئی در محیط داخل ساختمان مانند تجمع گردوغبار و خرابی‌های ناشی از گرمای زیاد را به دنبال نخواهد داشت. درنهایت با بررسی‌های به‌عمل‌آمده در مدت کمتر از یک سال کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری شده در قالب صرفه‌جویی در مصرف برق و هزینه‌های ناشی از آن، تأمین و پس‌ازاین مدت تبدیل به پس‌انداز خواهند شد.

واژگان کلیدی: دیود ساطع کننده نور، تولید نور، نیمه‌هادی.

۱- مقدمه

دیودهای ساطع کننده که از دهه‌های گذشته در الکترونیک مورداستفاده قرار می‌گرفتند، عموماً برای نمایش خاموش یا روشن بودن نمایشگرها در لوازم مولتی‌مدیا مورداستفاده قرار گرفتند؛ اما در حال حاضر دیودهای ساطع کننده نورها به نحوی ساخته می شوند که نور را در جهت خاصی متمرکز می‌کنند و به‌صورت چیپ‌های کوچکی هستند که معمولاً داخل یک شیشه گنبدی شکل قرار می‌گیرند و دارای سایز سانتی‌متری هستند و به‌سختی می‌شکنند .امروزه دیودهای ساطع کننده نور دیگر یک ابزار پرهزینه برای طراحان نیست بلکه به‌سرعت تبدیل به لامپ‌های آینده خواهند شد؛ که در این مقاله ترویجی به کاربرد و چگونگی کار آن‌ها می‌پردازیم.

۲- تریخچه دیودهای ساطع کننده نور

برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ در مقیاس صنعتی تولید و به بازار عرضه شد و تنها به رنگ قرمز و با ترکیب AlGaAs بود. دهه ۷۰ میلادی دیودهای ساطع کننده نور در رنگ‌های دیگر سبز، آبی، زرد، نارنجی (تولید شدند؛ و بهره نوری آن‌ها در سال‌های دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ میلادی، کارایی دیودهای ساطع کننده نور به میزان قال توجهی افزایش یافت. در سال ۱۹۹۲ دیودهای ساطع کننده نور که نور سفید را به روش الکترولومینسانس تولید می کردند به بازار معرفی شدند در ابتدا بهره بسیار کمی داشتند و به‌ندرت استفاده می‌شدند، اما اکنون تا ۳۰ لومن بر وات بوده و بهره نوری دیودهای ساطع کننده نوررنگی تا ۵۰ لومن بر وات نیز می‌رسد و پیش‌بینی می‌شود بهره نوری آن‌ها تا ۱۰۰ لومن بر وات نیز برسد. در حال حاضر کلیه رنگ‌های قابل‌رؤیت موجود در طبیعت (بیش از 16 میلیون رنگ، به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم به تنهائی به‌وسیله دیودهای ساطع کننده نور قابل‌تولید است–[1]. [3]

۳- دلایل رایج شدن دیودهای ساطع کننده نور ازلحاظ کاری

نگاهی به جدول ۱ نشان می‌دهد که دیودهای ساطع کننده نور حدود ۷۰ تا ۸۰ %انرژی را به گرمایی نامحسوس تبدیل می‌کنند ولی بااین‌وجود، کم‌مصرف‌ترین منبع نوری حاضر دنیا هستند . تولید نکردن اشعه‌های مضر برای انسان خود به تنهائی، ملاک ارزشمندی برای انتخاب نوع لامپ مصرفی است. عمر بسیار بالا، این محصول را به منبع نوری ایدئال، فارغ از مشکلات پرپر زدن مانند لامپ‌های فلورسنت یا ناهماهنگی ناشی از به تعویق افتادن تعویض لامپ‌های ازکارافتاده معمولی و مقرون‌به‌صرفه تبدیل کرده است.

طول عمر دیودهای ساطع کننده نور باکیفیت حدود 100000 ساعت است که چندین برابر لامپ‌های معمولی است البته به‌شرط رعایت عوامل مؤثر بر عمر دیودهای ساطع کننده نور که عبارت‌اند از :تبادل گرمائی، نوسانات برق و ایزولاسیون. با در نظر گرفتن عوامل فوق و مقایسه شدت نور لامپ‌های مختلف، به‌جرئت می توان دیودهای ساطع کننده نور را مقرون‌به‌صرفه ترین محصول نوری حاضر دنیا دانست .جدول ۲ مقایسه نور تولیدشده در منابع نوری مختلف گویای این مطلب است[۴].

جدول ۱: مقایسه منابع نور

نور منبع نوع	مرئی نور	پرتوهای نامرئی	گرما
لامپ‌های ادیسونی	5-33%	IR%30-40	55-%67
لامپ‌های هالوژن	6-8%	IR%40-50	44-%55
لامپ‌های فلورسنت	15-25%	UV%15-20	55-%70
LED	20-30%	0%	80-%70
بخار لامپ‌های سدیم	40-60%	%20-30	30-%20

جدول ۲: مقایسه نورهای تولیدی

ادیسونی لامپ‌های	5-10 Lm/Watt
هالوژن لامپ‌های	8-15 Lm/Watt
فلورسنت لامپ‌های	60-80Lm/Watt
LED	90-120Lm/Watt
سدیم بخار لامپ‌های	160-200Lm/Watt

۴- دیود چیست؟

یک دیود ساده‌ترین نوع از ادوات نیمه‌هادی است کلاً یک‌نیمه هادی ماده‌ای است که تغییر در قابلیت جریان دهی دارند .اغلب نیمه‌هادی‌ها از یک رسانای ضعیف که ناخالصی به آن افزوده‌شده به وجود می‌آید. در مورد دیودهای ساطع کننده نور ماده رسانا نوعاً(AlGaAs) در آلومینیوم گالیوم آرسنایدخالص تمام اتم‌ها به‌طور کامل با همسایه‌هایش محدودشده است و هیچ الکترون آزادی برای هدایت جریان الکتریکی وجود ندارد[4] .

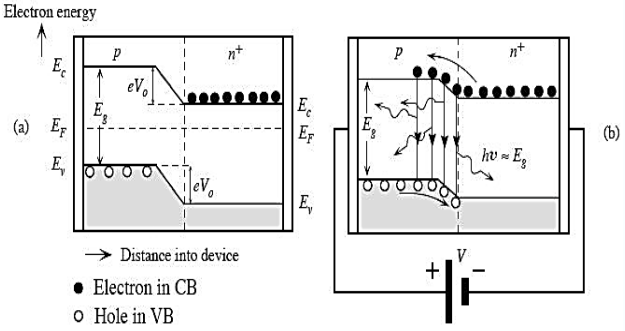
۵- تئوری کار دیودهای ساطع کننده نور

یک دیودهای ساطع کننده نور اساساً یک دیود اتصال P-N است. وقتی‌که حامل‌ها به عرض اتصال بایاس مستقیم تزریق‌شده‌اند نور گسیخته (غیر منسجم) ساطع می‌کند. بیشتر LED های تجاری با استفاده از ناخالصی بالای اتصال P-N تحقق‌یافته‌اند.

www.daneshkahroba.ir

جدول ۳: ترکیب به‌کاررفته و رنگ نور تولیدشده

نیمه‌هادی ماده نوع	علامت اختصاری	نور رنگ
گالیم، آلومینیوم، آرسنایید	AlGaAs	قرمز
ایندیم، آلومینیوم، فسفر گالیم،	AlInGaP	نارنجی قرمز زرد
آرسنایید، گالیم، فسفر	GaAsP	نارنجی قرمز زرد
گالیم، ایندیم، نیتروژن	InGaN	آبی سبز



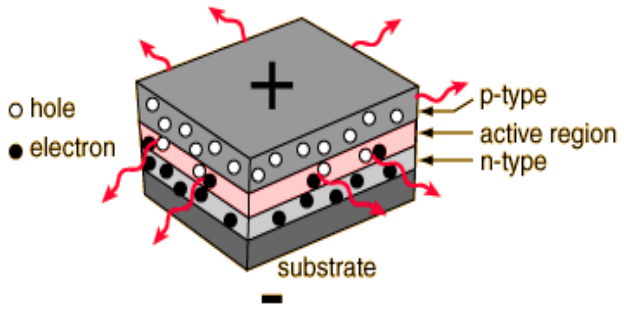
شکل ۱: تصویر دیاگرام باند انرژی در حالات بایاس و بدون بایاس[۵].

در اینجا یک پتانسیل سد از Ec در طرف n به Ec در طرف p وجود دارد که ولتاژ آستانه نامیده می‌شود.V0 این پتانسیل سد از دستیابی الکترون آزاد به‌طرف +n به نفوذ به‌طرف p جلوگیری می‌کند. وقتی‌که یک ولتاژ V در عرض اتصال اعمال شود ولتاژ Vbi از V0 به V0-V کاهش پیدا می‌کند این اجازه می‌دهد الکترون‌ها از +n به‌طرف p تزریق شوند. چون الکترون‌ها حامل منفی هستند در طرف p این فرآیند تزریق حامل منفی نامیده می شود؛ اما تزریق حفره از طرف p به +n خیلی کمتر است و بنابراین جریان ثانوی موظف به شارش الکترون به‌طرف p است. این تزریق حفره‌ها به‌طرف p بازترکیب با حفره بود که نتیجه آن بازترکیب خود به خودی (نور) است. این اثر الکترولومینس نامیده می‌شود. این فوتون‌ها باید اجازه یابند که از قطعه بدون جذب شدن دوباره رها شوند. این بازترکیب می‌تواند به دو قسمت طبقه‌بندی شود: مستقیم و غیرمستقیم[۵].

۶- ساختار دیود نورانی

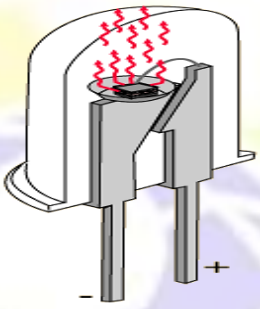
نور یکی از صورت‌های انرژی است. ازآنجاکه برای تولید نور، شکل دیگری از انرژی باید صرف شود، دو راه عمده برای آن وجود دارد: فرآیند التهاب و فرآیند لومینسانس. در فرایند لومینسانس، الکترون‌های ماده هدف که در شرایط معمول در حالت یا تراز انرژی پایه به سر می‌برند، با گرفتن انرژی از یک منبع مشخص به حالت‌های پرانرژی‌تر برانگیخته می‌رود .در بازگشت الکترون‌های ماده از حالت برانگیخته به حالت پایه، انرژی برانگیختگی به‌صورت نور (انرژی فوتون‌ها) نشر می‌شود. به‌طورمعمول (به‌جز در موارد خاص) انرژی برانگیختگی به دلیل دخالت برخی از انتقالات درون‌مولکولی (اتمی) ازجمله اتلاف انرژی به‌صورت گرمایی، از انرژی نور نشر شده بیشتر است. ازآن‌جهت که فرآیند لومینسانس نیازمند دماهای بالا نبوده و در دماهای معمول و نسبتاً پایین اتفاق می‌افتد، به نور ساطع‌شده، نور سرد هم گفته می‌شود[6].

به‌طور خلاصه یکی از راه‌های ایجاد دیودهای ساطع کننده نور ترکیب سه لایه نیمه‌هادی روی زیر لایه است، بین لایه‌های نیمه‌هادی نوع n و p یک ناحیه فعال ساطع کننده نور است وقتی الکترون و حفره بازترکیب می‌شوند؛ که در شکل (۲) نشان داده‌شده است[۷][8].



شکل ۲: تصویر شماتیک ساختار سه لایه‌ای LED

اما در طراحی عملی، لایه‌های دیود نور را به همه اطراف ساطع می کنند یعنی همه اطراف سازه که برای ایجاد جهت در نور و انسجام آن در وسط سازه یک آینه تعبیه‌شده و بنابراین نور را به سمت دلخواه ما تغییر جهت و متمرکز می‌نماید. در شکل (۳) ساختار آن آمده است[۷].



شکل ۳: شکل منعکس‌کننده تعبیه‌شده در ساختمان داخلی دیود.[۷]

www.daneshkahroba.ir

۷- جنس دیودهای ساطع کننده نور

یک کلاس مهم در LED تجاری که طیف قابل‌مشاهده را پوشش می‌دهد دسته ترکیبات مواد نیمه‌هادی سه-چهاری ها هستند. ترکیبات سه‌تایی بر اساس ترکیب GaP,GaAs می‌باشند.

دیودهای ساطع کننده نورها با استفاده از دو نوع نیمه‌هادی آلایش شده متفاوت تحقق می‌یابند که آن‌هایی که نیمه‌هادی‌ها مشابه هستند هموجانکشن نامیده می‌شوند؛ اما وقتی‌که با استفاده از مواد با باند ممنوعه متفاوت ساخته می‌شوند هتروجانکشن نامیده می شوند. یک دیود ساطع کننده نور هتروجانکشن از هموجانکشن روشن‌تر است.

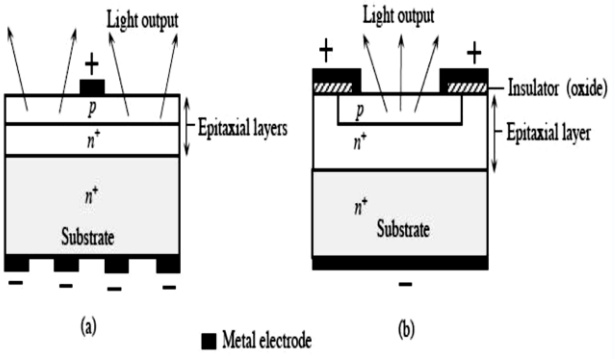
۸- ساختمان ساطع کننده نور

ساختار دیود ساطع کننده نور نقش بسیار مهمی در انتشار نور از LED دارد. در ساختار LED برای اطمینان از به وجود آمدن بیشترین بازترکیب سطح را به دو روش ایجاد می‌کنند:

با افزایش غلظت ناخالصی در زیر لایه؛ بنابراین الکترون‌های حامل بار منفی را به سطح بالا آزاد می‌کند که بازترکیب و انتشار نور در سطح به وجود می‌آورد.

با افزایش طول نفوذ. $L = \sqrt{D\tau}$ که D ضریب اثر نفوذ، τطول عمر حامل است؛ اما وقتی‌که خارج از یک طول بحرانی افزایش یابد جذب دوباره فوتون در قطعه به وجود می‌آید.

ساختار دیود ساطع کننده نورها به نحوی ساخته‌شده است که فوتون بدون اینکه در داخل قطعه جذب شود تولید و منتشر می شوند. یک‌راه حل این است که یک‌لایه فسفر نازک در بالا به‌اندازه یک ناحیه تخلیه ایجاد کنیم تا از جذب فوتون جلوگیری کنیم. با توجه به تصویر شکل (۴) نشان داده‌شده است.

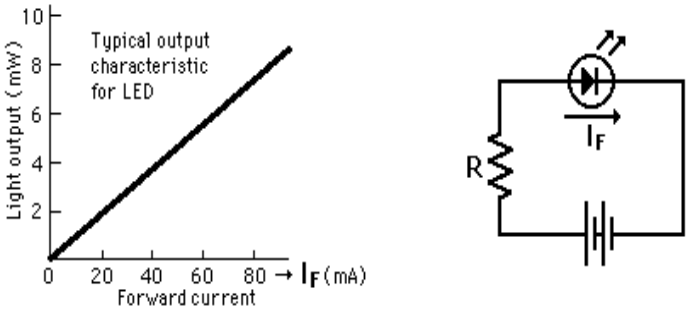


شکل ۴: شماتیک و ساختار داخلی LED

دیودهای ساطع کننده نور را معمولاً روی زیر لایه‌های نوع n می سازند با الکترود اضافه‌شده به لایه نوع p قرار داده‌شده در سطح. زیر لایه نوع p رواج کمتری دارند. بیشتر دیودهای نوری تجاری با استفاده از GaN و InGaN در بستر یاقوت کبود ساخته می‌شوند.

۹- مشخصات دیود ساطع کننده نور

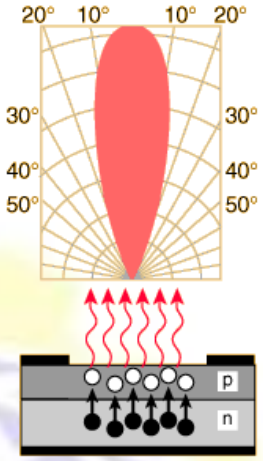
وقتی‌که دیود در بایاس مستقیم است و به آستانه هدایت می‌رسد جریان سریعاً افزایش‌یافته و باید برای جلوگیری از صدمه به قطعه باید کنترل شود. نور خروجی کاملاً خطی و متناسب با جریان داخل ناحیه فعال است، نمودار شکل جریان و نور و بایسینگ دیود در شکل نشان داده‌شده است[۷].



شکل ۵ نمودار شکل جریان و نور و بایسینگ دیود[۷]

۱۰- الگوهای انتشار دیود ساطع کننده نور

LED یک منبع نور مستقیم است که بیشترین توان ساطع‌شده در جهت عمودی ساطع شدن است، به‌عنوان‌مثال یک نوع الگوی تشعشع شده در شکل (۶) که بیشتر انرژی آن با زاویه ۲۰ درجه در آن جهت ساطع می‌شود.



شکل ۶: الگوی انتشار نور LED[7]

www.daneshkahroba.ir

برای نیمه‌هادی‌های با باند ممنوعه غیرمستقیم ηex عموماً کمتر از 1% است که برای مواد باند ممنوعه مستقیم می‌تواند قابل‌توجه باشد. به‌صورت معادله زیر می‌باشند[9].

$$\eta_{ext} = P_{out(Optical)} / IV \quad (1)$$

۱۱- مزایای دیود ساطع کننده نور نسبت به سایر لامپ‌ها

نور بیشتری را نسبت به وات تولید می‌کنند که این امر در کار با وسایل برق اضطراری مهم است.

برخی از بسته‌بندی‌های LED شامل لنز پلاستیکی برای گسترش نور هستند که هدف از آن بزرگ‌تر شدن زاویه مشاهده است.[۷]

۱۲- بازدهی دیود ساطع کننده نور

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های LED بازدهی کوانتومی خارجی ηext است. این بازدهی کوانتیده شده برای تبدیل انرژی الکتریک به انرژی نور است که برابر است با:

$$\eta_{int} = (\text{Rate of radiation recombination}) / (\text{Total recombination}) \quad (2)$$

نور دلخواه موردنظر را بدون استفاده از فیلترهای رنگی تولید می کنند.

می‌توانند در کاربردهای تنظیم نور یا دیمر به‌صورت دقیق نورش تنظیم شود. دارای قابلیت‌های سریع روشن و خاموش و تغییرات متناوب سریع هستند.

به‌صورت حالت‌جامد هستند و برخلاف سایر لامپ‌ها نسبت به ضربه‌های جانبی محیط مقاوم هستند.

می‌توانند طول عمر بالایی داشته باشند.

به‌مرورزمان می‌سوزند برخلاف سایر لامپ‌ها به که صورت ناگهانی می‌سوزند.

می‌توانند به‌صورت ساده و کم‌حجم در یک مدار مجتمع تعداد زیادی جمع شوند.

دارای مرکوری نیستند برخلاف فلورسنت‌ها.

۱۳- معایب دیود ساطع کننده نور

اغلب گران‌قیمت هستند نسبت به لومن نور تولید.

عملکردشان بسیار وابسته به محیط و خصوصاً دما طبیعی است و اغلب نیاز به رادیاتور دارند.

نیاز به جریان مستقیم برق‌دارند که تولید برق مستقیم نیازمند تجهیزت جانبی و افزایش حجم است.

۱۴- نتیجه‌گیری

امروزه با استفاده از دیودهای نورانی در امور نورپردازی نماهای دل‌نواز و زیبایی را با کمترین مصرف انرژی به وجود می‌آورند. همچنین در ساخت نمایشگرها باعث کاهش قالب ملاحظه مصرف انرژی و دوام کاری بسیار زیاد شده‌اند. لامپ‌های LED با توجه به اینکه دارای اشعه‌های زیان‌بار نیستند ازنظر پزشکی برای کسانی که مداوم با نور سروکار دارند توصیه می‌شود و برای چشم آسیب به دنبال نخواهد داشت؛ همچنین با توجه به اینکه نور مستقیم تابش می‌کنند هنوز هم نتوانسته‌اند به آن صورتی که انتظار می رود رایج شوند که البته با توجه به تدابیری که برای آن‌ها اندیشیده است به‌سرعت رایج خواهند شد.

مراجع

[1] n.. zheludev, “The life and times of the LED — a 100-year history,” Optoelectron. Res. Cent., Apr. 2007.

[2] “Light-emitting diode - Wikipedia, the free encyclopedia,” 31-May-215AD. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode. [Accessed: 31-May-2015].

[3] E. Fred Schubert, “History of light-emitting diodes,” Camb. Univ. Press, 2009.

[4] Lifetime of White LEDs at the Wayback Machine (archived April 10, 2009), US Department of Energy [5] Vijay Kumar Peddinti, “Light Emitting Diodes.” ELE 432 Assignment, 2007.

[6] “Introducing the luminescence process.” [Online]. Available: http://edu.nano.ir/index.php?actn=papers_view&id=60&action2=print. [Accessed: 07-May-2014].

[7] “Light Emitting Diodes.” [Online]. Available: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/leds.html. [Accessed: 08-May-2014].

[8] J. Chaves, “Introduction to Nonimaging Optics,” Opt. Sci. Eng. p. 449, 2008.

[9] “Smart Lighting: New LED Drops The ‘Droop,’” Rensselaer Polytech. Inst. Jan. 2009.