

LIGHTING IN THE NEW WORLD

Cristian SUVAGAU

BC Hydro, Vancouver

LED's - A BRIGHT NEW WORLD

By now, the little bright silicon chips have found their ways in our daily life. From the alarm clock displays that wake us up, to the microwave display we watch when heating our breakfast, to the traffic lights signals we desperately wait in rush hours, and to the mobile phone we try to call in late for a meeting, the LED's are always there, tiny little bright colour dots.

Almost 100 years after Edison perfected the light bulb, Russell Dean Dupuis perfected an obscure process called "epitaxial growth by metal-organic chemical vapour deposition" to boost the light output of a semiconductor. Dupuis had no idea his glowing achievement would illuminate the world. Moreover, within few decades his discovery could make his predecessor's light bulb obsolete.

Used initially as signal lamps for electronic and electrical hardware, in wasn't until the end of 1990's that LED have gained importance and were promoted as revolutionary lighting sources. In this article I will not insist with the specifications, nor the advantages of LED's (for that you can refer to an excellent LED article by Stelian Matei in "Tehnologia Iluminatului 11/2003) but present the significant impact LEDs have on the North American society.

First, some good news: the White House has recently honoured the creators of Light-Emitting Diodes. In November 2003, President G.W. Bush presented Dupuis (Georgia Tech University), and two other researchers who helped make LEDs household fixtures Nick Holonyak (University of Illinois) and M. George Craford (LumiLeds Lighting) with the National Medal of Technology, the highest honour the U.S. can bestow on its inventors.

Current and Near Term Applications

In order to operate as a lighting system, LED's need an AC/DC power source and a mean of control. The more appropriate term to describe the system would then be Solid State Lighting (SSL). Beside LED's, the quality of the supply source and control will reflect too in the overall efficiency of the SSL.

While still waiting for the super-bright, white LED, the American lighting market is moving fast with what is currently available exploiting the two important advantages: low energy cost and monochromatic

efficiency. When mature, the LED-based lighting market will encompass the residential, commercial, and industrial markets. However, we expect products in the near term (one to four years) will first see application in specific niches in the commercial and industrial:

Traffic Lights. Because they operate at lower voltage and draw much less current, LED signals save 80-90% of the electricity consumed by incandescent-lamp signals, and they last 5-10 times longer. They also provide increased safety for motorists and pedestrians. From Florida to California and from Texas to Alaska, electric utilities, state agencies, and municipalities have been working together for several years to accelerate the installation of energy-saving traffic signal replacements with high-efficiency LED technology.

A 12-inch LED signal uses 11-17 watts, compared with 135-150 watts for a comparable incandescent lamp. If all of the three million traffic signals in the United States and Canada were converted to LEDs, some 3 TWh (1 Terra Watt hour = 10^9 kWh) of electricity would be saved annually. LEDs also offer significant peak demand savings because of their continuous operation; total conversion of all these signals would lower overall peak demand by 340 MW reducing significantly the occurrence of power outages.

Other Industrial Signaling Opportunities. SSL-based industrial/commercial products are making a significant impact in airport, ports, and roadway lighting. Beside traffic intersections, aviation, and shipping facilities require colored light sources as guidance signals, which rely solely on incandescent lamps with a very limited lifetime (from only 2,000 to 4,000 hours for traffic signals, up to 8,000 hours for airport applications). With LED's lifetime of around 100,000 hrs, the maintenance savings are impressive. Not less significant are the load and energy saving impacts, since most of the signal lighting is 100% backed by costly emergency generators. Here are some forecasted LED annually estimated savings for Canada and US: 60TWh for aviation and shipping, and 30 TWh for roadways.

Exit Signs. Not until few years along, most of the exit signs used 15 to 30W incandescent sources but now, the default new products are LED based. Consuming up to 2W/ unit, LED exit signs are becoming the norm, saving North America's energy market some 3 TWh/yr. and leaving building operators with maintenance-free

installations for a period of 10-12 years.

Commercial Signage. Signs are high-profile energy users not only because they are used to attract public attention, but also because many are on 12 to 24 hours per day, consuming about 2% of the total electricity in North America. Fluorescent signs currently account for about 48% of this market, with neon signs holding about 41%, and the remainder of the market dominated mostly by incandescent products. SSL signs are still relatively new to this market. For example, at actual costs, neon and LED signs have similar install prices, but the neon signs consume an average of 12 W/ft (4W/m), more than 5 times than LED ones, and costs 10 times more in maintenance. Over 16GWh/yr (1Giga Watt-hour = 10^6 kWh) are expected to be saved by LED signage.

Retail Food and Beverage Displays. Another retail area where SSL has the potential to excel is in the grocery market, specifically in coolers and freezers. Currently, this market segment accounts for about 15% of all refrigeration energy use in the US, and is dominated by fluorescent lighting. However, LEDs have inherent characteristics that are much more suitable for this particular application: LEDs are more efficient at directional illumination, less affected by cooler temperatures, and do not require as much space. While improved fluorescent systems may promise incremental energy savings, none have the same promise of savings and versatility as the SSL systems.

Retail Lighting. LED-based lighting in retail applications is a nascent, but potentially enormous market, as LEDs can and will displace incandescent products in a way that CFLs have never been able to do. SSLs offer unprecedented flexibility in colours, dynamic colour changing and configurations to lighting designers in creating displays and particular "moods" in retail lighting. The potential for LEDs in retail and display markets may not be fully realized for some time, as designers and engineers explore and discover its possibilities.

White light LEDs

Presently, there are two approaches to create white light: *mixed-colour* (by mixing the light from red, green and blue LED's) and *phosphor converted* (by using phosphors together with short-wavelength, blue LED's). Once white, high-brightness LED will reach efficiencies comparable with fluorescent and HID sources, and providing a price breakthrough, SSL will start making obsolete their conventional counterparts.

Industry trends show that LEDs are improving as a result of new device geometries and materials, larger semiconducting devices, higher density packaging, increased drive currents, and better heat extraction. The lumen output of commercial white-LED products is now 100 times greater than it was just two years ago. At the International LED Expo 2003 (in Seoul, Korea)

was presented a white LED with a luminous efficacy of 40 lm/W, a remarkable improvement over the presently available devices of 24 lm/W.

As the technology advances, LED's will become better suited to a broader array of applications, light quality will improve, efficacies will increase, and prices will fall. The potential continental energy savings that will result by 2020 depend on how quickly and to what extent these developments occur. For example, in an optimistic price breakthrough scenario where prices drop as low as incandescent lamps, LED lighting will achieve full market penetration in almost all applications by 2020. Nearly 273 TWh end-use electricity would be saved each year.

Higher efficacies would mean even larger savings. Researchers promise that in the coming decade LED's will follow a performance curve that will look like a rocket's trajectory. From about 25 lm/W today to 50 lm/W in 2005, to 75 lm/W in 2007, and on to 150 lm/W by 2012. Finally, they hope to reach 200 lm/W in 2020. Even then there will be room for improvement - the white LED's theoretical maximum is between 300 and 400 lm/W, depending on how much green you like in your white light. At the same time, the wattage per device will continue climbing, from 5 W today to 10 W and 500 lm in 2005 (more than a 40-W incandescent light bulb). By 2012, researchers pledge that the devices will reach 7 W and 1000 lm!

Efforts to Induce Market Transformation

To date, LED technical breakthroughs have emerged primarily from proprietary research efforts. In fact, many of the key patents in the history of LED development have caused intense legal actions, restricting some of the major manufacturers to produce only the colors of LEDs for which they held the critical materials and process patents. Within the past two years, this trend has undergone a reversal. Many of the parties have settled and agreed to cross-licensing or entered in cooperative efforts, R&D partnerships and mergers.

Along with external R&D funding opportunities (from governments and stock markets), utilities, government, and power generation/ distribution alliances focused on advancing LED energy efficiency through market transformation and other incentive programs. While the program targets have been limited to exit signs and traffic lamps, they have helped these products achieve significant market penetration. As more LED products become available, these types of programs will be instrumental getting them more quickly into the market place.

Barriers

- **Technological:** LEDs are currently more difficult to fabricate than their microchip cousins. There still is no

consistent approach to creating an LED system to date. One of the biggest complaints about white LEDs is the perceivable color differences between similar LEDs. How much color variation can there be between similar LEDs is a common question.

- **Conventional Metrics:** Measuring LEDs' performance with conventional lighting metrics, which are based on the incandescent standards could actually hinder the process of using LEDs in applications. For example, the existing incandescent based colour rendering index (CRI) metric applied to LED does not correlate well with people's preference for the colour of an illuminated space. In the past 3-4 years, publications have pointed out the inadequacies of CRI metric with respect to the modern light sources. In the development process of LED's manufacturers have to sacrifice luminous efficacy to gain CRI. Contrary to general belief, recent studies at LRC (Light Research Centre, New York) show that a low CRI, LED source was more preferred as reading and task light than a high CRI halogen or incandescent light (www.lrc.rpi.edu). In addition, until LEDs are marketed in a more convenient assembly, it remains difficult to compare the output of different light sources to LEDs.
- **Educational:** LED-based lighting remains a new technology still not well known in the marketplace. This unfamiliarity applies equally for users at all experience levels: lighting designers, residential and commercial users, installers, building inspectors, and government code officials. Most lighting designers are used to thinking, designing, and working with white light sources instead of colored light sources. They are also not accustomed to taking advantage of the energy-efficiency, long-life and maintenance characteristics of LEDs.
- **Infrastructure:** Because it is a new technology, manufacturers of LED luminaires, systems and controls are few, and some products have reached the market via different routes instead of the traditional distribution channels used by more established lighting products.

Understanding these challenges will allow researchers, manufacturers, designers and end-users to overcome the hurdles and advance LEDs lighting technologies. Research, education, and industry collaboration are key activities to accelerate market acceptance. For example, since its inception in 2002, the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST) has been active in a number of research projects and other activities to advance and promote LED technology.

Beyond technical research, ASSIST has been active in fostering discussions between traditional luminaire manufacturers and LED manufacturers to draft recommendations for the use of LED light sources and

systems. The first "ASSIST Recommends" document offers a definition for the useful life of LEDs, based upon life tests conducted at the LRC and information found in literature regarding noticeable light level changes. Future recommendations are planned for white LED colour tolerance and requirements for LED-based reflector lamps.

Next steps: Quantum Dots?

Researchers at the Department of Energy's (DOE) Sandia National Laboratories have developed the first solid-state white light-emitting device using *quantum dots*. The approach is based on encapsulating semiconductor quantum dots (nanoparticles approximately of 10^{-9} m) and engineering their surfaces so they efficiently emit visible light when excited by near-ultraviolet (UV at 400 nm) light-emitting diodes (LEDs) - a principle similar to that used in fluorescent lighting. This revolutionary process allows for an increase in efficiency from 10-20 % to an amazing 60%.

This LED device is quite different from an alternative approach based upon growth of blue, green, and red emitting semiconductor materials that requires careful mixing of the those primary colours to produce white illumination.

Nanophosphors based upon quantum dots have two significant advantages over the use of conventional bulk phosphor powders. First, while the optical properties of conventional bulk phosphor powders are determined solely by the phosphor's chemical composition, in quantum dots the optical properties such as light absorbance are determined by the size of the dot. Changing the size produces dramatic changes in colour. The small dot size also means that, typically, over 70% of the atoms are at surface sites so that chemical changes at these sites allow tuning of the light-emitting properties of the dots, permitting the emission of multiple colours from a single-size dot.

Currently, the researchers are increasing the concentration of the quantum dots in the encapsulant to obtain further increases in light output while extending the understanding the physics of luminescence at the nanoscale and applying this knowledge to develop super efficient LED light sources.



Cristian ȘUVĂGĂU
PhD, P.Eng, Lighting Engineer
LC, MIES, MCIE

BC Hydro, Power Smart
Suite 900, 4555 Kingsway
Burnaby, BC, V5H 4T8, Canada

Tel.: + 604 - 453-6478
Fax: + 604 - 453-6286
e-Mail: cristian.suvagau@bchydro.bc.ca

Lighting engineer at BC Hydro, in Vancouver, Canada. Member of CIE and IESNA Board of Directors for BC. Lighting research, technical articles and project designs for institutional, commercial and industrial indoor and outdoor facilities in North America. PhD from the Technical University of Construction, Bucharest in 1995. Assistant Professor at the Lighting and Electrical Installations Chair, Faculty of Installations until 1995.

Received 13 February 2004

Iluminatul în lumea nouă

LED-urile – o lume noua strălucitoare

În prezent, micile chip-uri luminoase de siliciu și-au croit drum în viața noastră cotidiană. De la afișajul ceasului deșteptător care ne trezește, la afișajul cuptorului cu microunde pe care îl privim când încălzim micul dejun, la semafoarele la care așteptăm exasperați în orele de vârf, și la telefonul mobil de pe care sunăm când întârziem la o întâlnire, LED-urile sunt omniprezente, mici puncte colorate luminoase.

La aproape 100 de ani după ce Edison a perfecționat becul, Russell Dean Dupuis a perfecționat un proces obscur denumit “creștere epitaxială prin depunere chimică de vapori metal-organici” pentru a mări puterea luminoasă a unui semiconductor. Dupuis nu bănuia că realizarea sa urma să ilumineze lumea. Mai mult, în câteva decenii descoperirea sa urma să facă din becul predecesorului său un obiect desuet.

Utilizat inițial ca lampă de semnalizare pentru echipamente electrice și electronice, abia la sfârșitul anilor '90 LED-urile au devenit mai importante și au fost promovate ca surse revoluționare de iluminat. În acest articol nu voi insista asupra specificațiilor, nici asupra avantajelor LED-urilor (despre care există un articol excelent al lui Stelian Matei în “Ingineria iluminatului” 11/2003), ci voi prezenta impactul semnificativ pe care LED-urile îl au asupra societății nord-americane.

Întâi, câteva vești bune: Casa Albă a medaliat recent creatorii diodelor electro-luminiscente. În noiembrie 2003, președintele G.W. Bush a decernat Medalia Națională pentru Tehnologie, cea mai înaltă distincție acordată de Statele Unite inventatorilor, lui Dupuis (Univesitatea Georgia Tech) și altor doi cercetători care au contribuit la conceperea corpurilor de iluminat cu LED-uri: Nick Holonyak (Universitatea din Illinois) și M. George Craford (LumiLeds Lighting).

Aplicații curente și în viitorul apropiat

Pentru a funcționa ca un sistem de iluminat, LED-urile necesită o sursă de putere a.c./c.c și un mijloc de control. Cel mai potrivit termen pentru descrierea sistemului ar fi

Solid State Lighting (SSL). Pe lângă LED-uri, calitatea sursei de alimentare și a controlului se vor reflecta în randamentul general al SSL.

În timp ce se așteaptă pentru LED-ul alb, ultraluminos, piața americană a iluminatului se mișcă repede cu ceea ce este disponibil pe moment, profitând de cele două avantaje importante: cost scăzut al energiei și randament monocromatic. La maturitate, piața iluminatului bazat pe LED-uri va cuprinde piața industrială, comercială și casnică. Totuși, se preconizează că produsele din viitorul apropiat (unu până la patru ani) își vor găsi aplicații în primul rând în nișe specifice din iluminatul industrial și comercial:

Semafoare. Deoarece funcționează la tensiune mai mică și consumă mult mai puțin curent, sistemele cu LED-uri economisesc 80-90% din electricitatea consumată de sistemele cu lampi cu incandescență, și durează de 5-10 ori mai mult. În plus, prezintă o siguranță mai mare pentru șoferi și pietoni. Din Florida în California și din Texas în Alaska, furnizorii de electricitate, agențiile de stat și municipalitățile au conlucrat timp de câțiva ani pentru a accelera instalarea semafoarelor cu consum energetic redus cu tehnologie LED de randament ridicat. Un semnal de 12 inch cu LED-uri consumă 11-17 W, în comparație cu cei 135-150 W consumați de o lampă cu incandescență similară. Dacă toate cele trei milioane de semafoare din Statele Unite și Canada ar fi convertite la LED-uri, aproximativ 3 TWh (1 Terra Watt oră = 10^9 kWh) de energie electrică ar fi economisiți anual. LED-urile oferă, de asemenea, economie semnificativă la consumul de vârf datorită funcționării continue; convertirea completă a tuturor acestor semafoare ar scădea cererea totală de vârf cu 340 MW, reducând semnificativ numărul de întreruperi de alimentare.

Alte posibilități industriale de iluminat. Produsele industriale/comerciale SSL au un impact semnificativ în iluminatul aeroporturilor, porturilor și în cel rutier. Pe lângă intersecțiile de trafic, sistemele aviatice și navale necesită surse de iluminat colorat pentru semnalele de dirijare, care se bazează numai pe lampi cu incandescență cu o durată de viață foarte limitată (de la numai 2000 la 4000 ore pentru semnale de trafic, până la 8000 ore pentru aplicații aeroportuare). Durata de viață a LED-urilor fiind de aproape 100.000 ore, economiile realizate cu întreținerea sunt impresionante. Nu mai puțin importante sunt economiile de energie și sarcină, deoarece majoritatea iluminatului de semnalizare este 100% susținut de generatoare costisitoare. Iată economiile anuale estimate pentru LED-uri pentru Canada și SUA: 60 TWh pentru aviație și navigație și 30 TWh pentru sistemul rutier.

Indicatoare de ieșire. Până nu demult, majoritatea indicatoarelor de ieșire utilizau surse incandescente de la 15 la 30 W, dar în prezent produsele noi se bazează implicit pe LED-uri. Consumând până la 2 W pe unitate, indicatoarele de ieșire cu LED-uri devin o normă,

economisind pe piața energiei din America de Nord cam 3 TWh/an și dotând clădirile cu instalații care nu necesită întreținere timp de 10-12 ani.

Indicatoare comerciale. Indicatoarele sunt mari consumatoare de energie nu numai pentru că sunt utilizate pentru a atrage atenția publicului, dar și pentru că majoritatea funcționează 12 la 24 ore pe zi, consumând circa 2% din electricitatea totală din America de Nord. Sistemele fluorescente acoperă cam 48% din total, cele cu neon reprezentând cam 41%, iar restul revenind în majoritate sistemelor cu incandescență. Indicatoarele SSL sunt încă relativ noi pe această piață. De exemplu, la costurile actuale, sistemele cu neon și cele cu LED-uri au costuri de instalare similare, dar indicatoarele cu neon consumă în medie 12 W/ft (4 W/m), de cinci ori mai mult decât cele cu LED-uri, și costă de 10 ori mai mult ca întreținere. Aproximativ 16 GWh/an se preconizează să se economisească prin utilizarea indicatoarelor cu LED-uri.

Afișajele din magazine. Un alt domeniu în care SSL are potențialul de a excela este piața alimentelor, mai specific în răcitoare și congelatoare. În prezent, acest segment de piață cuprinde cam 15% din energia consumată pentru răcire în SUA, și este dominată de iluminatul fluorescent. Totuși, LED-urile au caracteristici implicite care sunt mult mai potrivite pentru această aplicație: sunt mult mai eficiente la iluminat direcțional, sunt mai puțin afectate de temperaturile scăzute și nu necesită atât de mult spațiu. Deși sistemele fluorescente îmbunătățite promet o economie de energie în creștere, nici unul nu are aceleași posibilități de economisire și versatilitate ca sistemele SSL.

Retail Lighting. Iluminatul pe bază de LED în aplicații retail reprezintă o piață în curs de formare, dar cu potențial enorm, deoarece LED-urile vor putea înlocui produsele cu incandescență într-un mod în care CFLs nu a reușit niciodată. SSL oferă o flexibilitate fără precedent în culori, schimbare dinamică a culorii și configurații pentru proiectanții iluminatului la crearea afișajelor și "stărilor" speciale în iluminatul de retail. Potențialul LED-urilor pe piața de retail și afișaj ar putea să nu fie perceput exact pentru moment, în timp ce proiectanții și inginerii explorează și descoperă posibilitățile.

LED-uri cu lumină albă

În prezent există două abordări pentru crearea luminii albe: *culoare combinată* (prin combinarea luminii LED-urilor roșii, verzi și albastre) și *conversie de material fosforescent* (prin utilizarea materialelor fosforescente împreună cu LED-uri albastre cu unde scurte). În momentul în care LED-ul alb, cu strălucire puternică va ajunge la un randament comparabil cu sursele fluorescente și HID, și la un preț competitiv, SSL vor face alternativele lor convenționale să pară demodate.

Tendențele industriei arată o îmbunătățire a LED-urilor ca rezultat al noilor geometrii și materiale ale dispozitivelor,

dispozitive semiconductoare mai mari, compactare la o densitate mai mare, curenți mai mari, și o extragere mai bună a căldurii. Ieșirea în lumen a produselor comerciale cu LED-uri albe este în prezent de 100 de ori mai mare decât în urmă cu numai 2 ani. La International LED Expo 2003 (în Seul, Coreea) a fost prezentat un LED alb cu un randament luminos de 40 lm/W, o remarcabilă îmbunătățire față de dispozitivele disponibile în prezent de 24 lm/W. Odată cu progresul tehnologic, LED-urile vor fi mai potrivite pentru un domeniu mai larg de aplicații, calitatea luminii va fi mai bună, randamentul va crește iar prețul va scădea. Economii potențiale de energie pe continent care vor rezulta până în 2020 depind de rapiditatea și amploarea acestor dezvoltări. De exemplu, într-un scenariu optimist de scădere a prețurilor în care prețurile scad la nivelul lămpilor cu incandescență, iluminatul cu LED va avea o prezență completă pe piață în aproape toate aplicațiile până în 2020. Aproximativ 273 TWh consum electric va fi economisit în fiecare an. Randament mai bun va însemna economii mai mari. Cercetătorii promet că în deceniul următor LED-urile vor urma o curbă de performanță similară cu traiectoria unei rachete. De la 25 lm/W în prezent la 50 lm/W în 2005, la 75 lm/W în 2007, și la 150 lm/W în 2012. În final se speră să ajungă la 200 lm/W în 2020. Chiar și atunci va mai exista spațiu pentru îmbunătățire – maximul teoretic al LED-urilor albe este situat între 300 și 400 lm/W, depinde de cantitatea de verde preferată în lumina albă. În același timp, puterea pe dispozitiv va continua să crească, de la 5 W în prezent la 10 W și 500 lm în 2005 (mai mult decât un bec incandescent de 40 W). Până în 2012, cercetătorii consideră că dispozitivele vor ajunge la 7 W și 1000 lm!

Eforturi pentru a transforma piața

În prezent, realizările tehnice în domeniul LED-urilor s-au realizat în primul rând în acțiuni de cercetare ale companiilor. De fapt, multe din patentele esențiale din istoria dezvoltării LED-urilor au determinat acțiuni intense în justiție, restrângând unii din producătorii majori la producerea culorii de LED-uri pentru care dețin materialele și patentele de proces. În ultimii doi ani, această tendință prezintă o inversare. Mulți producători au convenit asupra licențierii reciproce sau au constituit acțiuni în comun, parteneriate de cercetare și dezvoltare și fuziuni.

Împreună cu oportunitățile de finanțare externe pentru cercetare și dezvoltare (guvernamentale și din piața de capital), utilitățile, autoritățile guvernamentale și alianțele de producere/distribuție a energiei s-au concentrat asupra creșterii eficienței energetice a LED-urilor prin transformarea pieței și prin alte programe de stimulare. Deși obiectivele programelor s-au limitat la indicatoare de ieșire și semafoare, au ajutat aceste produse în realizarea unei penetrări semnificative a pieței. Tot mai multe produse cu LED-uri fiind disponibile, aceste tipuri

de programe vor avea rolul de a le introduce mai repede pe piață.

Bariere

- **Tehnologică:** LED-urile sunt în prezent mai dificil de fabricat decât microcipurile. Încă nu există o abordare consistentă pentru a crea un sistem pentru LED-uri. Una din cele mai mari probleme a LED-urilor albe este diferența perceptibilă de culoare între LED-uri similare. Cât de mare poate fi variația de culoare între LED-uri similare este o problemă comună.
- **Sistemul convențional de măsurare:** Măsurarea performanțelor LED-urilor cu sistemul de măsurare a iluminatului convențional, care se bazează pe standardele pentru iluminatul cu incandescență, ar putea împiedica utilizarea LED-urilor în aplicații. De exemplu, indexul de redare a culorii (CRI) existent, bazat pe iluminatul incandescent nu se corelează bine cu preferința oamenilor pentru culoarea unui spațiu iluminat. În ultimii 3-4 ani, publicațiile au subliniat neadecvarea măsurării CRI în ceea ce privește sursele moderne de iluminat. În procesul de dezvoltare a LED-urilor producătorii trebuie să sacrifice randamentul luminos pentru a câștiga CRI. Contrar părerii generale, studii recente ale LRC (Light Research Centre, New York) arată că o sursă cu CRI scăzut cu LED-uri a fost preferată mai mult ca lumină pentru citit și lucru decât o sursă cu CRI ridicat cu halogen sau incandescență (www.lrc.rpi.edu). În plus, până când LED-urile nu vor fi comercializate într-o asamblare mai convenabilă, este încă dificilă compararea între diverse surse de iluminat și cele cu LED-uri.
- **Educaționale:** iluminatul pe bază de LED este încă o tehnologie nouă care nu este bine cunoscută pe piață. Această lipsă de familiarizare se aplică tuturor utilizatorilor de toate nivelurile de experiență: proiectanți în iluminat, utilizatori casnici și comerciali, instalatori, inspectori de construcții și oficiali guvernamentali. Majoritatea proiectanților de iluminat sunt obișnuiți să gândească, proiecteze și să lucreze cu surse de lumină albă, mai degrabă decât cu surse de iluminat colorate. De asemenea, nu sunt obișnuiți să profite de randamentul energetic, durata mare de viață și caracteristicile de întreținere ale LED-urilor.
- **Infrastructura:** deoarece este o tehnologie nouă, producătorii de corpuri de iluminat, sisteme și controale pentru LED-uri sunt puțini, iar unele produse au ajuns pe piață prin alte căi decât cele tradiționale de distribuție utilizate de produsele consacrate de iluminat.

Înțelegerea acestor obstacole va permite cercetătorilor, producătorilor, proiectanților și utilizatorilor finali să le depășească și să facă să progreseze tehnologiile LED-urilor. Colaborarea cercetării, educației și industriei sunt

activități esențiale pentru a grăbi acceptarea pe piață. De exemplu, de la înființarea sa în 2002, Alianța pentru Sisteme și Tehnologii SSL (ASSIST) a fost activă într-un număr de proiecte de cercetare și alte activități pentru a promova tehnologia LED.

Pe lângă cercetarea tehnică, ASSIST a fost activă în organizarea discuțiilor între producătorii de corpuri tradiționale de iluminat și producătorii de LED-uri pentru a concepe recomandări de utilizare a surselor și sistemelor cu LED-uri. Primul document "ASSIST Recomandă" oferă o definiție pentru durata de utilizare a LED-urilor, bazată pe teste de durată de viață efectuate la LRC și pe informații din literatură referitoare la modificările observabile de nivelurile de iluminat. Recomandările viitoare sunt planificate pentru toleranța la culoare a LED-urilor albe și cerințele pentru lămpile cu reflector bazate pe LED-uri.

Următoarele etape: Particule cuantice?

Cercetătorii de la Departamentul de energie (DOE) al Sandia National Laboratories au dezvoltat primul dispozitiv solid-state emițător de lumină albă utilizând *particule cuantice (quantum dots)*. Abordarea se bazează pe încapsularea de particule cuantice semiconductoare (nanoparticule de 10^{-9} m) și proiectarea suprafețelor lor astfel încât să emită eficient lumină vizibilă când sunt excitate de LED-uri care emit aproape de ultraviolet (UV la 400 nm) – un principiu similar cu cel utilizat în iluminatul fluorescent. Randamentul crește de la 10-20% la un remarcabil 60%. Acest dispozitiv cu LED este destul de diferit de abordarea alternativă bazată pe creșterea de materiale semiconductoare emițătoare de lumină roșie, verde și albastră care necesită combinarea atentă a acestor culori primare pentru a produce lumină albă. Nanofosforii bazați pe quantum dots au două avantaje semnificative față de utilizarea prafurilor convenționale de fosfor. În primul rând, în timp ce proprietățile optice ale prafului convențional de fosfor sunt determinate numai de compoziția lor chimică, proprietățile optice pentru quantum dots, cum ar fi absorbanta luminii sunt determinate de dimensiunea lor. Modificarea dimensiunii produce schimbări semnificative ale culorii. Dimensiunea redusă înseamnă, de asemenea, că în mod obișnuit 70% din atomi sunt la suprafață, astfel încât modificările chimice permit reglarea proprietăților luminoase ale particulelor dots, permițând emiterea de mai multe culori de către un dot de aceeași mărime. În prezent, cercetătorii măresc concentrația de quantum dots în capsulă pentru a obține creșteri ale luminii rezultate, în paralel cu înțelegerea legilor fizice ale luminescenței la scară nanometrică și cu aplicarea acestor cunoștințe la dezvoltarea surselor de iluminat ultraeficiente cu LED-uri.