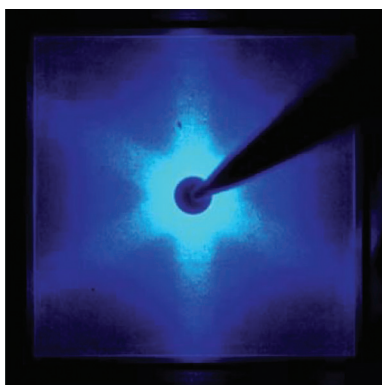


# جایزه نوبل فیزیک به پژوهش‌های راهبر به ساخت دیودهای نورگسیل آبی با روشنایی زیاد

باربارا گاس-لوی



این برندگان جایزه نوبل پژوهش‌های گالیوم‌نیتريد را زنده نگاه داشتند تا آنکه در نهایت، نوآوری‌های موفقشان راه را برای ساخت ابزارهای عملی هموار کرد.



شکل ۱. دیود نورگسیل آبی گالیوم‌نیتريد با لایه فعال گالیوم‌نیتريد ایندیوم که در دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا ساخته شده است (عکس از الیسون ماتیلوی).

فرهنگستان سلطنتی علوم سوئد «به خاطر اختراع دیودهای نورگسیل آبی پر بازده که ساخت چشمه‌های نور سفید درخشان و کم‌مصرف را امکان‌پذیر کرده است»، جایزه پرخواستار فیزیک خود را به ایسامو آساکو، هیروشی آمانو، و شوچی ناکامورا داد. فرهنگستان سوئد در شرح دلایل اهدای این جایزه به این نکته اشاره می‌کند که جایزه به «اختراعی که بیشترین فایده را برای بشریت در بردارد» داده می‌شود و این همان چیز است که «خواست آلفرد نوبل» بود. آکاساکی به دانشگاه‌های می‌جو (Meijo) و ناگویا (Nagoya) وابستگی دارد که هر دو در ناگویای ژاپن هستند. آمانو در دانشگاه ناگویاست، و ناکامورا در دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا کار می‌کند.

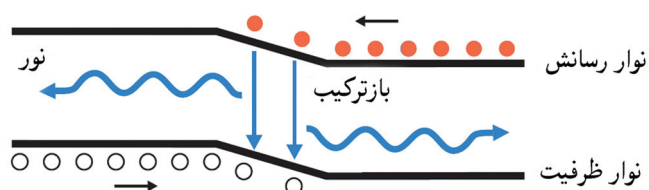
با به بار آمدن دیود نورگسیل آبی با بازدهی کافی، طیف نورهای اصلی که برای ساخت دیود نورگسیل سفید لازم است کامل شد. با مخلوط کردن دیودهای نورگسیل سرخ و سبز و آبی یا با تاباندن دیود نورگسیل تک‌رنگ آبی بر فسفر مناسب، فام‌های مختلف رنگ سفید را می‌توان ساخت.

صفحه نمایش‌های حالت جامد و چراغ‌های هشدار را که با دیودهای نورگسیل تک‌فام ساخته شده‌اند همه‌جا می‌توان دید. ابزارهایی که نور طیف مرئی گسیل‌کنند در دهه ۱۹۶۰ میلادی وجود داشت. نخستین دیودهای نورگسیل سرخ بود و در نهایت دیودهای نورگسیل سبز و زرد نیز ساخته

شد. اما به بار آوردن دیود آبی با بازدهی کافی چالش بزرگی بود و در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی بیشتر گروه‌های پژوهشی کار روی گالیوم‌نیتريد را متوقف کرده بودند اما کلید حل مشکل همین ماده نیم‌رسانا بود.

دریافت‌کنندگان جایزه نوبل امسال تقریباً تنها کسانی بودند که در دهه ۱۹۸۰ میلادی کار با این ماده مشکل را دنبال کردند و کار آنها تا دهه ۱۹۹۰ ادامه پیدا کرد و با ساخت ابزارهایی که نور آبی گسیل‌کنند (شکل ۱ را ببینید) به نتیجه رسید.

از آن زمان تا کنون با افزایش زیاد شمار کسانی که در این زمینه پژوهش می‌کنند به مرحله‌ای رسیده‌ایم که لامپ حالت جامد پر بازده جای لامپ‌های



شکل ۲. ساختار دیود نورگسیل: در قلب هر دیود نورگسیل پیوندگاهی است بین نیم رسانای نوع n (سمت راست تصویر) و نیم رسانای نوع p (سمت چپ). اعمال ولتاژ به دو سوی پیوندگاه حفره‌ها را از سمت چپ تصویر و الکترون‌ها را از سوی راست تصویر به سوی پیوندگاه می‌راند. بازترکیب الکترون و حفره در پیوندگاه موادی که شکاف انرژی مستقیم دارند فوتون با انرژی‌ای برابر با اندازه شکاف گسیل می‌کند [عکس از مرجع ۱۴].

سوی ابزار عملی را کند کرد (مقاله گرترو نیومارک، رابرت پارک، و جیمز دیویوت را در صفحه ۲۶ شماره ژوئن ۱۹۹۴ فیزیکس تودی ببینید).

ماده دیگری که برای تولید دیود نورگسیل آبی بررسی شد سیلیسیم‌کربید است که شکاف انرژی غیرمستقیم دارد. متأسفانه بازدهی پیوندگاه p-n در SiC بسیار کم است.

## تاریخچه دیودهای نورگسیل

الکترودرخشش (electroluminescence) یا گسیل نور در اثر انگیزش الکتریکی، نخستین بار در سال ۱۹۰۷ به صورت برقی زرد دیده شد که در اثر اعمال ولتاژ از بلور سیلیسیم‌کربید ساطع می‌شود. چندین دهه طول کشید تا این پدیده براساس بازترکیب تابشی الکترون و حفره توضیح داده شود [۱ و ۲]. این توضیح مدیون دانشی بود که از پژوهش در باره نیم رساناها و پیوندگاه‌های p-n به دست آمد.

اولین دیودهای نورگسیل در دهه ۱۹۵۰ میلادی تابش فرسوخ گسیل می‌کرد و از پیوندگاه‌های پربازده p-n از جنس گالیم‌آرسنید ساخته شد. برای دستیابی به طول‌موج‌های کوتاه‌تر در ناحیه مرئی طیف، پژوهشگران در آزمایشگاه‌های صنعتی آلمان، انگلستان، و ایالات متحده سراغ گالیم فسفید رفتند که شکاف انرژی غیرمستقیم بزرگ‌تر و پهن‌تر دارد (در نیم رساناهایی که با ترکیب مواد ستون‌های سوم و پنجم جدول مندلیف ساخته می‌شود یعنی نیم رساناهای گروه III-V، به ترتیب شکاف انرژی GaN، GaP، GaAs پهن‌تر و مستقیم‌تر می‌شود زیرا شعاع اتم عنصرهایی که با اتم‌های گالیم زوج می‌سازند کوچک‌تر و پیوند الکترون‌ها به هسته محکم‌تر می‌شود). در سال ۱۹۶۲ نیک هولونیاک پسر و همکارش در آزمایشگاه جنرال الکتریک ایالات متحده گسیل نور سرخ از آلیاژ گالیم، فسفر، و نیکل را گزارش کردند [۳] که هنوز هم برای ساخت دیود نورگسیل سرخ به کار می‌رود. در پیش‌رفت‌های بعدی نور زرد و سبز نیز به فهرست اضافه شد.

جستجوی گسیل‌کننده‌های نور آبی پژوهشگران را به سوی گالیم‌نیتريد کشاند اما کار با این ماده مشکلات فراوان داشت. یکی از مشکلات رویاندن

معمولی را بگیرد. امروز بیست درصد انرژی الکتریکی برای تولید روشنایی مصرف می‌شود و بیشتر این مقدار به صورت گرما در لامپ‌های انتهایی تلف می‌شود. چراغ‌های حالت جامد سفید این میزان مصرف انرژی را به شدت کاهش خواهد داد و عمر طولانی این چراغ‌ها نیز مصرف مواد برای ساخت لامپ را کم‌تر خواهد کرد (در این باره می‌توانید مقاله آریاد برگ، جورج کرفورد، آیل دوگال، و رولاند هالتر را در شماره دسامبر ۲۰۰۲ فیزیکس تودی ببینید). یک معیار برای سنجیدن بازدهی، نسبت شار نورانی (برحسب لومنس) به توان الکتریکی ورودی (برحسب وات) است. رکورد بازدهی بیش از ۳۰ lm/W را شرکت چراغ‌های کری (Cree Lighting) در سال ۲۰۱۴ به نام خود ثبت کرد. رقم مشابه برای لامپ‌های انتهایی ۱۶ و برای لامپ‌های فلوروسان ۷۰ است و کار برای کارکرد بهتر و پایین آوردن هزینه دیودهای نورگسیل سفید ادامه دارد.

## ساختار دیود نورگسیل

پیوندگاه p-n بین نیم رسانایی که فزونی الکترون دارد (لایه نوع n) و نیم رسانایی که فزونی حفره دارد (لایه نوع p) قلب تپنده هر دیود نورگسیل است (شکل ۲). اعمال ولتاژ مثبت به لایه نوع p (لایه سمت چپ) حفره‌های این لایه و الکترون‌های لایه نوع n را به سوی پیوندگاه می‌راند. زایش نور حاصل بازترکیب حفره و الکترون در پیوندگاه است.

در موادی که شکاف نور مستقیم دارند یعنی تکانه الکترون‌های نور رسانش و حفره‌های نور ظرفیت یکی است، بازترکیب این حامل‌های بار با تابش همراه است و انرژی فوتون تابیده شده برابر است با اندازه شکاف انرژی. بازترکیب در موادی که شکاف نور انرژی‌شان غیرمستقیم است به برهم‌کنش با شبکه بلوری نیاز دارد و تابش حاصل از بازترکیب بازدهی کم‌تر دارد. همچنین انرژی فوتون از اندازه شکاف انرژی کم‌تری است.

جستجو برای ماده‌ای که نور آبی گسیل کند بر موادی مثل گالیم‌نیتريد (GaN) متمرکز بود که شکاف انرژی مستقیم دارند و اندازه شکافشان بزرگی لازم برای زایش طول‌موج کوتاه نور آبی را دارد. اندازه شکاف انرژی GaN در دمای ۳۰ درجه کلوین ۳/۴ الکترون‌ولت است. ماده دیگر که شکاف انرژی مستقیم و شکاف با اندازه مناسب روی سلنید است. در اوایل دهه ۱۹۹۰ پژوهشگران توانستند با روی سلنید لیزر سبز-آبی بسازند. اما چالش‌های فنی مانند مشکل آلاینش نیم رساناها و عمر کوتاه کارکرد این ابزارها پیشرفت به توضیح مترجم: در نیم رساناها ترازهای خالی انرژی، نور رسانش، و ترازهای انرژی الکترون‌های بسته به اتم نور ظرفیت را می‌سازد. با افزودن ناخالصی نوع n به بلور، انگیزش گرمایی الکترون‌های ناخالصی را به نور رسانش می‌فرستد و این الکترون‌ها می‌توانند حامل جریان الکتریکی باشند. همچنین با افزودن ناخالصی نوع p به بلور شماری از الکترون‌های نور ظرفیت می‌تواند در ترازهای انرژی الکترون‌های ناخالصی قرار بگیرد و ترازهای خالی در نور رسانش که حفره نامیده می‌شود درست مانند حامل‌های بار مثبت الکتریکی کار می‌کند. ناحیه انرژی‌های بین نور رسانش و نور ظرفیت را شکاف نور می‌گویند به این معنی که برای الکترون‌های بلور (بدون ناخالصی) هیچ تراز انرژی بین نور رسانش و نور ظرفیت وجود ندارد.

کوچک شکل می‌گیرد که زایش هسته‌های بلور GaN را آسان می‌کند. چگالی نقص‌ها نزدیک لایه AIN زیاد است اما با افزوده شدن لایه‌های بعدی، رویش بلور یک‌دست‌تر می‌شود.

در ۱۹۸۸ آکاساکی و آمانو راه‌حلی برای مشکل آزاردهنده آلیس p پیدا کردند. آنها متوجه شدند تاباندن الکترون‌های کم انرژی بر لایه آلیس به منیزیم، خواص آن را به مراتب بهتر می‌کند [۹]. این نوآوری راه را برای ساختن پیوندگاه p-n باز کرد.

شوجی ناکامورا سال ۱۹۸۸ در شرکت شیمیایی نیچیا، شرکتی کوچک در توکوشیما ژاپن، کار می‌کرد. تخصص شرکت کار با فسفر بود. ناکامورا با GaAs کار کرده بود و اینک توجهش به GaN جلب شد. مانند تیم ناگویا او توانست بلورهایی با کیفیت بسیار خوب بسازد اما به جای لایه حائل AIN لایه حائل دیگری را به کار برد و پیش از رویاندن بقیه بلور در دمای زیادتر لایه نازکی از GaN را در دمای کم روی بستر نشانند [۱۰]. ناکامورا هنگامی که پژوهشگر میهمان در دانشگاه فلوریدا بود روش مشابهی را برای فرآیند رویاندن GaAs یاد گرفته بود. این روش در تولید کالای تجاری امروز به کار می‌رود.

در ۱۹۹۲ ناکامورا توانست این نکته را روشن کند که چرا تابش کم انرژی رفتار آلیس p را در پیوندگاه‌های p-n ای که آکاساکی و آمانو ساخته بودند بهتر می‌کند. پیشنهاد او این بود که ناخالصی‌های هیدروژن در فرآیند رویاندن وارد بلور می‌شوند و با آلیس Mg مجتمع‌هایی می‌سازند که آلیس را در آفریش حفره غیرفعال و بی‌اثر می‌کند. به نظر می‌رسید که تاباندن الکترون هیدروژن را بیرون می‌راند و اتم‌های پذیرنده Mg را فعال می‌کند. برای برطرف کردن مشکل هیدروژن ناکامورا روش دیگری اندیشید: گرمادهی به بلور پس از رویاندن در محیط بدون هیدروژن [۱۱]. امروز همین روش در تولید تجاری به کار می‌رود.

ناکامورا می‌گوید که سومین گام مهم در دست یافتن به دیود نورگسیل آبی پر بازده، نشان دادن لایه ایندیوم‌گالیم‌نیتريد برای باز ترکیب حفره و الکترون بود [۱۲]؛ این لایه ناحیه گسیلنده (فعال) را می‌سازد و بین نیم‌رسانای نوع n GaN و نیم‌رسانای نوع p GaN قرار می‌گیرد. ناهم‌آرایی بلور GaN و بستر یا قوت کبود، در رفتگی و نقص‌های فراوانی در پیوندگاه p-n بلور گالیم‌نیتريد به وجود می‌آورد و در ساختار InGaN نیز چگالی در رفتگی و نقص‌های بلور بسیار زیاد است اما لایه فعال InGaN بسیار درخشان‌تر از GaN تنها از کار در می‌آید.

ساخت دیود نورگسیل نخستین گام در ساختن لیزر است و هر دو گروه ناگویا و نیچیا کار به بار آوردن لیزر را ادامه دادند. ناکامورا در سال ۱۹۹۶ ساخت لیزر دیودی آبی GaN با عمر طولانی را گزارش کرد (فیزیکس تودی، ژوئیه ۱۳، ۲۰، ص ۱۸).

در آن زمان یکی از انگیزه‌های بسیار مهم در تلاش برای دستیابی به لیزر با طول موج کوتاه امکان کاربرد آن برای انبارش اپتیکی انبوه اطلاعات بود. اما جالب است که بدانیم امروز دیسک بلوری (Blu-ray) (پرتو آبی) که ساختش پس از پیدایش دیود نورگسیل آبی امکان پذیرفت با امکان پیاده‌کردن مستقیم اطلاعات ویدیویی از شبکه اینترنت در خطر انقراض قرار گرفته است. مارک کنیسل از دانشگاه فنی برلن می‌گوید تأثیر دیودهای نورگسیل آبی (و

بلور بدون نقص است زیرا بین شبکه بسترهای رویش در دسترس (معمولاً یا قوت کبود) و شبکه بلور گالیم‌نیتريد ناهم‌آرایی بزرگی وجود دارد. مشکل دوم افزودن آلیس نوع p به مقدار کافی و با غلظت زیاد بود.

در اواخر دهه ۱۹۵۰ گروه پژوهشی آزمایشگاه فیلپس آلمان الکترودرخشش در گستره گالیم‌نیتريدهایی با آلیس‌های مختلف را بررسی کردند [۴]. اما مشاهدات آنها محدود به پودر گالیم‌نیتريد متشکل از بلورهای بسیار کوچک بود زیرا نتوانستند برای ساخت پیوندگاه‌های p-n بلورهای بزرگ برویاند.

در دهه ۱۹۶۰ هربرت ماروسکا در آزمایشگاه‌های آرسی در پرینستون نیوجرسی موفق شد با استفاده از روش برآست فاز بخار هیدرید (HVPE) (hydride vapor phase epitaxy) لایه‌های تک بلور GaN را روی بستر یا قوت کبود برویاند [۵]. ماروسکا دریافت که این بلور خود به خود از نوع n است. اما ساختن بلور نوع p هنوز مشکل بزرگی بود. هنگامی که آرسی ماروسکا را برای تحصیلات تکمیلی به دانشگاه استنفورد فرستاد، ژاک پانکو و همکاران دیگر در گروه پژوهشی اش آلیس Zn به بلور GaN افزودند و دیودی ساختند که نور سبز گسیل می‌کرد [۶]. پس از آن ماروسکا آلیس با منیزیم را آزمو و در سال ۱۹۷۲ به گسیل آبی-بنفش دست یافت [۷].

لایه‌های منیزیم‌آلیس‌دهی که گروه پژوهشی آرسی رویانده بودند نارسا بود و حفره‌های آن نمی‌توانستند به حرکت درآیند. در نتیجه ساختاری که به دست آمده بود ساختار پیوندگاه p-n نبود و نظر گروه این بود که الکترودرخشش آبی نتیجه انگیزش اتم‌های الکترون پذیر منیزیم در پی برخورد با الکترون‌های داغ و سپس باز ترکیب بوده است. بازدهی تابش نیز کم بود و پیش از آنکه پژوهشگران بتوانند در کارشان پیش بروند آرسی برنامه پژوهش درباره GaN را تعطیل کرد.

ماروسکا اینک می‌گوید رویاندن بلورهای GaN با فناوری آن روز HPVE به نتیجه نمی‌رسید زیرا اتم‌های اکسیژن نیز به بلور افزوده می‌شد که شاید پس از ترکیب با یون منیزیم مانع از پذیرش الکترون در این یون‌ها می‌شد؛ ارسای زمانی کار پژوهش را تعطیل کرد که ماروسکا سیستمی را برای آزمو فنآوری نویددهنده جدیدتر برآست فاز بخار آلی فلزی (MOVPE) (metalorganic vapor phase epitaxy) آماده کرده بود.

## پاداش پایداری

با اینکه ابزارهایی مثل برآست فاز بخار آلی فلزی و برآست باریکه مولکولی وجود داشت، بیشتر پژوهش‌ها در زمینه GaN در میانه دهه ۱۹۷۰ متوقف شد. اما در ۱۹۷۳ آکاساکی که در آن زمان در مؤسسه پژوهشی ماتسوشیتا در توکیو کار می‌کرد این چالش را پذیرفت. پس از رفتن به دانشگاه ناگویا در ۱۹۸۱، آمانو و همکاران دیگر نیز به او پیوستند. با انجام آزمایش‌های متعدد این گروه پژوهشی موفق شد در سال ۱۹۸۶ بلوری با کیفیت عالی بسازد [۸]. نشان دادن لایه‌های آلومینیم‌نیتريد روی بستر رویش در دمای کم کلید حل مشکل است. پس از رسیدن به دمای رویش GaN روی لایه AIN بلورک‌های

**هیروشی آمانو** در سال ۱۹۶۰ در هاماماتسو ژاپن به دنیا آمد و مدرک کارشناسی و دکتری مهندسی خود را در سال ۱۹۸۹ از دانشگاه ناگویا دریافت کرد. در دانشگاه در مقام پژوهشگر وابسته به کار خود ادامه داد و در سال ۱۹۹۲ به دانشگاه می جو رفت و در سال ۲۰۰۲ به استادی رسید. در سال ۲۰۱۰ به دانشگاه ناگویا بازگشت و استاد دانشگاه شد.

**شوچی ناکامورا** در سال ۱۹۵۴ در ایواتای ژاپن به دنیا آمد. پس از دریافت مدرک کارشناسی ارشد از دانشگاه توکوشیما، در شرکت شیمیایی نیچیا مشغول به کار شد. در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۹ پژوهشگر مهمان دانشگاه فلوریدا بود. در سال ۱۹۹۴ از دانشگاه توکوشیما مدرک دکترا گرفت و در سال ۲۰۰۰ به دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا پیوست.

ترجمه نادر حیدری

### • Nobel Prize in Physics revognizes research leading to high-brightness blue LEDs

Barbara Goss Levi, *Physics Today* **67** (12), 14 (2014).

### مرجع‌ها

1. **K. Lehovec, C. A. Accardo, and E. Jamgochian**, *Phys. Rev.* **83** (1951), 603.
2. **J. R. Haynes**, *Phys. Rev.* **98** (1955), 1866.
3. **N. Holonyak Jr, and S. F. Bevacqua**, *Appl. Phys. Lett.* **1** (1962), 82.
4. **H. G. Grimmeiss and H. Koelmans**, *Z. Naturforsch.* **14** (1959), 264.
5. **H. P. Maruska and J. J. Tietjen**, *Appl. Phys. Lett.* **15** (1969), 327.
6. **J. I. Pankove, E. A. Miller, and J. E. Berkeyheiser**, *RCA Rev.* **32** (1971), 383.
7. **H. P. Maruska, W. C. Rhines, and D. A. Stevens**, *Mater. Res. Bull.* **7** (1972), 777; **H. P. Maruska, D. A. Stevenson**, (1973), 303. and **J. I. Pankove**, *Appl. Phys. Lett.* **22**
8. **H. Amano et al.**, *Appl. Phys. Lett* **48** (1986), 353.
9. **H. Amano et al.**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **28** (1989), L2112.
10. **S. Nakamura et al.**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **30** (1991), L1705; **S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **30** (1991), L1998.
11. **S. Nakamura et al.**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **31** (1992), 1258; **S. Nakamura et al**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **31** (1992), L139.
12. **S. Nakamura**, *Science* **281** (1998), 956.
13. **S. Nakamura et al.**, *Jpn. J. Appl. Phys.* **35** (1994), L74.
14. "Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2014," Swedish Royal Academy of Sciences, [http://www.kva.se/globalassets/priser/nobel/2014/fysik/sciback\\_fy\\_en.14.pdf](http://www.kva.se/globalassets/priser/nobel/2014/fysik/sciback_fy_en.14.pdf)

سفید) بر صنعت روشنایی بسیار بیشتر است چون می‌تواند به کاهش شدید مصرف انرژی در سراسر جهان منجر شود.

### جرقه و آتش

استیون دنبارس از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا کنفرانسی در باره روی سلنید در سال ۱۹۹۳ را به یاد دارد که «در بین هزاران پژوهشگر ماده ZnSe، تنها افراد سرشناسی که با GaN کار می‌کردند همین سه نفر بودند: آکاساکی، آمانو، و ناکامورا.» پس از شنیدن نتایج آنها خود دنبارس موضوع کارش را تغییر داد و پژوهش روی GaN را آغاز کرد و به نظر می‌رسد که تنها او نبود که چنین کرد: این سه پژوهشگر «جرقه‌ای بودند که آتش به پا کردند.» پژوهش شدت گرفت و از شدت آن تا کنون کاسته نشده است.

عملکرد دیودهای نورگسیل مرتباً بهتر می‌شود و پژوهشگران مشکلات مختلف مانند هزینه اولیه زیاد، کیفیت نور، و افت بازدهی با کشیدن جریان بیشتر را از سر راه برمی‌دارند (فیزیکس تودی، ژوئیه ۱۳، ص ۱۲).

علاوه بر کاربردها در صنعت روشنایی، گالیم‌نیتريد کاربردهای دیگر نیز پیدا می‌کند. به‌گفته نوبل جانسون، پژوهشگر مرکز پژوهشی پالوآلتو (PARC) (Palo Alto Research Center) یکی از شرکت‌های زیراکس، مدارگزين (switch) های گالیم‌نیتريد یکی از تحولات مهم است که «می‌تواند از نظر اهمیت کاربردی هم‌قدر کاربرد در صنعت روشنایی باشد.» پهنای شکاف نوار گالیم‌نیتريد برخاسته از پیوندهای قوی بین اتم‌های گالیم و نیتروژن، این ماده را برای مدارگزينی مناسب می‌کند. اومش می‌شیرا از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا توضیح می‌دهد که مدارگزين ابزاری است که در حالت «خاموش» ولتاژ را حفظ می‌کند و در حالت «روشن» جریان را عبور می‌دهد. پیوندهای قوی قابلیت ماده را برای حفظ ولتاژ و حالت‌گزينی سریع افزایش می‌دهد.

میشرا که شرکتی به نام ترانسفورم (Tranphorm) را برای ساخت ترانزیستور با گالیم‌نیتريد به راه انداخته است، می‌گوید که ده درصد برق امریکا در مدارگزينی، مثلاً برای تبدیل برق متناوب به برق مستقیم، مصرف می‌شود. مدارگزين‌های پربازده‌تر می‌تواند میزان مصرف را نصف کند.

### زندگی نامه برندگان

ایسامو آکاساکی در سال ۱۹۲۹ در چیران ژاپن متولد شد. در سال ۱۹۵۲ از دانشکده علوم دانشگاه کیوتو فارغ‌التحصیل شد و در شرکت کوگیو در کوبی شروع به کار کرد. در سال ۱۹۵۹ در مقام پژوهشگر وابسته به دانشگاه ناگویا پیوست و سپس مدرس شد. در سال ۱۹۶۴ از دانشگاه ناگویا مدرک دکتری گرفت و به شرکت برق صنعتی ماتسوشیتا رفت اما در سال ۱۹۸۱ به ناگویا بازگشت. در سال ۱۹۹۲ از ناگویا بازنشسته شد و استاد دانشگاه می‌جو شد. او عنوان استاد برجسته دانشگاه ناگویا را نیز دارد.