

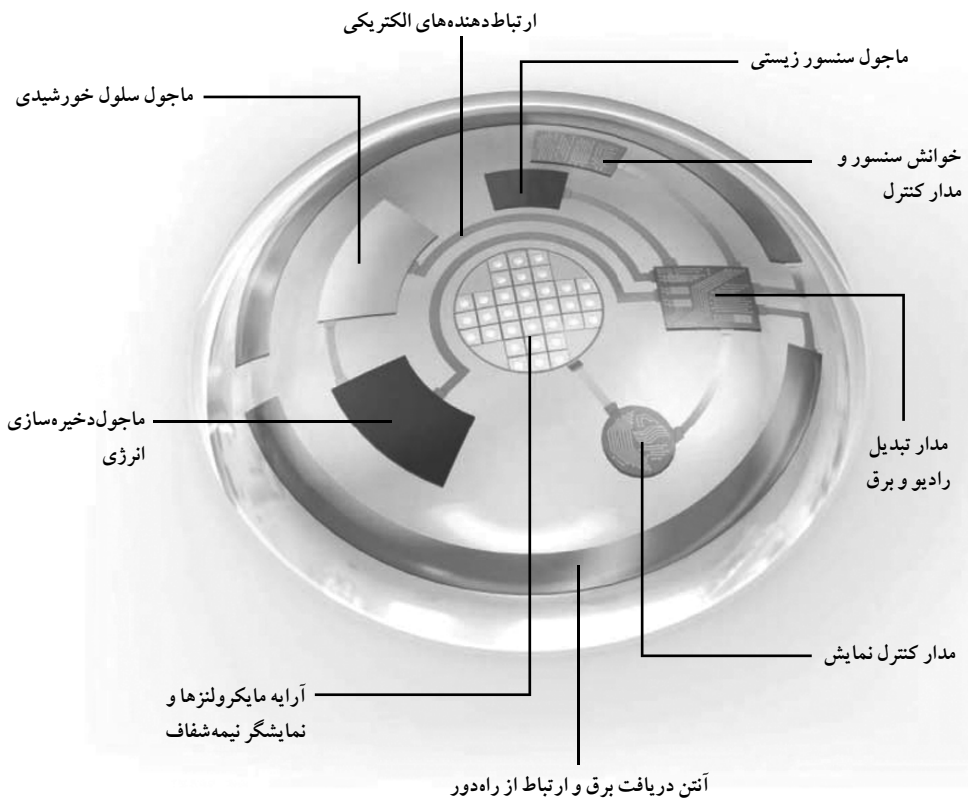
# فقط برای چشمانت

نسل جدید لنزهای تماسی که با مدارهای بسیار ریز و LED ساخته شده‌اند نوید دید بیومتریک را همراه آورده‌اند.

« نویسنده بابک. الف. پرویز » منبع: IEEE Spectrum، سپتامبر ۲۰۰۹ « ترجمه: احمد شریف پور

چشم انسان پایگاه دریافت و ادراک نیرومندی است که می‌تواند میلیون‌ها رنگ را ببیند. به سادگی برای جابه‌جایی بین شرایط نوری مختلف تنظیم می‌شود و با سرعتی بیش از اتصال‌های اینترنتی پر سرعت اطلاعات را به مغز منتقل می‌کند. اما چرا به همین بسنده کنیم؟ در سری فیلم‌های ترمیناتور شخصیت آرنولد شوارتزنگر دنیا را به همراه اطلاعاتی می‌بیند که به میدان دیدش افزوده شده‌اند. برچسب‌هایی مجازی که برداشت سایبورگ (عضوی ماشینی که به بدن انسان پیوند زده شده) را از محیط اطرافش بهبود می‌بخشد. شخصیت‌های داستان‌های علمی تخیلی ورنور وینگه، به جای تلفن‌های همراه هوشمند یا ایمپلنت‌های مغزی، از لنزهای تماسی الکترونیک برای دسترسی به اطلاعاتی استفاده می‌کنند که درست در برابر چشمانشان نمایش داده می‌شود.

## درخششی در چشم



ما لنزی با یک LED ساخته ایم که می توانیم آن را به صورت بی سیم با امواج RF روشن کنیم. آنچه ما تا کنون انجام داده ایم به دشواری می تواند نشان دهنده چیزی باشد که به زودی با این فناوری امکان پذیر خواهد شد.

**شکل ۱** در این شمای کلی از لنز، آنتن که در بخش پیرامونی قرار گرفته است، انرژی RF ارسالی از یک فرستنده قابل حمل جداگانه را جمع آوری می کند. مدارهای تبدیل نیرو، برق DC مورد نیاز سایر اجزا را فراهم کرده و دستوراتی را به مدارهای کنترل کننده تصویر ارسال می کنند. صفحه نمایش در مرکز لنز ممکن است شامل تعدادی LED باشد که بتوانند روشن و خاموش شوند یا از اجزایی LCD مانند ساخته شده باشد که شفافیت آن ها توسط مدار کنترل تغییر داده می شود. یک ماجول ذخیره انرژی - به عنوان مثال یک خازن با ظرفیت بالا - به یک سلول خورشیدی متصل شده است که می تواند انرژی اضافی را برای لنز فراهم کند. یک حسگر زیستی از سطح قرنیه نمونه برداری می کند، آن را تجزیه و تحلیل کرده و اطلاعاتی را برای واحد ارتباطات فراهم می کند که به یک کامپیوتر خارجی ارسال خواهند شد.

با روش های خاص ساخته می شوند) با لنز ترکیب می کنیم. این اجزا در نهایت شامل صدها LED خواهد بود که تصاویری نظیر کلمات، نمودارها و عکس ها را در برابر دیدگان ما به نمایش در خواهند آورد. سخت افزار استفاده شده در این لنزها نیمه شفاف است تا استفاده کنندگان بتوانند بدون برخورد با موانع یا گمراه شدن مسیر خود را در محیط اطراف ببینند. در بیشتر موارد قابل تصور، یک دستگاه مستقل و قابل حمل، اطلاعات قابل نمایش را برای مدار کنترل لنز ارسال می کند که این مدار هم اجزای اپتوالکترونیک را به کار خواهد انداخت.

این لنزها برای مفید بودن لازم نیست خیلی پیچیده باشند. حتی لنزی با یک پیکسل نیز می تواند به افراد با آسیب های شنوایی کمک کند یا به عنوان یک نشانگر بازی های کامپیوتری ترکیب شود. با رنگ های بیشتر و وضوح تصویر بالاتر، فهرست قابلیت های این لنز می تواند تا حدی توسعه یابد که نمایش متن، تبدیل

این رزها ممکن است دور از دسترس به نظر برسند، اما لنزهای تماسی با سیستم های توکار الکترونیکی ساده هم اکنون نیز در دسترس هستند. در حقیقت من و دانشجویانم تعداد محدودی از این دستگاه ها را در آزمایشگاهم در دانشگاه واشینگتن در سیاتل ساخته ایم. این لنزها هنوز دیدی شبیه دید عقاب یا زیرنویس را برای محیط اطراف فراهم نمی کنند. اما ما لنزی با یک LED ساخته ایم که می توانیم آن را به صورت بی سیم با امواج RF روشن کنیم. آنچه ما تا کنون انجام داده ایم به دشواری می تواند نشان دهنده چیزی باشد که به زودی با این فناوری امکان پذیر خواهد شد.

لنزهای تماسی معمولی پلیمرهایی با فرم های خاص هستند که دیدهای معیوب را اصلاح می کنند. برای تبدیل چنین لنزی به یک سیستم کاربردی و مدارهای کنترل، مدارهای ارتباطی و آنتن های مینیاتوری را با استفاده از اجزای اپتوالکترونیک (که

”

**لنزهای تماسی معمولی پلیمرهایی با فرم‌های خاص هستند که دیدهای معیوب را اصلاح می‌کنند. برای تبدیل چنین لنزی به یک سیستم کاربردی و مدارهای کنترل، مدارهای ارتباطی و آنتن‌های مینیاتوری را با استفاده از اجزای اپتوالکترونیک (که باروش‌های خاص ساخته می‌شوند) با لنز ترکیب می‌کنیم.**

“

گفتار به متن یا نمایش اشاره‌های یک سیستم مسیریابی را نیز شامل شود. با پردازش ساده تصاویر و دسترسی به اینترنت، یک نمایشگر از جنس لنزهای تماسی می‌تواند دنیای جدیدی را از اطلاعات بصری فراهم کند که دیگر از محدودیت‌های نمایشگرهای فیزیکی رها شده است.

در کنار بهبود دید، نظارت غیرمخرب بر اطلاعات زیستی و نشانگرهای سلامت می‌تواند یکی از بزرگ‌ترین بازارهای آینده این فناوری باشد. ما تعدادی حسگر ساده ساخته‌ایم که می‌تواند غلظت یک مولکول نظیر گلوکز را تشخیص دهند.

حسگرهایی که در داخل لنزها کار گذاشته شده‌اند، به استفاده‌کنندگان مبتلا به دیابت اجازه می‌دهند بدون نیاز به سوراخ کردن انگشتانشان میزان قند خون خود را تحت کنترل داشته باشند. ردیاب‌های گلوکز که ما اکنون در حال ارزیابی آن‌ها هستیم، بارقه‌ای هستند از آنچه پنج یا ده سال آینده ممکن خواهند بود.

لنزهای تماسی روزانه توسط بیش از صد میلیون نفر استفاده می‌شود و این لنزها یکی از محدود محصولات با بازار گسترده هستند که برای مدت زمان طولانی -از طریق مایعات چشم- با اندام‌های درونی بدن در تماس هستند. وقتی شما آزمایش خون می‌دهید، به احتمال دگر بسیاری از فاکتورهای زیستی شما را که در سلول‌های زنده سطح چشم نیز یافت می‌شوند و غلظت‌شان ارتباط نزدیکی با میزان آن‌ها در خون شما دارد، اندازه‌گیری می‌کند.

به عنوان مثال، یک لنز تماسی با تنظیم مناسب می‌تواند میزان کلسترول، سدیم یا پتاسیم را اندازه‌گیری کند. در ترکیب با یک فرستنده بی‌سیم، لنز می‌تواند بدون نیاز به سوزن یا مراحل شیمیایی آزمایشگاهی و با احتمال خطای کمتر؛ اطلاعات را درجا به پزشکان یا پرستاران مخابره کند.

سه چالش اساسی در راه ساخت یک لنز چند منظوره وجود دارد: نخست این که فرآیند ساخت

بسیاری از قطعات لنز و ریز سیستم‌های آن با یکدیگر و همین‌طور با پلیمر شکننده لنز ناسازگار است. برای گذر از این مشکل، من و همکارانم تمام ابزارهای مورد نیاز خود را از ابتدا طراحی و تولید کردیم.

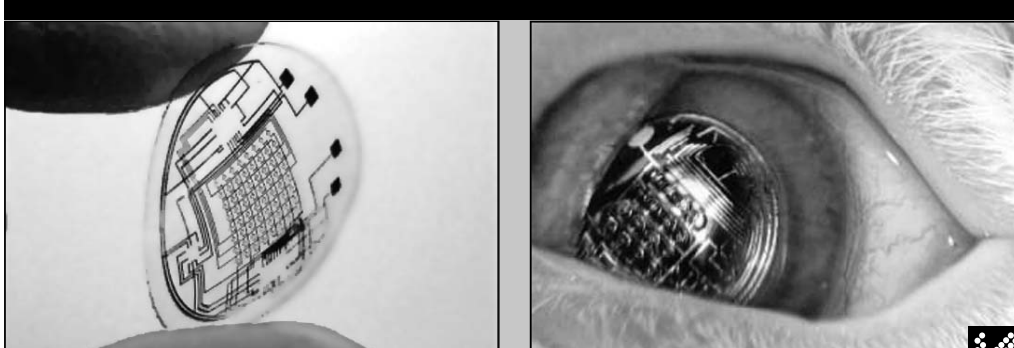
برای ساخت اجزای مربوط به مدارها و LEDها ما از دماهای بالا و مواد شیمیایی خورنده استفاده می‌کنیم، بنابراین، نمی‌توانیم به‌طور مستقیم آن‌ها را روی لنز به‌وجود بیاوریم. این موضوع چالش دوم را به ما گوشزد می‌کند. مشکل موجود این است که تمام قطعات اصلی لنز باید به‌صورت مینیاتوری و فشرده در سطحی حدود ۱/۵ سانتی‌متر مربع از یک پلیمر شفاف و قابل انعطاف مجتمع شوند. ما هنوز به‌طور کامل این مشکل را حل نکرده‌ایم؛ اما فرآیند تجمیع مخصوص خودمان را تا آنجا توسعه داده‌ایم که ما را قادر می‌سازد اجزای مختلف و متنوعی را روی یک لنز نصب کنیم. مشکل آخر و نه‌چندان کم‌اهمیت نیز این است که محصول نهایی باید کاملاً برای چشم بی‌ضرر و امن باشد. به عنوان نمونه، LED را در نظر بگیرید.

بیشتر LEDهای قرمز از ترکیبات آرسنید گالیوم و آلومینیوم ساخته می‌شوند که ماده‌ای سمی است. پس قبل از این که یک LED بتواند داخل چشم قرار گیرد باید با ماده‌ای سازگار با بدن پوشش داده شود.

تاکنون در کنار آشکارساز گلوکز، ما توانسته‌ایم تعداد کمی حسگرهای زیستی در مقیاس نانو را به‌صورت گروهی تولید کنیم که با سیگنال‌های الکتریکی به تعدادی از مولکول‌های هدف واکنش نشان می‌دهند. ما همچنین توانسته‌ایم تعدادی از قطعات مقیاس میکروسکوپی را بسازیم که شامل ترانزیستور سیلیکونی تک کریستالی، تراشه‌های رادیویی، آنتن‌ها، مقاومت‌های انتشاری، LEDها و تشخیص‌دهنده‌های نور سیلیکونی می‌شوند.

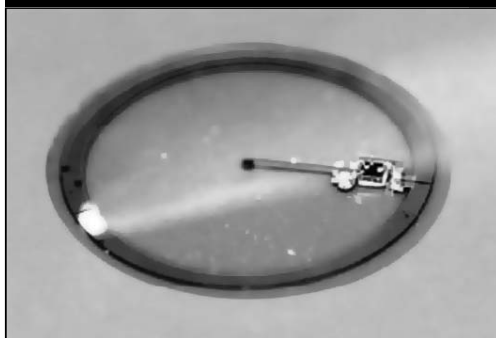
همچنین تمام اتصال‌دهنده‌های فلزی میکرومتری‌ای را که برای ساخت مدارهای روی لنز ضروری هستند،

## دید دوم



شکل ۲ در آزمایش‌های اخیر ما، خرگوش‌ها لنزهایی با مدارهای فلزی را در مدت زمان‌هایی بیست دقیقه‌ای بدون هیچ عارضه‌ای استفاده کردند.

## در مرکز دید



شکل ۳ نمونه اولیه لنز تعداد زیادی اتصال دهنده، قطعات سیلیکونی تک کریستال و قطعات نیمه رسانای ترکیبی را در خود جای داده است (شکل سمت چپ). لنز نمونه دیگر دارای یک تراشه رادیویی و آنتن و یک LED قرمز است (شکل سمت راست).

حسگرهایی که در  
داخل لنزها کار  
گذاشته شده‌اند، به  
استفاده کنندگان  
مبتلا به دیابت  
اجازه می‌دهند  
بدون نیاز به  
سوراخ کردن  
انگشتان میزان  
قند خون خود را  
تحت کنترل داشته  
باشند. ردیاب‌های  
گلوکز که ما  
اکنون در حال  
ارزیابی آنها  
هستیم، بارقه‌ای  
هستند از آنچه پنج  
یاد سال آینده  
ممکن خواهند  
بود.

بسیار کمتری نیاز خواهد بود. اما چگونه باید از لنز نور به دست بیاوریم؟ ما دوروش ساده را مدنظر قرار داده‌ایم. گزینه اول، ساخت یک صفحه نمایش با ردیف پیکسل‌هایی از جنس LED روی لنز است که ما آن را صفحه نمایش فعال می‌نامیم.

روش جایگزین دیگر استفاده از پیکسل‌های غیرفعال است که به جای تولید نور تنها نور ورودی را تغییر می‌دهند. به صورت ساده، این پیکسل‌ها با تغییر رنگ و شفافیت خود در برابر منبع نور تصویر را به وجود می‌آورند (درست شبیه LCDها که در آنها شاترهای کوچکی از جنس کریستال مایع، نور را از فیلترهای قرمز و سبز و آبی عبور می‌دهند یا بلوک می‌کنند).

برای پیکسل‌های غیرفعال در یک لنز منبع نور در حقیقت نور محیط خواهد بود. رنگ‌ها در این سیستم به دقت یک LCD با نور پس زمینه سفید نخواهد بود، اما تصاویر می‌توانند کاملاً واضح و در نهایت قابل تشخیص باشند.

ما بیشتر روش پیکسل‌های فعال را دنبال کرده‌ایم و لنزهایی ساخته‌ایم که می‌توانند یک چیدمان هشت در هشت از LEDها را در خود جای دهند. در حال حاضر اتصال پیکسل‌های فعال به لنز ساده‌تر است. اما استفاده از پیکسل‌های غیرفعال نیاز لنز به انرژی را به شدت کاهش می‌دهد به شرطی که بتوانیم روشی بیابیم که به وسیله آن پیکسل‌هایی کوچک‌تر، با کنتراست بالاتر و با قابلیت واکنش سریع‌تر به سیگنال‌های خارجی بسازیم.

حال ممکن است این سؤال پیش بیاید که شخص استفاده‌کننده از لنز چگونه می‌تواند روی تصویری که دقیقاً در سطح چشم به وجود آمده فوکوس کند. زیرا یک چشم سالم و نرمال نمی‌تواند روی اشیایی که در فاصله‌ای کمتر از ده سانتی‌متر از قرنیه قرار دارند، فوکوس کند. LEDها به تنهایی فقط یک لکه نورانی مبهم در میدان دید استفاده‌کننده به وجود می‌آورند. یک

تولید کرده‌ایم و نشان داده‌ایم، این قطعات ریز می‌توانند از طریق یک فرآیند خود اتصالی، روی لایه‌های پایه غیرمعمول نظیر پلاستیک یا شیشه‌های نازک، شفاف و قابل انعطاف مجتمع شوند. ما نمونه لنزهایی را با یک LED، یک تراشه رادیویی ریز و یک آنتن ساخته‌ایم و توانستیم انرژی را به صورت بی‌سیم برای روشن کردن LED به این لنزها منتقل کنیم. برای این که نشان دهیم این لنزها می‌توانند ایمن و بی‌خطر باشند، آنها را با یک لایه پلیمر سازگار با ارگانسیم‌های زنده پوشش داده‌ایم و روی خرگوش‌های زنده با موفقیت آزمایش کرده‌ایم.

## دستاوردهایی

دیدن نور (نور LED) دستاورد معقولی است. اما هدف نهایی دیدن چیزی مفید از طریق لنز است. خوشبختانه چشم انسان دستگاه تشخیص نور بسیار حساسی است. در ظهر یک روز بدون ابر، پرتوهای نوری فراوانی از مردمک چشم شما عبور می‌کنند و در نتیجه دنیا بسیار روشن و درخشان به نظر می‌رسد.

اما چشم به آن همه انرژی نورانی احتیاجی ندارد و می‌تواند فقط با عبور چند میکرووات انرژی از عدسی‌اش تصاویر را دریافت کند. به عنوان مثال، یک نمایشگر LCD دستگاه بسیار پر مصرف و کم بازدهی است.

تعداد بسیار زیادی فوتون تابش می‌کند، اما تنها بخش اندکی از این فوتون‌ها وارد چشم شده و روی شبکیه تصویر را به وجود می‌آورند. اما وقتی صفحه نمایش به طور مستقیم روی قرنیه شما قرار گرفته باشد، تک تک فوتون‌های تولیدشده توسط آن می‌توانند به ایجاد تصویر کمک کنند.

زیبایی این شیوه کاملاً واضح است: از آنجا که نور به جای یک منبع خارجی به طور مستقیم از روی مردمک چشم تابیده می‌شود، برای تشکیل تصویر به انرژی

”

فرآیند ساخت  
سیاری از  
قطعات لنز و  
ریز سیستم‌های  
آن با یکدیگر  
و همین‌طور با  
پلیمر شکننده لنز  
ناسازگار است.  
برای گذر از  
این مشکل، من  
و همکارانم تمام  
ابزارهای مورد  
نیاز خود را از ابتدا  
طراحی و تولید  
کردیم.

“

راه حل، به کار بردن چیدمانی از لنزهای کوچک تر است که بر سطح لنز اصلی قرار گرفته‌اند. این نوع چیدمان میکرو لنزها قبلاً هم برای فوکوس کردن پرتوهای لیزر در لیتوگرافی نوری یا فتولیتوگرافی جهت ایجاد الگوهای نورانی روی سطوح پایدار حساس به نور مورد استفاده قرار گرفته است.

در یک لنز تماسی، بین هر پیکسل یا هر گروه کوچک پیکسل‌ها و چشم یک لنز در نظر گرفته می‌شود. ایجاد فاصله‌ای معادل ۳۶۰ میکرومتر بین پیکسل و لنز کافی است تا تصویر مجازی حاصل دورتر تشکیل شده و چشم بتواند به سادگی روی آن فوکوس کند. بسته به لنز به کار رفته، برای استفاده کننده چنین به نظر خواهد رسید که تصویر در فاصله‌ای حدود نیم متری قرار گرفته است.

راه دیگر ایجاد تصاویر واضح، استفاده از میکرو لیزر یا آرایه‌ای از میکرو لیزرهای اسکن کننده (پویسگر) است. پرتوهای لیزر بسیار کمتر از نور LEDها پراکنده می‌شوند. بنابراین، تصاویر به مراتب واضح تری ایجاد خواهند کرد. نوعی آینه هدایت کننده پرتوهای لیزر آبی، قرمز و سبز را اسکن خواهد کرد و تصاویر را به وجود خواهد آورد.

وضوح تصویر در مرحله اول محدود به نازکی پرتوهای لیزر خواهد بود و لیزرها به یقین باید بسیار کوچک باشند که این خود چالش بزرگی است. به هر حال، استفاده از لیزر این اطمینان را فراهم می‌کند که تصویر همواره در محدوده فوکوس خواهد بود و نیاز به میکرو لنزها را از بین می‌برد.

برای ساخت صفحه نمایش چه از لیزر استفاده شود و چه از LED سطحی که روی لنز تماسی برای قرار دادن اجزاء اپتوالکترونیک در دسترس است به شدت کوچک خواهد بود و به زحمت قطری معادل ۱/۲ میلی‌متر خواهد داشت. صفحه نمایش همچنین باید نیمه شفاف باشد تا استفاده کننده بتواند محیط اطراف را نیز ببیند. فراهم کردن این شرایط اگر چه بسیار دشوار و مشکل است، اما غیر ممکن نیست.

تراشه‌های LED که ما تاکنون ساخته‌ایم، سیصد میکرومتر قطر دارند و قسمت ساطع کننده نور هر تراشه، حلقه‌ای به پهنای شصت میکرومتر و شعاع ۱۱۲ میکرومتر است. ما تلاش می‌کنیم که این مقدار را کوچک تر کنیم. هدف نهایی ما آرایه‌ای متشکل از ۳۶۰۰ پیکسل، هر یک به عرض ده میکرومتر است که فاصله آن‌ها با یکدیگر نیز ده میکرومتر باشد.

یکی دیگر از مشکلات قرار دادن صفحه نمایش روی چشم، جلوگیری از جابه‌جا شدن آن نسبت به مردمک چشم است. لنزهای معمولی که برای اصلاح آستیگماتیسم به کار می‌روند، در قسمت پایین کمی سنگین تر هستند تا لنز را با چند درجه کم و زیاد در

جهت معین نگه دارند. من تصور می‌کنم که این تکنیک می‌تواند جلوی جابه‌جا شدن لنز را هم بگیرد (مگر این که استفاده کننده زیاد پلک بزند).

همانند تمام تجهیزات الکترونیکی قابل حمل، این لنزها هم باید به وسیله منبع مناسب تغذیه شوند، اما در میان گزینه‌های موجود هیچ کدام چندان جالب توجه نیستند. محدودیت فضا بسیار جدی است.

به عنوان مثال، باتری‌ها را به سختی می‌توان تا این اندازه مینیاتوری کرد، آن‌ها خود نیز نیاز به شارژ دارند و حتی این تصور را ایجاد می‌کنند که به عنوان مثال، بعد از یک تصادف یون‌های لیتیوم در چشم شناور خواهند شد. راهبرد بهتر استفاده از نیروی اینرسی محیطی (به عنوان مثال با تبدیل نوسانات محیطی به انرژی) و با دریافت نیروی خورشیدی یا RF است. بیشتر طرح‌های جمع‌آوری نیروی اینرسی، توان خروجی کم و غیر قابل قبولی دارند و بنابراین ما برای تأمین نیروی لنزهایمان روی انرژی خورشیدی و RF تمرکز کردیم.

تصور کنید که یک سانتی‌متر مربع از لنز را برای تولید نیرو در نظر گرفته‌ایم و این که این فضا را به سلول‌های خورشیدی اختصاص داده‌ایم. در فضای داخلی حدود سیصد میکرو وات انرژی از لنز عبور خواهد کرد و قاعدتاً انرژی در فضای خارجی به مراتب بیشتر خواهد بود و اگر بازده تبدیل انرژی را ده درصد در نظر بگیریم، به این معنی خواهد بود که اگر کل سیستم‌های لنز در فضای داخلی کار کنند، سی میکرو وات انرژی الکتریکی در اختیار خواهیم داشت.

دریافت انرژی RF از منبعی که به عنوان مثال در جیب استفاده کننده قرار گرفته است این اعداد را تا حدودی افزایش می‌دهد. در این سیستم سطح لنز به جای سلول‌های فوتوالکترونیک آنتن‌هایی را در خود جای خواهد داد. میزان خروجی آنتن به حداکثر شدت میدان مجاز در فرکانس‌های مختلف بستگی خواهد داشت. در باند امواج میکرو ویو، بین ۱/۵ تا ۱۰۰ گیگاهرتز، مقدار تابشی که برای انسان بی‌خطر اعلام شده برابر یک میلی وات بر سانتی‌متر مربع است. ما برای نمونه‌هایمان نخستین نسل از آنتن‌هایی را تولید کرده‌ایم که می‌توانند در محدوده نهمصد مگاهرتز تا شش گیگاهرتز کار کنند و اکنون نیز روی نسخه‌هایی با بازده بالاتر کار می‌کنیم. بنابراین، در آن یک سانتی‌متر مربع از سطح لنز، بسته به بازده آنتن و مدار تبدیل، قادر خواهیم بود حداقل معادل صد میکرو وات انرژی به دست بیاوریم.

### واپسین قدم

پس از قابل استفاده کردن تمام این زیر سیستم‌ها چالش نهایی جای دادن همه آن‌ها روی یک قرص

کوچک پلیمر است. فهرست اجزایی را که باید در لنز جای دهیم به یاد بیاورید: ریز سازه‌های فلزی برای ساخت آنتن، نیمه رساناهای مرکب برای ساخت اجزای اپتوالکترونیک، مدارهای پیشرفته تکمیلی از جنس نیمه رساناهای اکسید فلزی برای ارتباطات RF و کنترل‌های با توان کم، ترانسفورمرها و تقویت کننده‌های میکروالکترومکانیکی برای تنظیم فرکانس ارتباطات RF و بالاخره سنسورهای سطحی که به شرایط بیوشیمیایی محیطی واکنش نشان می‌دهند.

سیستم تولید نیمه رسانایی که به طور معمول برای ساخت بسیاری از این قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، در اینجا کاربردی نخواهد داشت، زیرا هم به لحاظ دما و هم به لحاظ شیمیایی با ماده پلیمری و قابل انعطاف لنزهای تماسی ناسازگار است. برای حل این مشکل ما به صورت مستقل بیشتر این اجزای ریز را روی ویفرهایی از جنس سیلیکون روی لایه عایق تولید کردیم.

همچنین LEDها و برخی سنسورهای زیستی را نیز روی لایه‌های دیگری به وجود آوردیم. هر یک از این اجزای اتصال دهنده‌های فلزی دارند و همه به شکل یکسانی مدار کشی شده‌اند. نتیجه نهایی مجموعه‌ای از قطعات ریزپودری شکل است که آن‌ها را در لنز جای داده‌ایم.

ما ابتدا از زیر لایه‌ای که اجزای ریز را در خود جای می‌دهد، شروع کرده‌ایم: برشی به ضخامت صد میکرومتر از پلیمر پلی اتیلن تیرفتالات. این زیر لایه دارای مدارهای فلزی داخلی و تعدادی محل اتصال است. این محل‌های اتصال در حقیقت حفره‌هایی به عمق حدود ده میکرومتر دارند که در آن‌ها اتصال بین اجزای ریز و مدار پایه برقرار می‌شود. در ته هر حفره استخری کوچک از آلایژی با دمای ذوب پایین قرار دارد که بعدها دو اتصال دهنده را با لحیم‌های میکرومتری به هم متصل می‌کند.

سپس زیر لایه پلاستیکی لنز را در یک محیط واسط مایع غوطه‌ور می‌کنیم و اجزا و قطعات ریز را روی آن شناور می‌سازیم. حفره‌های اتصال هر کدام به گونه‌ای برش داده شده‌اند که با فرم هندسی قطعه مربوط به خود جفت شوند و بنابراین، یک قطعه مثلثی حفره مثلثی مربوط به خود را می‌یابد، یک قطعه دایره‌ای در حفره‌ای دایره‌ای فرو می‌رود و الی آخر.

وقتی یک قطعه در حفره مکمل خود قرار گرفت، یک بالشتک فلزی در سطح قطعه با آلایژ مایع داخل حفره تماس پیدا می‌کند و بین آن‌ها نیروی چسبندگی به وجود می‌آید که قطعه را در جای خود نگاه خواهد داشت. وقتی تمام قطعات حفره مناسب خود را یافتند، دما را کاهش می‌دهیم تا آلایژ انتهای حفره‌ها


جامد شود. این مرحله اتصال مکانیکی و الکتریکی بین قطعات، اتصال دهنده‌ها و لایه زیرین را محکم خواهد کرد.

قدم بعدی این است که اطمینان حاصل کنیم، تمام اجزای مضر احتمالی که تاکنون به کار برده‌ایم، کاملاً بی‌خطر و مناسب استفاده هستند. لنزهایی که ما تاکنون تولید کرده‌ایم شبیه نمونه لنزهای موجود در مقابل هوا نفوذپذیر هستند، با وصله‌هایی از موادی با نفوذپذیری کمتر که قطعات الکترونیک را در بر گرفته‌اند. ما قطعات عملکردی لنز را با پلی متیل متاکریلات (پلیمری که در ساخت نسل قبلی لنزهای تماسی به کار می‌رفت) پوشش داده‌ایم.

سؤال بعدی تعامل بین حرارت و نور با چشم است. نه تنها مصرف انرژی سیستم به واسطه محدودیت منابع باید کم باشد، بلکه باید از ایجاد دمای بالا که برای چشم مضر است نیز جلوگیری شود. بنابراین، دما باید همواره کمتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شود. ما باید این موضوع را بیشتر مورد بررسی قرار دهیم، اما تحلیل‌های اولیه حاکی از این است که دما مشکل بزرگی ایجاد نخواهد کرد.

تمام فناوری‌های اولیه مورد نیاز برای ساخت لنزهای تماسی عملکردی در دسترس هستند. ما نمونه‌های اولیه‌مان را روی حیوانات امتحان کرده‌ایم تا نشان دهیم که این پلتفرم ایمن خواهد بود. آنچه اکنون باید انجام دهیم این است که نشان دهیم تمام زیر سیستم‌ها با یکدیگر به درستی کار می‌کنند، برخی قطعات را باید هنوز کوچک‌تر کنیم و دریافت‌کننده نیروی RF را برای بازده بیشتر و کار در فاصله‌هایی بیش از چند سانتی‌متر کنونی بهبود بخشیم.

همچنین باید دستگاه مکملی بسازیم که تمام محاسبات و پردازش تصویر مورد نیاز را انجام دهد تا بتوانیم ثابت کنیم که سیستم می‌تواند تصاویر دلخواه ما را ایجاد کند. ما از یک محصول بسیار ساده، لنزی تنها با یک منبع نور شروع کرده‌ایم و در نظر داریم کار را تا آنجا ادامه دهیم که بتوانیم لنزهای پیچیده‌ای بسازیم که قابلیت نمایش تصاویر کامپیوتری رنگی با کیفیت بالا روی میدان دید واقعی کاربر را داشته باشند.

رسالت اصلی تحقیق ما سیستم نهایی‌ای که می‌سازیم، یک نمایشگر یا یک سنسور زیستی یا هر دو نخواهد بود. ما آینده‌ای را می‌بینیم که در آن لنزهای تماسی کم‌اهمیت معمول به یک پلتفرم واقعی، درست مانند آی‌فون تبدیل شوند، با تعداد زیادی توسعه‌دهنده که ایده‌ها و اختراعات خود را با سایرین به اشتراک می‌گذارند. تا آنجا که به ما مربوط است، قابلیت‌های این سیستم تا جایی که چشم کار می‌کند و فراتر از آن امتداد خواهد داشت. 

تمام فناوری‌های اولیه مورد نیاز برای ساخت لنزهای تماسی عملکردی در دسترس هستند. ما نمونه‌های اولیه‌مان را روی حیوانات امتحان کرده‌ایم تا نشان دهیم که این پلتفرم ایمن خواهد بود.

