

Kristal Silisyum Güneş Gözeleri: En Çok Bildiğimiz Fotovoltaik Dönüştürücü

Fotovoltaik güneş enerjisi denince akla ilk gelen kristal silisyum teknolojisidir. Yerkabuğunda en çok bulunan ikinci element olan silisyum (Si) akıllı bulaşık makinelerinden bilgisayar mikroişlemcilerine, cep telefonlarından uydu alıcılara, günümüzde kullanılan çoğu cihazın elektronik devrelerinin temelini oluşturur. Günümüz teknolojisinin kalbi olarak nitelendirebileceğimiz bu yarı iletken, ucuz ve verimli güneş gözeleri üretmek için de biçilmiş kaftandır. Bu bölümde güneş gözelerinin silisyum madeninden güneş tarlalarına olan yolculuğunu bulacaksınız.



Kumdan silisyuma

Fotovoltaik güneş gözeleri yapımında kullanılan silisyum, yerkabuğunun % 27'sini oluşturan ve kum olarak da bildiğimiz silisyum oksit (SiO_2) madeninden elde edilir. Silisyum oksidin yüksek sıcaklık fırınlarında (1900°C) karbon ile girdiği tepkimeler sonucunda %98 saflıkta silisyum (Si), yan ürünler olarak da karbondioksit (CO_2) ve karbon monoksit (CO) elde edilir. Daha sonra çeşitli saflaştırma işlemlerinden geçirilen silisyum % 99,99'un üzerinde saflığa ulaşarak silisyum pul yapımı için hazır hale gelir.

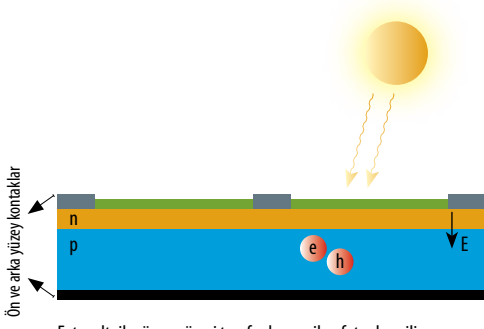
Saflaştırmanın ardından 1400°C sıcaklığa çıkarılıp eriyik hale getirilen silisyumdan, farklı yöntemlerle kontrollü bir biçimde soğutulmuş çoklu kristal veya tek kristal kütükler elde edilir. Oluşturulan bu kütükler tel testerele yardımı ile dilimlenerek güneş gözelerinin altyapısı olan kristal silisyum pullar üretilir.

Kristal silisyum güneş gözelerinin üretimi

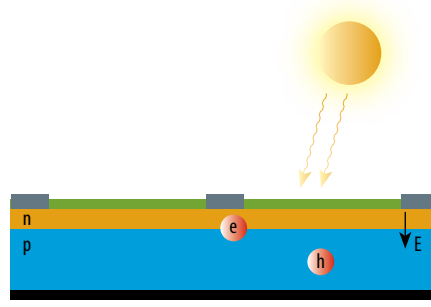
Tel testere ile kesim sırasında silisyum pulların yüzeylerinde oluşan mikro çatlaklar, elektrik yüklerin göze yüzeyinde kaybolmasına neden olarak performansta düşüşe neden olur. Bu çatlakların temizlenmesi amacıyla üretim hattına giren silisyum pullar ilk olarak bazik bir solüsyon için de tıraşlanarak pürüzsüz ve kusursuz bir yüzey elde edilir.

Güneş gözelerinin yüzeyine gelen ışınların belirli bir kısmı, göze yüzeyinden yansıyarak atmosfere geri döner. Bu yansıma miktarı ne kadar az olursa, göze içine giren ışık miktarı da o kadar fazla olacak ve gözeden alınan akım miktarı da bir o kadar artacaktır. Bu amaçla üretimin ikinci aşaması olarak silisyum pulların yüzeylerinde mikro boyutta piramitler oluşturulur. Bu piramitler, yüzeyden yansıyan ışığı tekrar göze yüzeyine yönlendirerek gelen ışığın daha verimli kullanılmasını sağlar.

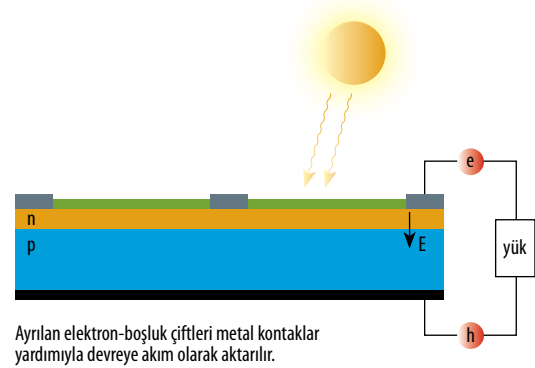
Kristal Silisyum Güneş Gözeleri Nasıl Çalışır?



Fotovoltaik güneş gözesi tarafından emilen fotonlar, silisyum kristalindeki elektronları uyatarak, elektron-boşluk çiftleri oluşturur. "Boşluk", silisyum kristalinde uyanılarak üst seviyeye çıkan negatif yüklü elektronun ardında bıraktığı pozitif yüke verilen isimdir.



Kristal içinde serbestçe hareket eden elektron-boşluk çifti, p-n eklemi civarında oluşan elektrik alan sayesinde birbirinden ayrılır ve elektron n tipi bölgeye, boşluk da p tipi bölgeye doğru yol alır. Buna fotovoltaik etki denir.



Ayrılan elektron-boşluk çiftleri metal kontaktlar yardımıyla devreye akım olarak aktarılır.

Güneş gözeleri ışığın fotovoltaik etki ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi esasına dayanarak çalışır. Fotovoltaik etkinin gözlemlenebilmesi için güneş gözesi içinde, kendiliğinden oluşmuş, sabit bir elektrik alan bulunması gerekir. Güneş gözesinin kalbi olarak da düşünebileceğimiz bu elektrik alanın oluşturulması için silisyum pullar üzerinde katkılama işlemleri yapılır. Katkılama esnasında bor ile katkılanmış olan (p-tipi) silisyum pul, 850-900°C sıcaklıkta fosfor içerikli bir gaz altında fırınlanır ve böylece pulun ön yüzeyi, difüzyon mekanizması sayesinde fosfor katkılanmış hale (n-tipi) dönüşür. Katkılama sonucunda silisyum pullarda p-n eklemi yani diyet yapısı sağlanmış olur.

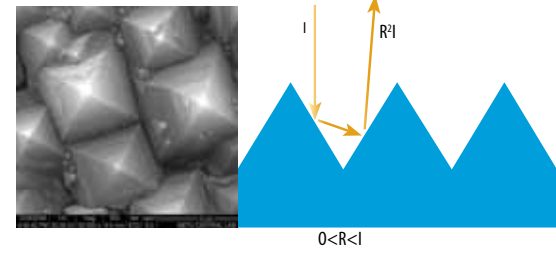
Katkılama ardından, güneş gözelerine bilinen mavi rengini veren yansıma engelleyici kaplama işlemi uygulanır. Yansıma engelleyici kaplamalar, silisyum yüzeyinden ve kaplama yüzeyinden yansıyan güneş ışınlarının yıkıcı girişime uğraması

ve böylece göze yüzeyinden yansıyan ışın miktarının en aza indirilmesi esasına dayanır. Bu amaçla pul yüzeyine plazma teknikleri kullanılarak ince Si_3N_4 filmler kaplanır. Bu kaplama, görünür dalga boylarından sarı ışık için yıkıcı girişim koşullarını sağlarken, tayfın mavi kısmına doğru yapıcı girişim koşullarını sağlar ve bu yüzden güneş gözeleri mavi dalga boylarını daha fazla yansıtarak alışılmış rengini alır.

Diyot özelliği kazanan ve yansıma engelleyici işlemlerden geçen güneş gözesi artık ışık altında ön ve arka yüzeyi arasında bir potansiyel fark oluşturabilecek hale ulaşmış durumdadır. Bu andan itibaren yapılması gereken, ön ve arka yüzeyden elektrik kontaktlar olarak, göze tarafından üretilen akımı kullanmaktır. Bu amaçla güneş gözesinin ön yüzeyi gümüş, arka yüzeyi ise alüminyum metalleri ile kaplanır. Gözenin ön yüzeyi, Güneş'ten gelen ışığı kullanabilmesi için kısmi olarak metal kaplanır. Arka yüzey ise Güneş'e bakmadığı için tamamen kaplanarak kontak alma işlemi tamamlanmış olur.

Güneş gözesinin ön ve arka yüzeyi, aralarında potansiyel bir fark bulunan iki elektriksel kutup halindedir. Göze üretimi sırasında meydana gelen çeşitli aksaklıklar, ön ve arka yüzey arasında pul kenarlarında kısa devrelerin oluşmasına neden olarak göze performansını düşürür. Göze üretiminde son aşama olarak bu kaçaklar

Mikro Piramitler



Yüzey pürüzlendirilmesi ile piramit yapısı oluşturulan silisyum güneş gözesi yüzeyinin elektron mikroskobu ile alınan görüntüsü (Sağda) Göze üzerine I yoğunluğu ile gelen güneş ışınları yüzeyden $R \times I$ yoğunluğuyla geri yansır. Burada R silisyum malzemesinin yansıma katsayısıdır ve 0 ile 1 arasında değişir. Piramitler sayesinde yüzeyden yansıyan güneş ışınları tekrar göze yüzeyine yönelir ve sonuç olarak yansıyan yoğunluk $R^2 \times I$ değerine düşer. Örneğin yansıma katsayısı 0,4 olan bir yüzeye gelen 100 fotonun ilk olarak 40 tanesi yansıyacak, piramit yüzey sayesinde tekrar yüzeye çarpan 40 foton yine 0,4'lük bir yansıma ile yüzeyden 16 foton olarak ayrılacak. Sonuç olarak gelen 100 fotonun sadece 16 tanesi yansırken kalan 84 foton göze tarafında hapsedilecek. Düz bir yüzeyimiz olsaydı yüzeyden 40 foton yansıyacak ve göze tarafından sadece 60 foton hapsedilebilecekti. (Solda)

giderilir. Bu amaçla güneş gözesinin kenarlarında, güçlü bir lazer ışını ile derin oyuklar açılır ve böylece ön ve arka yüzey birbirinden tamamen izole edilir.

Artık göze elektrik üretimine hazırdır. Üretimi tamamlanan güneş gözeleri, güneş simülatörüne yerleştirilir ve performansı sınanır. Tipik bir kristal silisyum güneş gözesi, yaklaşık % 16'lık bir verime sahiptir ve 0,6 Volt gerilim ve 8 amper akım üretebilir. Ölçümleri bitirilen gözeler çıkış voltajları, akımları ve verimlilik değerlerine göre sınıflandırılıp güneş paneli yapımı için ayrılır. Kullanım amacına göre seri veya paralel bağlanan gözeler, panel haline getirilip kullanıcıya sunulur.



GÜNAM laboratuvarlarında üretilen bir kristal Si güneş gözesi