

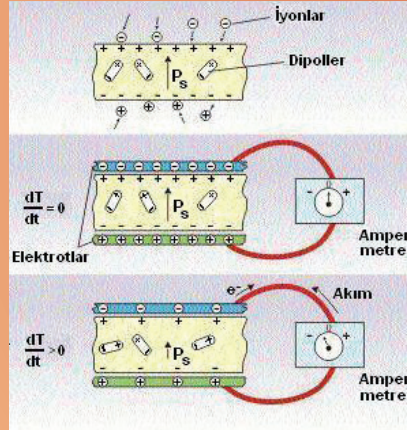
# ATEŞTEN ELEKTRİK PYROELEKTRİK

Turmalin kristali, özgün bir renkler almaşığı sergiler. Eski Mısır inancına göre; Dünya'nın merkezinden kaynaklanıp Güneş'e kadar uzanan bir gökkuşağının üzerinden kayarak, uzun bir yolculuk yapmış ve bu sırada, gökkuşağının tüm renklerinden birer tutamını bünyesinde toplamış. O yüzden halen, 'Gökkuşağı taşı' olarak da adlandırılır. Ancak turmalin adı, eski adıyla Seylan'ın Sengal dilindeki, 'karışık renkler taşı' anlamına gelen 'tura mali' deyiminden geliyor. Taşların hiçbiri, bir diğerine benzemez. Çoğu birden fazla renk sergiler ve bazıları, gün ışığından yapay ışığa geçişte renk değiştirir. Gizemli güçlere sahip olduğuna dair, geçmişten gelen bir inanış vardır. Halen dahi yaygın olan bu inanış, kristalin çarpıcı özelliklerinden kaynaklanmış olsa gerek. Özelliklerinden birisi de, 'piroelektrik' olması.

Bu özellik aslında, çok eskiden beri bilinmektedir. Hakkındaki en eski anlatım, Aristo'nun öğrencisi olan Grek filozofu Teofrastus'a (MÖ.y.372-y.287) aittir. Teofrastus, minerallerle ilgili olarak yazdıkları arasında, saman ve odun parçalarını çeken 'lingurion' adında bir taşın söz etmektedir. Büyük olasılıkla turmalin taşı olan bu maddenin, yabanıl bir hayvanın idrarından oluştuğu kanaatindeydi. Roma'lı Yaşlı Pliny (MS.y.24-79), yazdığı Doğa Tarihi kitabında, söz konusu hayvanın bir yaban kedisini olduğunu iddia eder. Bundan sonraki iki bin yıl boyunca insanlar, piroelektrik özelliğin nereden ve nasıl kaynaklandığıyla değil, turmalin taşının gizemli tedavi gücüyle ilgilenmişlerdir. Avrupa turmalinin sıradışı özelliğiyle tekrar, Teofrastus'tan iki bin yıl sonra, Johann Georg Schmidt'in 1707 yılında yayınladığı, 'Uykusuz Gecelelerdeki İlginç Spekülasyonlar' başlıklı kitabında tanışır. Schmidt anılarında, eski Hollandalı kristal işçilerinin, Doğu Hint Adaları'ndaki Seylan'dan (Sri Lanka) getirdikleri değerli turmalin taşı üzerinde çalışırken, taşın; sıcak veya yanmakta olan kömür parçalarının üzerindeki külü, mıknaşa benzer bir şekilde

çektiği gibi, ittiğinden de şikayetçi olduklarını söyler. 1824 yılında, optik alanındaki çalışmalarıyla ünlü David Brewster, 'piroelektrik' deyimini ilk kullanan yazar olmuştur. Olgu bundan sonra, bilimsel çerçevede incelenmeye başlanır. Nedir 'piroelektrik etki'?...

Bilindiği gibi; birbirlerine atom boylarında uzaklıktaki, eşit büyüklükte ve zıt işaretli iki nokta yük, bir 'çiftkutup' (dipol) oluşturur. Böyle bir ikiliye uzaktan bakıldığında yükler birbirini götürmüş gibi görünürken; yakın civarlarında, artı yükten kaynaklanıp eksi yükte son bulan hayali alan çizgilerine teğet elektrik alanları vardır. Dipol momenti,



eksi yükten artı yüke uzanan uzay vektörüyle yük büyüklüğünün çarpımı olarak tanımlanır ( $p=qd$ ). Şöyle ki, dipol momenti; yük ne kadar büyükse o kadar şiddetli, boyu ne kadar küçükse o kadar zayıftır. Öte yandan; bir yükün etrafındaki elektrik alanının şiddeti, yükten uzaklığın karesinin; dipol etrafındaki alanın şiddetiyle, dipolden uzaklığın küpünün tersiyle orantılıdır. Yani bir dipolünki; uzaklık arttıkça, daha hızlı zayıflar.

Hemen her malzemenin içerisinde; toplam yük nötr olmakla beraber; atomlar arası elektron paylaşımındaki, alışverişe kadar uzanan eşitsizlikler nedeniyle, yerel yük dengesizlikleri bulunur. Böyle bir malzeme, örneğin silikon veya germanyum, bir dış elektrik alanına yerleştirildiğinde; elektrik alanı artı yük-

lü çekirdekleri kendi yönünde ittiğinden ve fakat eksi yüklü elektronları ters yönde çektiğinden; çekirdeklerdeki protonların artı yükleriyle, elektron bulutlarının eksi yükleri birbirinden, az biraz ayrışır. Sonuçta ortaya, bir sürü minik dipol momenti çıkar ve dipoller, uygulanan dış elektrik alanına ters yönde elektrik alanları oluşturacak biçimde eşyönlüleşirler. Her biri zayıf olan dipol alanları üst üste bindiklerinden, dış elektrik alanının malzeme içerisindeki şiddetini, hatırı sayılır düzeyde zayıflatırlar. Aynı durum; su, bakalit, teflon, kağıt gibi molekül yapıları için de geçerlidir. 'Dielektrik' olduğu söylenen bu malzemeler, sözkonusu davranışları nedeniyle, kapasitörlerin yük biriktirme gücünü arttırmak üzere, plakaları arasına konur.

Dielektrik malzemelerde dipol yapısı, bir dış elektrik alan tarafından uyarılırken, örneğin turmalin gibi bazı malzemelerin kristal yapılarının birim hücrelerinde, kendiliğinden var olan dipol momentleri bulunur. Böyle bir kristalin 'kendiliğinden dipol'leri, kristalin simetri eksenini boyunca, az veya çok eşyönlüleşmiş haldedir. Dolayısıyla, kristal eğer simetri eksenine dik yönlerde kesilmişse, içerdeki dipollerin artı ve eksi yükleri; malzeme içerisinde birbirlerini nötrlerken, kesme yüzeylerindeki, Şekil 1'in üst kısmında görüldüğü gibi, eşleşmemiş kalırlar. Hal böyle olunca, yüzey yükleri, temasta buldukları ortamdan uygun işaretli iyonlar olarak nötrleşir. Bu sırada kristalin, örneğin artı yüklü olan yüzeyi; yakınındaki minik kağıt parçalarını önce kendine doğru çekip, onlardan bir miktar elektron alarak kendi kısmen nötrleştikten sonra, onları artı yüklü hale getirmiş bulunduğu ve kendisi ise hala artı yüklü olduğundan, itebilir. Tıpkı, kumaşa sürtülen ebonitin yaptığı gibi...

Sonuç olarak, kristalin kesme yüzeylerinde, artı ve eksi işaretli yükler birikmiştir. Biriken yük miktarı, kristal yapıdaki dipollerin büyüklüğüne ve simetri eksenini yönündeki eşyönlüleşmişlik dü-

zeyine; yani malzemenin, diyelim  $P_S$  ile gösterilen 'birim hacim başına kendiliğinden kutuplanmışlık değeri'ne bağlıdır. Asıl ilginç olan şu ki; malzemenin  $P_S$  değeri, dış etkenler tarafından değiştirilebilir. Örneğin sıcaklık artışı, entropi artışı anlamına geldiğinden, dipollerin yönlerinin gelişigüzellemesi sonucunda  $P_S$  değerinin azalmasına yol açar. Diyelim öyle oldu, kristal bir nedenle ısındı ve  $P_S$  değeri düştü. Bu durumda; kristalin kesme yüzeylerinde, o an yapısında barındırmakta olduğu dipollerin yol açtığı yüzey yüklerini nötrleştirebilecek olandan daha fazla yük vardır. Bu; iki yüzey arasında bir gerilim farkı olduğu anlamına gelir ve nitekim, iki yüzey bir iletken aracılığıyla birbirine bağlandığında, iletkenin üzerinden bir akım geçer. Örneğin şeklin en alt kısmında görüldüğü gibi, elektronların bir kısmı üst yüzeyden alt yüzeye inerek, bu yüzeydeki artı yüklerin bir kısmını nötrler. Sonuç olarak, her iki yüzeydeki yük miktarları azalmış ve kristalin, yükselmiş olan sıcaklığına karşılık gelen yeni ve daha düşük  $P_S$  değerinin gerektirdiği düzeye inmişlerdir. Ondan sonra, akım durur. Kristalin sıcaklığı, artmak yerine azalır, yüklerin hareketi ve akım, zıt yönde oluşur. Genelde özetlenecek olursa; kristalin yüzeyleri arasında, sıcaklığındaki değişimlere eşlik eden, bir veya diğer yönde bir akım vardır. Bu olguya, 'ateşten elektrik' anlamında 'piroelektrik' etki denir ve özelliği sergileyen malzemelerin 'piroelektrik' olduğu söylenir. Bir malzemenin piroelektrik olabilmesi için; molekül yapısının sıfırdan farklı bir dipol momentine sahip olması ve malzemenin bir simetri merkezinin bulunmaması, dönmeye göre bir simetri ekseninin ya olmaması, ya da varsa eğer, tersinme eksenini tarafından içerilmeyen tek bir eksen olması gerekir. Kristallerin var olan 32 'nokta grup simetrisi'nden 10'u, piroelektrik özelliği mümkün kılmaktadır. Nitekim, turmalinden başka; baryum titanat ( $BaTiO_3$ ) ve lityum tantalat kristalleri, triglisisülfat (TGS) kristali ve izomorfları, 'kurşun zirkonat titanat' temelli seramikler, hatta poliviniliden florid (PVDF) gibi bazı plastik malzemeler ve kollajen gibi biyolojik maddeler de piroelektrik özelliği, değişen güç düzeyinde sergilerler.

Bir kristalin  $P_S$  değeri, sıcaklık değişiminden başka etkenler nedeniyle de değişebilir. Örneğin, kristal üzerinde uy-

gulanan kuvvetlerin yol açtığı gerilimler, kristal boyutlarında değişikliğe, bu da  $P_S$  değerinin değişmesine yol açar. Bu açıdan etkin olan; gerilim ('stress') ve gerilimlerin sebep olduğu, 'birim uzunluk başına uzama ya da kısalma' ('strain') miktarıdır. Bu olguya, 'basınçla elektrik' anlamında 'piezoelektrik' etki denir ve gerilim etkeniyle  $P_S$  değeri değişen malzemelerin, 'piezoelektrik' olduğu söylenir. Olgu tersinir olup, piezoelektrik bir kristale dışardan elektrik gerilimi uygulandığında, kristalin şekli, az da olsa değişir. Bilindiği gibi bu özelliğin; ses üretimi ve ses dedektörleri, yüksek gerilim eldesi, elektronik frekansların üretimi ve optik düzeneklerin çok çok ince ayarla odaklanması gibi alanlarda geniş uygulamaları var.

Öte yandan, dielektrik malzemelerin  $P_S$  değeri, tabii, dışardan elektrik alanı uygulamak suretiyle de değiştirilebilir. Ve bu malzemelerin iç yapısındaki dipollerin yol açtığı elektrik alanı, dışarı-

Çeşitli malzemelerin birincil ve toplam piroelektrik katsayıları (Birim $\mu C/m^2.K$ )			
Malzeme	Birincil katsayı	İkincil katsayı	Toplam Katsayı
<b>Ferroelektrikler</b>			
<i>Kutuplu seramikler</i>			
BaTiO <sub>3</sub>	-260	+60	-200
PbZr <sub>0,95</sub> Ti <sub>0,05</sub> O <sub>3</sub>	-305,7	+37,7	-268
<i>Kristal</i>			
LiNbO <sub>3</sub>	-95,8	+12,8	-83
LiTaO <sub>3</sub>	-175	-1	-176
Pb <sub>2</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>11</sub>	-110,5	+15,5	-95
Ba <sub>2</sub> NaNb <sub>5</sub> O <sub>15</sub>	-141,7	+41,7	-100
Sr <sub>0,3</sub> Ba <sub>0,3</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	-502	-48	-550
(CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	-14	-13	-27
Triglisin sülfat	+60	-330	-270
<b>Ferroelektrik olmayan</b>			
<i>Kristal</i>			
CdSe	-2,94	-0,56	-3,5
CdS	-3,0	-1,0	-4,0
ZnO	-6,9	-2,5	-9,4
Turmalin	-0,48	-3,52	-4,0
Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	+60,2	+26,1	+86,3

dan uygulanan alanın, malzeme içerisinde zayıflamasıyla sonuçlanıyor. Dolayısıyla; elektrik alanı, gerilim ve sıcaklık, malzemelerin  $P_S$  değerlerini etkileyen üç ana etken. Aslında bu üç etken, aynı sacayağın üç ayağını oluşturuyor. Çünkü, piroelektrik bir kristal sıcaklık değişikliğine uğrarken, genleşme veya gerilimlere de maruz kalmaktadır. Dolayısıyla, kristalin  $P_S$  değeri bir miktar da, bu 'ikincil etken' yüzünden değişir. Bu sırada iç yapısındaki elektrik alanlarının dağılımı, az da olsa etkilenmiş olacağından, 'üçüncü' ayak kanalıyla, 'üçüncül' etkenler de sözkonusudur. Fakat, ölçümlerde farklı etkenlerin katkılarını ayrı ayrı ölçmek çok zor olduğundan, malzemeler, hangi etkenin daha ağır bastığına bağlı olarak; dielektrik, piroelektrik,

piezoelektrik olarak sınıflandırılırlar. Daha fazla ayrıntıya girmeksizin, son bir tanım daha: Dışarıdan yeterince güçlü bir elektrik alanı uygulandığında kutuplanma yönü değişen piroelektrik malzemelerin 'ferroelektrik' olduğu söylenir.

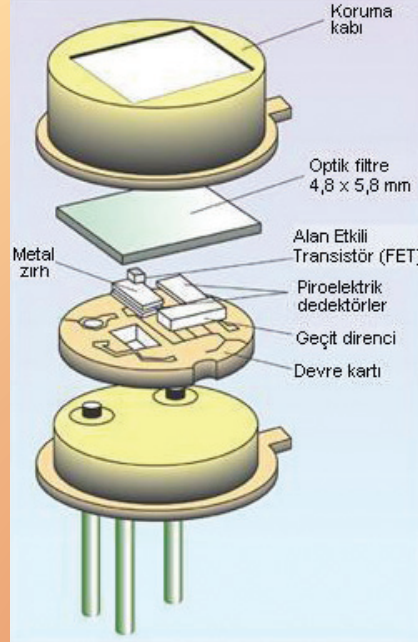
Dolayısıyla, ferroelektrik malzemeler; kendiliğinden kutuplanma yönü, yeterince güçlü bir dış elektrik alan uygulanmak suretiyle değiştirilebilen piroelektrik malzemelerdir. Ayrıca, belli bir sıcaklığın üzerinde, kendiliğinden kutuplanma özellikleri ortadan kalkar. Curie sıcaklığı denilen bu sınır, ferroelektrik malzemeler için, oda sıcaklığı civarındadır. Dolayısıyla, oda sıcaklığındaki uygulamalarda, kendiliğinden kutuplanmaya sahip olmadıklarından, piroelektrik etki sergileyemezler ve etkinin, dışarıdan elektrik alanı uygulanmak suretiyle uyarılması gerekir. Buna karşın, piroelektrik katsayıları yüksek olduğundan, duyarlı uygulamalarda tercih edilirler. Yandaki tabloda, çeşitli malzemelerin birincil, ikincil ve toplam piroelektrik katsayıları görülmüştür.

Sıcaklığı değiştiğinde elektrik üreten piroelektrik bir kristal, örneğin yanığın alarmı olarak kullanılabilir. Çünkü böyle bir kristal, ışık spektrumunun kızılaltı bölgesindeki fotonları soğurmak suretiyle de ısınabilir. Ki bu, kızılaltı algılama kapsamındaki geniş kullanım alanlarını beraberinde getirir. Çünkü, tüm cansız maddeler ve canlı organizmalar, buldukları sıcaklıkta, siyah cisim ışımasına benzer bir ışıma gücüne sahiptirler. Dolayısıyla; ışıdıkları fotonların bir pirokristal tarafından farkedilmesiyle, varlık ve hatta konumları belirlenebilir. Öte yandan, üstüne üstlük, kızılaltı ışımasını geçirgenliği açısından atmosferin; birincisi 3 ile 5, ikincisi de 8 ile 14  $\mu m$  dalga boyu aralıklarında olmak üzere; iki penceresi vardır ve atmosfer, diğer dalga boylarını güçlü bir şekilde soğururken, bu dalga boyu aralıklarındaki ışımasını zayıfça soğurur. Hem de, 300 K sıcaklığa sahip cisimlerin siyah cisim ışıma spektrumunun zirvesi, 10  $\mu m$  dalga boyu civarında olup, ikinci pencere aralığında yer alır. Dolayısıyla, kızılaltı spektrumunun uzun dalga boyu bölgesine denk gelen bu ışınlar, atmosferde soğurulana kadar uzun mesafeler katedebilir. Bu sayede, ışın kaynağının varlığını ve konumunu, yüzlerce metre öteden, 'kızılaltı dedektörü' olarak çalışan bir pirokristal tarafından belirlemek mümkündür. Tabii, ısın-

ma sonucunda kristalin ürettiği küçük miktardaki yükün farkedilebilmesi için, büyütülmesi gerekir. Ki bu, düşük gü-rültülü ve yüksek empedanslı yükselticiler gerektirir. Bu amaçla devrede genel-likle; ya bir 'alan etkili transistör'le ('Fie-ld Effect Transistor, FET'), büyüklüğü uygun seçilmiş bir yük direnci; ya da ge-ribesleme direncine sahip bir 'işlevsel yükseltici' ('operational amplifier') kulla-nılır. Dedektör malzemesinin kendi di-renci, kristale çeşitli elementlerin katkı-lanmasıyla değiştirilebilir ve uygun dü-zeye getirilmek suretiyle, ayrı bir yük di-rencine olan gereksinim ortadan kaldırı-labilir.

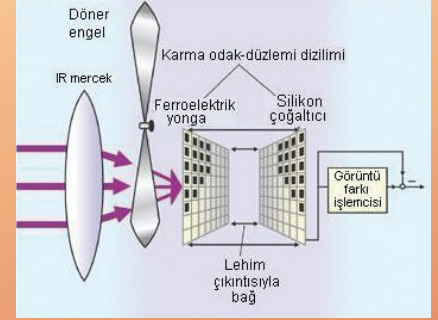
Ancak; kristal foton soğurarak ısındığı gibi, başta sıcaklık ve sarsıntı olmak üzere, çevre koşullarındaki oynamalardan da etkilenmektedir. Dolayısıyla, ürettiği sinyalde, hedeften gelen fotonların neden olduğu yük birikimi yanında, 'gürültü'nün yol açtığı bir miktar yük de mutlaka vardır. Gürültü katkısını devre dışı bırakmak, dedektörün duyarlılığını ve etkinlik mesafesini artırır. Bunu kur-naz bir şekilde, bir yerine iki kristal ele-ment kullanmak suretiyle başarmak mümkündür. Kristallerden birisi, daha güçlü bir şekilde soğurmasını sağlamak için, ince siyah bir film katmanıyla kap-lanırken; diğeri, tam tersine, hedef kay-naklı fotonları görmesini engellemek amacıyla metal bir zırhın içine yerleştirilir. Bu durumda; birinci kristalin ürettiği sinyal, hem hedeften gelen fotonlardan, hem de çevre koşullarından etkilenmek-te; ikincisinininki ise, yalnızca çevre koşu-larındaki sapmaları kaydetmektedir. Eğer iki kristalin çıktı uçları karşıtlık dü-zeninde bağlanırsa, sinyaller arasındaki fark alınmış ve dolayısıyla, gürültü katkı-sı devre dışı bırakılmış olur.

Yandaki şekilde, 10 µm dalgaboyu civarındaki ışınımları gözlemek amacıyla imal edilmiş, iki piroelektrik kurşun tita-nat kristalli bir dedektörün tasarım çizi-mi görülüyor. Koruma kabının üst tara-fında, bir pencere açıklığı var. Pencere-nin altındaki optik filtre, genellikle ger-manyumdan yapılıyor. Çünkü germanyum; görünür ışığa karşı soğurucu, 10 µm dalgaboyu civarındaki ışınımına karşı saydam davrandığından, kızılaltı ışınları süzerken, diğerlerini soğuruyor. Bu tür dedektörlerin sıradışı kullanımları ara-sında, uzay çalışmaları da var. Bu alan-daki ilk uygulama, 1972 yılında Dünya etrafında yörüngeye oturtulan 'dikey sı-



caklık profili radyometresi'idi. 1978'de Venüs'e gönderilen Pioneer aracı, bu gezegendeki bulutların sıcaklık haritasını çıkardı. Ayrıca, araçtan gezegenin at-mosferine bırakılan bir yoklama ucuyla ('probe'), net ısı akı ölçümleri yapıldı. 1989'da fırlatılan Galileo aracında, Jüpiter ve aylarındaki ısı ışınımı incelemek amacıyla yönelik bir 'fotoçoğaltıcı-radyometre' vardı. Gezegenin yüzeyine doğru düşmeye bırakılan aygıt, atmosfer yapısının ve kimyasal bileşiminin incelenmesine imkan sağladı. Nihayet, 2003 yılında fırlatılan Mars Araştırma Aracı, gezegen-deki çeşitli mineralleri kızılaltı ışına spektrumlarından hareketle belirlemeye yönelik bir 'ısı ışınım spektrometresi' içeriyordu. Uzay araçlarında kullanılan dedektör malzemeleri genellikle döter-yum emdirilmiş triglisin sülfat (TGS) ve ya LiTaO<sub>3</sub> idi.

Piroelektrik kristallerle kuramsal olarak, 0,2 µK'e kadarki sıcaklık farkları algılanabilir. Ölçülen sıcaklık farkını, kristalin başlangıçtaki sıcaklığına eklemek suretiyle, hedefin sıcaklığı da belirlenebilir. Eğer bu işlem, bir kristaller dizilimi aracılığıyla, üç boyutlu bir hedefin değişik noktaları için aynı anda gerçekleştirilirse, hedefin 'sıcaklık profili' çıkarılabilir. Hatta, canlı vücutlarının değişik bölgeleri az da olsa farklı sıcaklıklarda bulunduğundan, kızılaltı dedektörler aracılığıyla, karanlıkta insanınki dahil, sıcakkanlı canlı görüntüleri izlenebilir. Yandaki şekilde, bu işleve yönelik bir 'kızılaltı görüntü aygıtı'nın çizimi görülüyor. Ön tarafta, keza kızılaltı süzme yeteneği nedeniyle germanyumdan yapı-



miş olan bir mercek var. Merceğin arka-sındaki döner engel ya da kesici, hedef görüntüden gelen kızılaltı ışınları, peri-yodik olarak engelliyor veya kesiyor. Çünkü ardından gelen katmanda, bir yonga üzerine dizilmiş olan bağımsız ferroelektrik kristal elementler var ve bu kristaller, yalnızca sıcaklıktaki değişimleri algılayabildiklerinden, sabit bir sıcaklık profiline sahip bir hedefe sürekli olarak baktıkları takdirde, sıcaklıklar kısa bir süre sonra artık değişmez hale gelmiş olacağından, körleşeceklerdir. Dolayısıyla, hedefin görüntüsü; kristal-ler üzerine, yanıt verebilmelerine yetecek kadar kısa bir süreyle düşürüldük-ten sonra, engellenir. Engelleme sırasın-da, kristaller tepki sinyallerini üretip, çoğaltıcı silikon kristallere aktarır. Bu kristallerin çıktuları, 'görüntü farkı işlemcisi' tarafından işlenip, bir bakıma bir araya getirilerek, ekrana düşürülecek olan gö-rüntü üretilir. Döner engelin engelleme süresi sona erdiğinde, ferroelektrik kris-taller soğuyarak başlangıç hallerine geri dönmüş olup, yeni bir görüntü kaydına hazırırlar. Bu ilk hale dönüş sürecinin; yeterince kısa sürede yanıt yeteneğini mümkün kılacak kadar hızlı, fakat veri kaydının tamamlanmasına imkan tanıyacak kadar da yavaş olması gerekir. Piroelektrik malzemenin iletkenlik kat-sayısının fazla yüksek olmaması ve soğu-rulan fotonun yol açtığı ısıyı yavaş dağıt-ması, bu açıdan önemlidir. Görüntünün herhangi bir pikseline ait yeni veri, 'gö-rüntü farkı işlemcisi'ne ulaştığında, iş-lemci bu veriyi, ancak bir öncekinden farklıysa, görüntünün sergilendiği ek-randaki ilgili pikseli değiştirmek üzere hesaba katar; aksi halde gözardı eder. Böylelikle, yavaş değişen görüntülerin inşası sırasındaki işlem yükü azaltılmış olur. Bu yüzden 'görüntü farkı işlemci-si'...

En yaygın olarak kullanılan dedektör elemanları, kurşun stronsiyum tita-nat (PST) veya baryum stronsiyum tita-nattan (BST) yapılmış olanlar. Bu malze-

melerin Curie sıcaklığı oda sıcaklığına yakın olduğundan, dedektörler Curie sıcaklığının üzerindeki 'kutuplanmamışlık bölgesi'nde çalışırlar. 'Paraelektrik' de denilen bu bölgede, piroelektrik etki, bir dış elektrik alanın uygulanmasıyla uyarılır. Lazerle yönlendirilmiş kimyasal aşındırma yöntemleriyle, çok sayıda dedektör pikselinden oluşan dizilimler üretilebilir. Piyasadaki ürünlerdeki dizilim boyutları 384x288 piksele ulaşıyor. Çok değişik uygulama alanları arasında; yangınla mücadele, kolluk kuvvetlerinin gereksinimleri ve sınır kontrolleri, yüz tanıma, kara mayınlarının belirlenmesi, binaların gözetimi, süreç kontrolü, görüş testleri ve trafik yönetimi sayılabilir. Kızılaltı ışınlar, dumanı oluşturan zerrecikler ve gazlar tarafından, görünür ışığa oranla daha az emildiklerinden, kızılaltı görüntü aygıtları, yangın sırasında görüş amacıyla da kullanılabilirler. Kızılaltı piroelektrik dedektörlerin ayrıca; kızılaltı spektrometreler, lazer dedektörleri, elektron ışın aygıtları ve malzemelerin ısı ve optik özelliklerinin ölçümü gibi araştırma alanlarında uygulamaları da var.

Kızılaltı dedektörler aslında, kuantum veya foton ve ısı olmak üzere iki genel sınıfa ayrılır. Kuantum dedektörleri; fotonların atomlardan, enerji kaybına uğrayarak saçılmaları ve bu arada kaybettikleri enerjiyle atomlardan, doğrudan elektron koparmaları anlamına gelen fotoelektrik etkiye dayalı olup; ilgili maddelerin değerlik ('valens') ve bir alttaki elektron kabukları arasındaki enerji farkına, yani 'bant aralığı'na bağlı olarak çalışırlar. Halbuki fotonların, saçılmak yerine soğutulmasından kaynaklanan piroelektrik etki, farklı bir fiziğe dayalı olup, bant aralığından bağımsızdır. Kuantum dedektörleri, 'galyum arsenid' ve 'cıva kadmiyum tellürid' gibi III-V veya II-VI yarıiletken ikililerinden üretilirler. Bu kristal malzemelerin büyütülüp şekillendirilmesi zor olduğu gibi, kızılaltı spektrumun uzun dalgaboyu bölgesinde çalışmaları için, genellikle 77 K'e kadar soğutulmaları gerekir. Nitekim, astronomide kullanılan kuantum dedektörleri, kızılaltının uzak bölgesinde son derece duyarlı olmakla birlikte, çok düşük sıcaklıklara kadar soğutulmak durumundadırlar. Halbuki ısı dedektörler, kızılaltı fotonların enerjisini ısıya dönüştürür ve genellikle, oda sıcaklığı civarında çalışırlar. Kuantum dedektörleri gibi,

sınırlı dalgaboyu aralıklarıyla kısıtlı değildirler. Maliyetleri çok daha düşük, fakat duyarlılıkları daha azdır. Dolayısıyla, piroelektrik ısı dedektörlerin üstünlüklerini, beş ana başlık altında özetlemek mümkün:

- Piroelektrik malzemenin soğurma özelliklerine ve elektrotlarına bağlı olmak kaydıyla, ilke olarak tüm elektromanyetik spektrumunu kapsayan çok geniş bir spektrum bandı aralığında duyarlılık,
- Birkaç K'den yüzlerce K'e kadar uzanan çok geniş bir sıcaklık aralığında duyarlılık,
- Yalnızca sinyali yükselten alan etkili transistörün çalışmasına yetecek kadar, düşük güç gereksinimi,
- Pikosaniye düzeylerinde hızlı yanıt süresi,
- Görece ucuz malzemelerden düşük maliyetle imalat.

Bir piroelektrik aygıtın en önemli bileşenini dedektör malzemesi oluşturur. Triglisin sülfat (TGS) ve izomorfları, yüksek piroelektrik katsayı ve görece düşük elektrik geçirgenliği dahil olmak üzere, tercih nedeni olan özelliklere sahiptirler. Nitekim, bu malzemeler; nem çekici (higroskopik) doğalarına karşın, yüksek duyarlılıklı uygulamalarda en fazla tercih edilip kullanılanlar arasındadır. Lityum tantalat, yüksek Curie sıcaklığı yanında, nem ve boşluğa karşı duyarsızlığı nedeniyle çok kararlı olup, uzay uygulamalarında sık kullanılır. Poliviniliden florid polimer (PVDF) ve kopolimerlerinin piroelektrik katsayıları düşük olmakla beraber; düşük ısı iletkenlik katsayıları ve dielektrik sabitleri nedeniyle, geniş alan dedektörleri ve dizilimlerinde kullanım açısından uygundur. Kurşun zirkonat titanat sistemlerine dayalı seramikler, hem imalatı görece ucuz, hem de mekanik ve kimyasal açıdan dayanıklı olduklarından, belki de en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Zr/Ti oranının değiştirilmesi ve katkı maddelerinin ilavesi, bu seramiklerin fiziksel özelliklerinin geniş bir aralıkta, amaca uygun doğrultuda değiştirilebilmesini sağlar.

Araştırmalar büyük olasılıkla, saf malzemelerin duyarlılık sınırına ulaşmış durumda. Fakat, farklı malzeme bileşimlerine sahip çok sayıda katmandan oluşan aygıtlar, yeni imkanlar sunmaya devam ediyor. İnce-film piroelektrik tekniklerinin doğrudan yarıiletken alt katman



üzerine uygulanması, yeni bir araştırma alanı olarak gelişmekte. Maliyetler düşüktüççe, piroelektrik kullanımıyla kızılaltı belirleme ve görüntüleme, çok daha fazla yaygınlaşacağına benzer. Beklenen yeni kullanım alanları arasında; otomobil sürücülerine yardımcı gece görüş araçları, büyük marketlerde müşterileri sayan ve yönlendiren aygıtlar, elektrikli ev aletlerinin yapısına inşa edilenler ve güvenlik aygıtları sayılabilir. Yandaki görüntülerden birincisi, 'DERA malvern, Crown'ın 256x128 pikseli ferroelektrik karma odaklama düzlemi dizilimiyle, ikincisi ise; Raytheon Ticari Elektronik firmasının, 320x240 piksellik, mikromakine imalatlı ince film dizilimiyle çekilmiş. Gece görüş aygıtlarında sağlanabilen çözünürlük düzeyi hakkında fikir veriyorlar. Bir yandan da düşündürüyor...

Turmalin taşının Orta Çağ'da aşk ve arkadaşlığa güç aşılayıp, bu duygulara kalıcılık kazandırdığına inanılırdı. Halbuki şimdi; piroelektrik özelliği insanlara gece görüşü sağlıyor, uzak gökyüzünün görüntülerini yakalayıp kaydetmeye yarıyor. Çok farklı konular: Akılcı olmayan inançların dahi bazen, aksi halde kaybolacak olan ilgileri yaşatıp bir süre sonra akılcı mecralara dökülmesini sağlamak gibi olumlu bir işlevi olabiliyor galiba.

Evet: 'Ateşten elektrik', Dünya oluşalı beri vardı. 24 asırdır biliniyor. Ansızın kalkıp gidecek hali yok. Üzerinde çalışılmaya devam edilecek...

Prof. Dr. Vural Altın

Bu yazı, tam anlamıyla bir çeviri olmamakla beraber, hemen tümüyle; Sydney B. Lang'ın, Physics Today dergisinin Ağustos 2005 sayısında yayınlanan 'Pyroelectricity: From Ancient Curiosity to Modern Imaging Tool' başlıklı yazısından yararlanılarak hazırlanmıştır.