

BÖLÜM 5

TERMAL ÖZELLİKLER

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

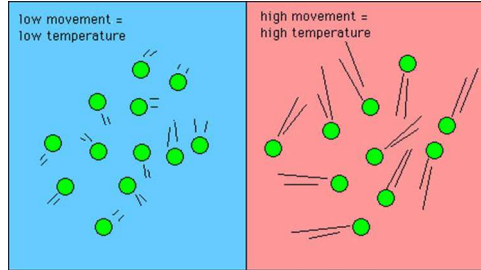
Bir malzemenin '**Termal özelliği**' malzemenin ısı etkisi altında nasıl bir davranış sergilediğini açıklar.

Pek çok durumda malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin maruz kaldıkları sıcaklığa bağlı olduğunu görürüz.



EYFEL kulesinin bir gün içinde meydana gelen sıcaklık değişimleri nedeni ile yaklaşık 20 cm kadar uzayıp kısaldığını biliyor muydunuz???

Bir maddeye ısı verildiğinde ne olur?



Isı bir enerjidir, maddeye ısı verildiğinde atomları kinetik enerjisi artar, artan kinetik enerji ile atomlar hareketlenir (daha büyük genliklerle titreşmeye başlarlar) ve atomlar daha geniş bir alanda hareket etmeye başlarlar. Böylece maddedeki atomlar ısı verilmeden önceki durumlarından daha fazla yer kaplarlar ve madde genleşmeye başlar.

3

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

MOLEKÜLER KİNETİK TEORİ

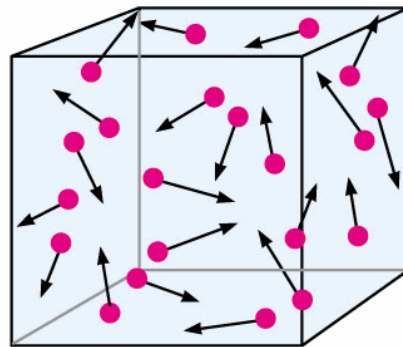
Gazların moleküler kavramı maddenin moleküler davranışını da açıklamakta kullanılabilir. Bu yaklaşım 'Gazların Kinetik-Moleküler Teorisi' olarak bilinir.

1800'lü yıllarda Ludwig Boltzmann, James Clerk Maxwell ve R. J. E. Clausius teorinin geliştirilmesi için çalışmışlardır.

Bu teoriye göre

- Gazlar molekül olarak adlandırılan taneciklerden oluşur.
- Moleküller ortamın sıcaklığına da bağlı olarak sürekli ve tamamen gelişigüzel hareket ederler.
- Moleküllerin kinetik enerjileri ortamın mutlak sıcaklığı ile doğru orantılıdır.

ve moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile sıcaklık arasında ilişki kurulabilir.



4

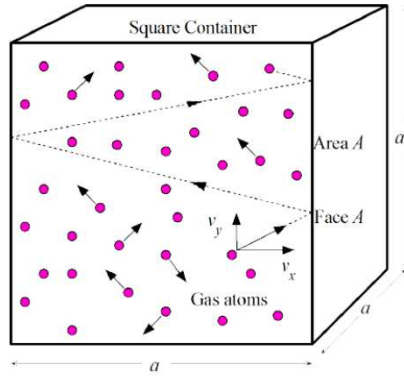
BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Katıların moleküler kinetik teorisi;

- Gazların basıncı
- Metallerin ısı kapasitesi
- Yarı iletkenlerde elektronların ortalama hızı
- Dirençlerde elektrik gürültüsü

gibi bir çok olayı açıklamaktadır.



From Principles of Electronic Materials and Devices, Third Edition, S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005)

5

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Isı Kapasitesi

'Isı kapasitesi' malzemenin ısıyı soğurabilme yeteneğidir ve 1 mol malzemenin sıcaklığını 1 derece artırmak için gerekli enerji olarak tanımlanır.

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Isı kapasitesi (J/mol.K) \leftarrow C \leftarrow Sıcaklık değişimi için gerekli olan enerji (J/mol) \leftarrow dQ \leftarrow Sıcaklık değişimi (K) \leftarrow dT

- Isı kapasitesinin ölçülmesi 2 yolla yapılır.

C_p : sabit basınçta ısı kapasitesi tayini

C_v : sabit hacimde ısı kapasitesi tayini

Genellikle $C_p > C_v$ olur ancak bu fark oda sıcaklığı veya altındaki sıcaklıklarda pek çok malzeme için önemsizdir.

6

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Sabit hacimde mekanik iş yapılmaz ve bütün termal enerji iç enerjiye dönüşür.

$$C_v = \frac{dU}{dT}$$

C_v : sabit hacimde ısı kapasitesi
 U : iç enerji

Pek çok mühendislik uygulamasında öz-ısının kullanımı ısı kapasitesine göre daha uygundur.

$$\text{Öz ısı} = \frac{\text{Isı kapasitesi}}{\text{Atom ağırlığı}}$$

7

BÖLÜM 5

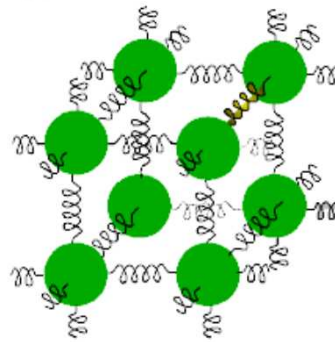
Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Öz Isı

'Öz ısı' ya da 'Özgül ısı' ise; Bir maddenin, 1 gramının (birim ağırlığının) sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan enerji olarak tanımlanır ve kalori ya da joule cinsinden ifade edilir.

Hem öz ısı hem de ısı kapasitesi malzemenin yapısına önemli ölçüde bağlıdır. Bu nedenle dislokasyon yoğunluğu, grain boyutu ya da boşluklardaki değişimler bu değerleri etkiler.

Öz ısı ya da ısı kapasitesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de örgü titreşimleri (kafes dalgaları ya da 'fonon'lardır.



8

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Termal enerji = atomik hareketlerin kinetik enerjisi

+

atomlar arası bağlardaki bozulmalardan (sıkışma ve ya genleşme)
kaynaklanan potansiyel enerji

Mutlak 0 sıcaklığında malzemenin atomları minimum enerjiye sahiptir. Ancak ısındıklarında atomlar termal enerji kazanır ve belli genlik ve frekansta titreşirler. Katı içerisindeki atomların titreşimleri birbirlerinden bağımsız değildir. Atomlar arası bağların bir sonucu olarak, komşu atomlar çift oluşturarak birbirlerini etkilerler ve bu da kafes dalgalarının oluşması ile sonuçlanır. Her atomun enerjisi etrafındaki atomlara transfer edilir ve '**fonon**' olarak adlandırılan elastik bir dalga üretilir. Dalgalar dalga boyu ve frekansları ile tanımlanır.

- Fononun enerjisi dalga boyu ve frekansa bağlıdır.

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

$$h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Plank sabiti

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

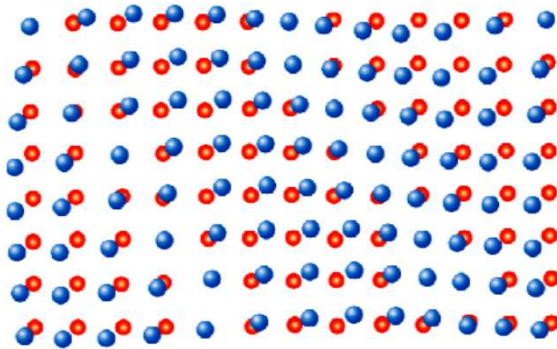
Işığın boşluktaki hızı

9

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

- Katı maddeler içindeki atomlar çok yüksek frekanslarda ve düşük genliklerde sürekli titreşirler.
- Bu titreşimler, hareket eden kafes dalgaları üretecek şekilde koordineli hareket ederler.
- Bu dalgalar, kristal boyunca ses hızında ilerleyen, kısa dalga boylarına ve yüksek frekanslara sahip elastik dalgalar veya ses dalgaları şeklinde düşünülebilirler.



● Normal lattice positions for atoms

● Positions displaced because of vibrations

10

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Isı kapasitesinin sıcaklıkla değişimi

0K'de ısı kapasitesi 0'dır. Ancak ısı ile hızlı bir şekilde yükselir.

- Düşük sıcaklıklarda ısı kapasitesi ve mutlak sıcaklık arasındaki ilişki

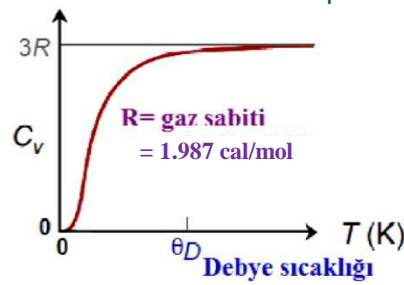
$$C_V = AT^3 \quad A: \text{sıcaklıktan bağımsız bir sabit}$$

biçiminde iken

- Yüksek sıcaklıklarda sabit hacimde malzemenin ısı kapasitesi

$$C_P = 3R \sim 6 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

değerine yaklaşır.

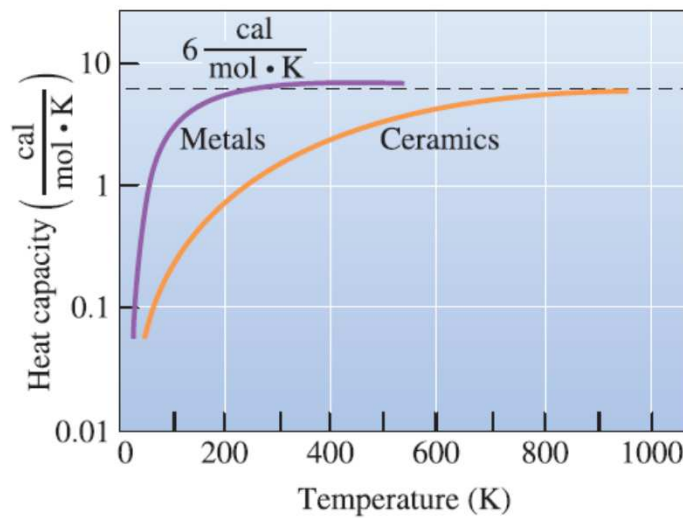


11

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Her malzemenin ısı kapasitesi farklıdır. Metaller için ısı kapasitesi bu değere oda sıcaklığı civarında ulaşırken seramikler 1000°C civarında ulaşırlar.



12

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Malzeme	c_p (J/kg-K)	
(oda sıcaklığında)		
• <u>Polimerler</u>		c_p (spesifik ısı): (J/kg-K)
Polipropilen	1925	C_p (ısı kapasitesi): (J/mol-K)
Polietilen	1850	
Polistiren	1170	
Teflon	1050	
• <u>Seramikler</u>		
Magnesia (MgO)	940	
Alumina (Al ₂ O ₃)	775	
Cam	840	
• <u>Metals</u>		
Aluminyum	900	
Çelik	486	
Tungsten	138	
Altın	128	

13

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Isı İletimi

- Isı katı maddelerde “fononlar” ve “serbest elektronlar” tarafından iletilirler.
- Isıl iletkenlik her iki mekanizmanın ortak sonucudur ve toplam ısı iletkenlik her birinin sağladığı ısı iletkenliklerin toplamına eşittir.
- Buna göre ‘ k , termal iletkenlik katsayısı’ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$k = k_l + k_e$$

k_l , sıcaklık gradientinin olduğu bölgede, yüksek sıcaklık bölgesinden düşük sıcaklık bölgesine doğru **fonon** hareketinin sağladığı katkısıdır.

Serbest elektronlar “**elektronik ısı iletkenliğe**” katkı sağlarlar. Elektronlar kinetik enerji kazanırlar ve düşük sıcaklık bölgelerine doğru hareket ederler. Sahip oldukları enerjiyi atomlara (fononlar ile çarpışarak) ya da diğer kristal kusurları ile etkileşerek bu bölgelere aktarırlar.

Burada k_l ve k_e sırasıyla latis (örgü) titreşimi ve elektron ısı iletkenliklerini göstermektedir.

Genellikle biri veya diğeri ısı iletiminde baskın mekanizmadır.

14

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

	Malzeme	k (W/m-K)	Enerji Transfer Mekanizması
↑ artan k	• <u>Metaller</u>		
	Alüminyum	247	Atomsal titreşimler ve serbest elektron hareketleri
	Çelik	52	
	Tungsten	178	
	Altın	315	
	• <u>Seramikler</u>		
	Magnesia (MgO)	38	Atomsal titreşimler
	Alumina (Al ₂ O ₃)	39	
	Soda-kireç camı	1.7	
	Silika (cryst. SiO ₂)	1.4	
	• <u>Polimerler</u>		
	Polipropilen	0.12	Molekül zincirlerinin titreşimleri
	Polietilen	0.46-0.50	
Polistiren	0.13		
Teflon	0.25		

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşn

15

15

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

İletken malzemeler de ısı iletimi

Metaller:

- Yüksek saflıktaki metallerde, “**elektronlar**”ın toplam ısı iletimine katkısı “**fonon**”ların katkısından daha fazladır. Çünkü, elektronlar fononlar kadar kolay saçılmazlar ve daha yüksek hıza sahiptirler.
- Metallerde ısı iletime katkı sağlayabilecek çok sayıda serbest elektron mevcuttur.
- Alaşımlarda (yabancı atom içeren metaller gibi düşünülebilir) ısı iletim özellikleri düşmektedir. Bunun nedeni elektriksel iletkenliğin azalma nedeni ile aynıdır. Yabancı atomlar, elektron hareketlerini kısıtlayan ve hareket eden elektronların saçılmalarına neden olan noktaları oluştururlar. Bu da elektron hareketlerinin etkinliğini azaltır (ortalama serbest yol ve mobilite azalır).

16

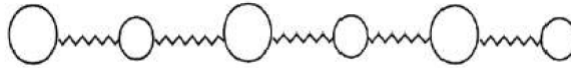
BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

İletken olmayan malzemeler de ısı iletimi

Seramikler:

- Yalıtkan malzemeler serbest elektron bulundurmazlar. Dolayısıyla, ısı iletkenliğe katkı sadece fonon hareketleri ile sağlanır.
- Örgü kusurlarının fonon dalga hareketlerini etkin bir şekilde saçma özelliği olduğundan, fononlar tarafından sağlanan ısı iletim, elektronların sağladığına kıyasla daha az etkilidir.
- Artan sıcaklıkla fononların dağılması ve sönümlenmesi de artar; dolayısıyla, pek çok seramik malzemenin ısı iletkenliği artan sıcaklık ile birlikte azalır.
- **Termal yalıtkan** olarak kullanılan pek çok seramik türü gözenekli yapıya sahiptir. Dolayısıyla artan gözenek hacmi ile ısı iletkenliği azalır. (gözenekler hava doludur: havanın iletkenliği 0,02 W/m-K'dir.)



17

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Polimerler:

- Polimerlerdeki enerji transferi polimer zincir moleküllerinin titreşimi ile mümkündür.
- Isı iletim değerinin büyüklüğü, polimerin kristallenme derecesine bağlıdır; yüksek kristallenme derecesine ve düzenli dizilişe sahip bir polimerin ısı iletkenliği eşdeğer amorf malzemedenden daha fazladır.
- Bunun nedeni, yüksek kristallenme derecesinde, molekül zincirlerinin daha koordineli şekilde titreşim hareketi yapabilmeleridir.
- Polimerler, düşük ısı iletkenliğe sahip olmalarından dolayı genellikle “**ısı yalıtkan**” malzemeler olarak kullanılırlar.
- Seramiklerde olduğu gibi, malzeme içerisinde küçük hava boşlukları oluşturularak, polimerlerin de ısı yalıtkanlık özellikleri artırılabilir (Polistiren köpük (Strafor)).

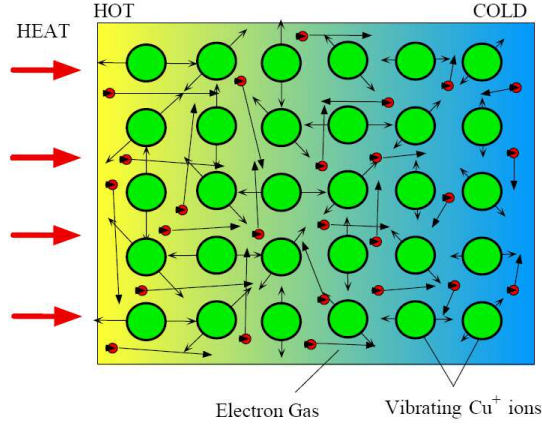
18

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Termal iletkenlik

Metaller hem iyi elektrik hem de iyi termal iletkenlerdir. Metallerde bulunan serbest elektronlar ısı iletiminde de önemli rol oynar.



Bir metal parçası bir ucundan ısıtıldığında bu bölgede atomik titreşimlerin genliği ve buna bağlı olarak elektronların ortalama kinetik enerjisi artar.

BÖLÜM 5

From Principles of Electronic Materials and Devices, Third Edition, S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005)

19

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Elektronlar daha enerjik olan örgü titreşimleri ile çarpıştıklarında enerji kazanırlar ve artan gelişigüzel hareketleri yoluyla örgü titreşimleri ile çarpışarak daha soğuk olan bölgeye ekstra enerji transfer ederler. Böylece elektronlar enerji taşıyıcıları gibi davranırlar.

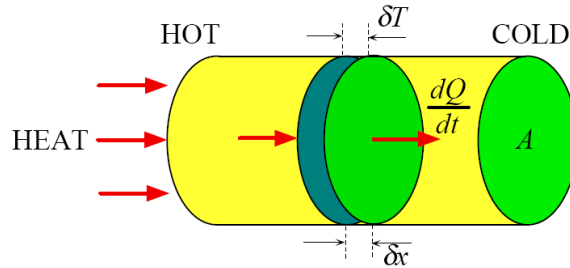
Adından da anlaşılacağı gibi bir malzemenin termal iletkenliği ortam boyunca ısıyı yani termal enerjiyi iletebilme yeteneğidir.

BÖLÜM 5

20

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Bir metal çubuğun bir ucundan ısıtıldığını düşünelim.



Isı sıcak uçtan
soğuk uca hareket
edecektir.

Kalınlığı δx olan ince bir kesit için Isı akış hızı (dQ/dt), sıcaklık gradiyenti ($\delta T / \delta x$) ve kesit alanla orantılıdır.

$$\frac{dQ}{dt} = -Ak \frac{\delta T}{\delta x}$$

↓
termal iletkenlik katsayısı

From Principles of Electronic Materials and Devices, Third Edition, S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005)

21

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Fourier ısı iletim Yasası

$$\frac{dQ}{dt} = -Ak \frac{\delta T}{\delta x}$$

Isı akış hızı için itici kuvvet
sıcaklık gradiyentidir.

(-) işareti ısı akış yönünün
düşük sıcaklık tarafına doğru
olduğunu anlatır

Fourier ısı iletim Yasasını Ohm yasası ile karşılaştıracak olursak;

$$I = A\sigma \frac{\delta V}{\delta x}$$

$\frac{\delta V}{\delta x} = E$ Elektrik alan, potansiyel
gradiyenti

$$\frac{I}{A} = \sigma \left(\frac{\delta V}{\delta x} \right) \Rightarrow J = \sigma E$$

22

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Metallerde elektronlar yük ve ısı transferi işlemine katılırlar ve sıra ile σ , elektriksel iletkenlik ve k , termal iletkenlik parametreleri bu işlemleri tanımlar. Bu nedenle bu iki parametrenin birbirine bağlı olması şaşırtıcı değildir.

Wiedemann-Franz Yasası

$$C_{WFL} = \frac{k}{\sigma T} = 2.44 * 10^{-8} \text{ W } \Omega / K^2$$

Lorenz sayısı (L ile de gösterilebilir) ya da 'Wiedemann-Franz-Lorenz sabiti' olarak adlandırılan bir sabittir.

Bu yasaya göre k/σ oranı aynı sıcaklıkta bütün metaller için aynıdır.

23

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

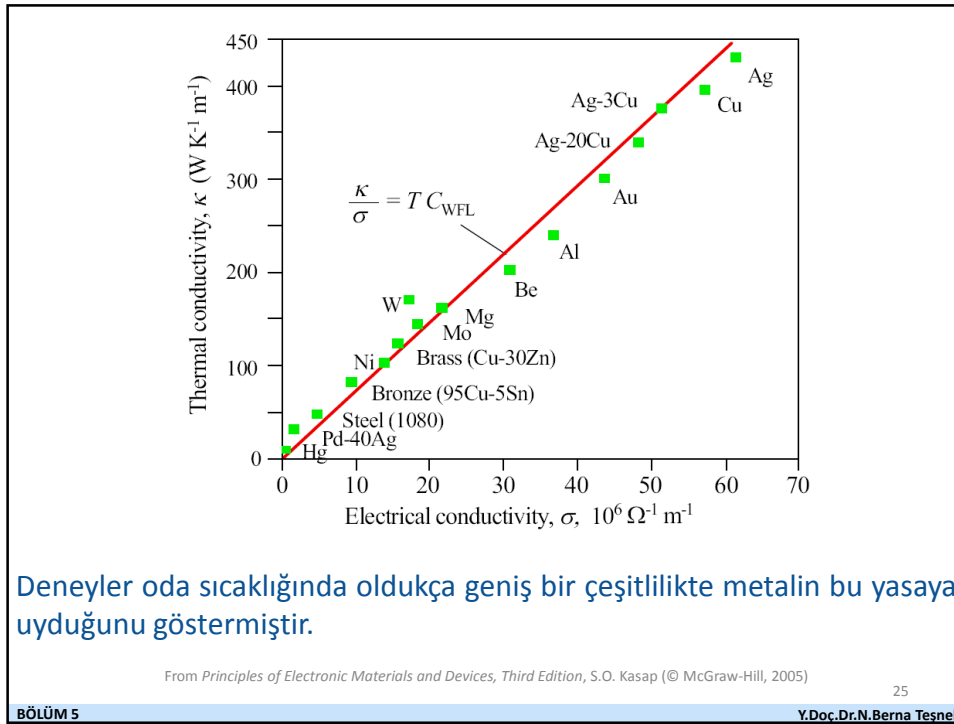
$$C_{WFL} = L = \frac{k}{\sigma T}$$

Material	$\frac{L}{[\Omega \cdot W / (K)^2 \times 10^{-8}]}$
Aluminum	2.20
Copper	2.25
Gold	2.50
Iron	2.71
Nickel	2.08
Silver	2.13
Tungsten	3.20
1025 Steel	—
316 Stainless steel	—
Brass (70Cu–30Zn)	—
Kovar (54Fe–29Ni–17Co)	2.80
Invar (64Fe–36Ni)	2.75
Super Invar (63Fe–32Ni–5Co)	2.68

24

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

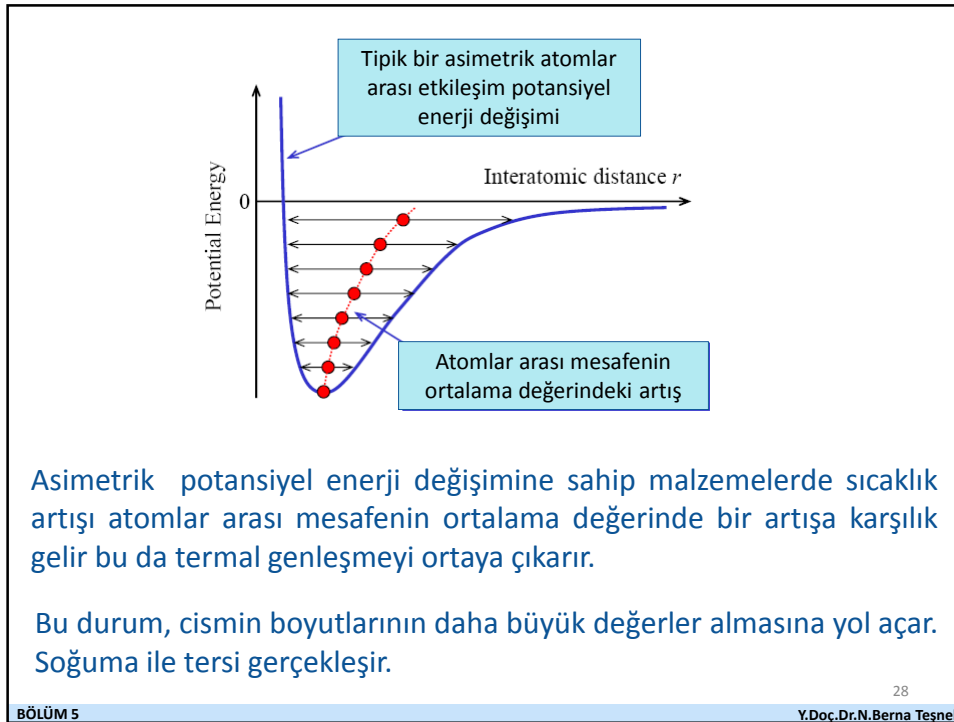
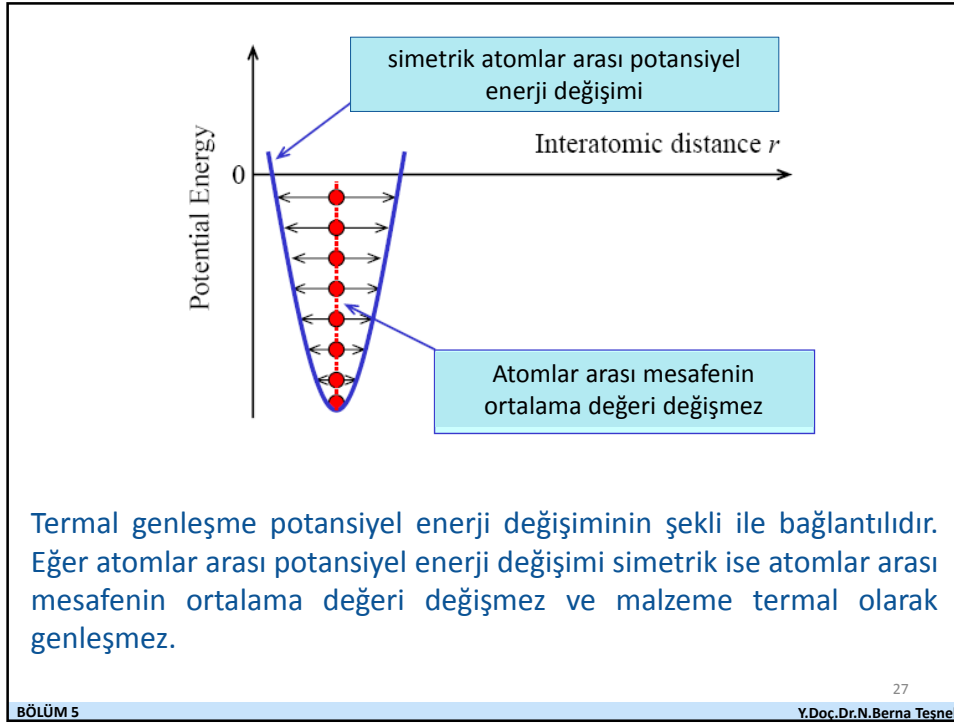


Termal Genleşme

Malzeme molekülleri küçük genlikli titreşim hareketi yaparlar. Sıcaklığın artırılması ortalama atomik titreşim genliğinin artmasına sebep olur.

Atomik açıdan bakıldığında, termal genleşme, atomlar arasındaki ortalama mesafedeki artışı yansıtır.

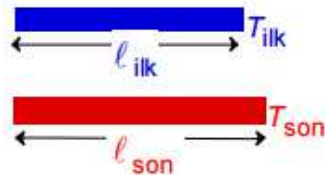
Her sınıf malzeme için (metal, seramik ve polimerler), daha büyük atomik bağ enerjisi, daha derin ve dar potansiyel enerji çukuru demektir.



Malzemenin boyutlarındaki birim uzunluk başına uzama miktarı **linear termal genişleme katsayısı** olarak verilir.

$$\alpha_l = \frac{l_{son} - l_{ilk}}{l_{ilk} (T_{son} - T_{ilk})} = \frac{\Delta l}{l_{ilk} \Delta T} = \frac{\epsilon}{\Delta T}$$

linear termal
genleşme katsayısı



29

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Sıcaklık değişimi ile malzemenin hacminde meydana gelen değişme **hacimsel termal genişleme katsayısı** ile tanımlanır.

$$\alpha_v = \frac{V_{son} - V_{ilk}}{V_{ilk} (T_{son} - T_{ilk})} = \frac{\Delta V}{V_{ilk} \Delta T}$$

hacimsel
termal
genleşme
katsayısı

$$\frac{\Delta V}{V_{ilk}} = \alpha_v \Delta T$$

eğer malzeme izotropik ve genişleme küçük ise

$$\alpha_v \approx 3\alpha_l \quad \text{kabul edilebilir}$$

30

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Malzeme	$\alpha_t (10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ oda sıcaklığında
• <u>Polimerler</u>	
Polipropilen	145-180
Polietilen	106-198
Polistiren	90-150
Teflon	126-216
• <u>Metaller</u>	
Alüminyum	23.6
Çelik	12
Tungsten	4.5
Altın	14.2
• <u>Seramikler</u>	
Magnesia (MgO)	13.5
Alumina (Al_2O_3)	7.6
Soda-kireç camı	9
Silika (cryst. SiO_2)	0.4

↑ artan α_t

Zayıf ikincil bağlardan dolayı polimerlerin α_t genleşme katsayıları yüksektir.

31

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Malzemenin hareketi sınırlanmışsa ısıtıldığında boyut değişimi mümkün olmayabilir. Bunun yerine malzemede bir termal gerilme gelişir.

$$\sigma = E \epsilon$$

gerilme \rightarrow σ

Elastiklik Modülü \rightarrow E

şekil değiştirme \rightarrow ϵ

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_{ilk}}$$



$$\sigma_{termal} = \frac{\Delta l}{l_{ilk}} E = \alpha_l (T_{son} - T_{ilk}) E$$

Termal gerilme \rightarrow σ_{termal}

Isı artışı yapılarda ic gerilme oluşturabilir !!!!

32

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli



Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde sıcaklıkla genleşen raylar kazaya neden olmuştu.
(Ağustos 2010)

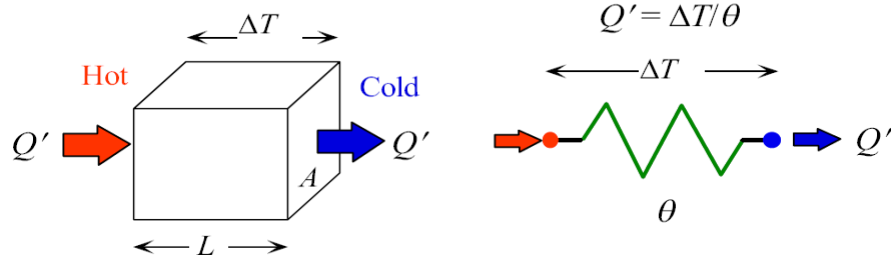
33

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Termal Direnç

Boyu L uçları arasındaki sıcaklık farkı ΔT olan bir örnek düşünelim.



$$\frac{dQ}{dt} = \left(\frac{Ak}{L} \right) \Delta T \Rightarrow \frac{dQ}{dT} = \left(\frac{L}{Ak} \right) \Delta T$$

Isı akış hızı

Termal Direnç, θ

$$\theta = \frac{L}{kA}$$

$$I = \left(\frac{\sigma A}{L} \right) \Delta V \Rightarrow I = \left(\frac{L}{\sigma A} \right) \Delta V$$

Yük akış hızı=Akım

Elektriksel Direnç, R

$$R = \frac{L}{\sigma A}$$

34

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Termoelektrik Etki

Serbest elektronlar hem yük hem de ısı iletiminden sorumlu olduklarından malzemede bu iki özelliğin etkileşimine bağlı olarak ortalaya çıkan davranışlar '**Termoelektrik Etki**' olarak adlandırılır.

Termoelektrik etki, ya sıcaklık farkının elektrik potansiyeli oluşturması ya da elektrik potansiyelinin sıcaklık farkına neden olması ile ilgili bir olaydır.

Bu durum **Seebeck etkisi** (sıcaklık farkının akıma dönüşmesi), **Peltier etkisi** (akımın sıcaklık farkı oluşturması) ya da **Thomson etkisi** (iletkenin ısınması/soğuması) olarak ortaya çıkabilir.

35

BÖLÜM 5

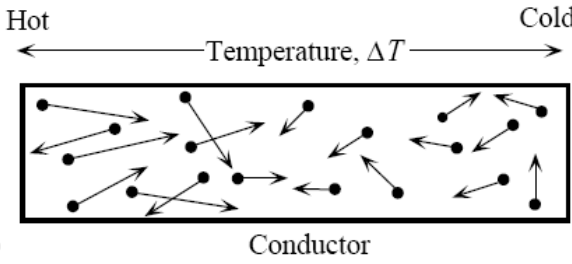
Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

- Tüm malzemelerde sıfır olmayan bir termoelektrik etki olmasına rağmen, çoğu malzemede bu etki kullanım açısından çok küçüktür. Yine de, yeteri kadar termoelektrik etkiye (ve diğer gereken özelliklere) sahip düşük maliyetli malzemeler, güç üretimi ve soğutma gibi uygulamalarda kullanılabilir.
- En yaygın kullanılan termoelektrik malzemelerden biri **bizmut tellürid** (Bi_2Te_3) dir.

36

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

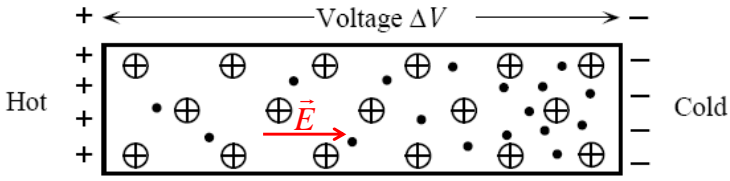


Bir metal ya da yarı iletkenin uçları arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda enerjik taşıyıcılar sıcak uçtan soğuk uca doğru hareket eder. Bu yük akışının sonucu olarak uçlar elektriksel olarak yüklü hale gelirler.

Yük ayrımı sonucu ortaya çıkan elektrik alan sıcaklık gradiyenti tarafından indüklenen bir elektrik akımı oluşturur ve yük akışını dengeleyerek durur. Bu koşullar altında örneğin uçları arasında bir potansiyel farkı meydana gelir.

37

BÖLÜM 5 Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli



Bir metal parçasının uçları arasında ΔT sıcaklık farkına bağlı olarak bir ΔV potansiyel farkı oluşmasına 'Seebeck Etkisi' denir.

Bu etkiyi ölçmek için **birim sıcaklık farkı başına üretilen potansiyel farkına** karşılık gelen özel bir katsayı tanımlanır.

$$S = \frac{dV}{dT}$$

Seebeck Katsayısı

38

BÖLÜM 5 Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Seebeck Katsayısı tam olarak uygun olmasa da yaygın olarak '**Termoelektrik Güç**' olarak da isimlendirilir. Ancak güç değil potansiyel fark ifade etmektedir.

S sıcaklığa bağlı bir malzeme özelliğidir ve pek çok malzeme için sıcaklığın fonksiyonu olarak belirtilir , **S(T)**.

Bir malzemenin Seebeck katsayısı biliniyor ise T_0 ile T sıcaklıkları arasındaki potansiyel farkı hesaplanabilir.

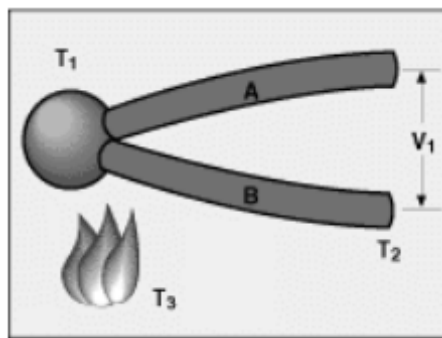
$$S(T) = \frac{dV}{dT} \quad \Rightarrow \quad \Delta V = \int_{T_0}^T S(T) dT$$

39

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Seebeck Etkisi iki farklı metalin bağlantı uçlarından birini bir referans sıcaklıkta, T_0 tutup diğer uç ile T sıcaklığını algılamada kullanılan **termoçift** / **termoelektrikçift** ya da **termokupl**'ların yapımında etkin olarak kullanılır.



40

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde en çok kullanılan sensörlerden birisi termokupldur. Termokupllarla -200°C 'ye kadar ölçüm yapılabilir.

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır.

Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir.

Termokupllun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına oranlıdır.

41

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Dolayısı ile soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır.

Bu nedenle termokupl mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın 0°C 'de tutulması ile elde edilmişlerdir.

Örneğin 400°C 'ye karşılık gelen mV değeri termokupllun sıcak noktası 400°C 'de, soğuk nokta 0°C 'de iken uç noktada ölçülen mV değeridir.



42

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

'Peltier etkisi' seebeck etkisinin karşıt etkisi olarak tanımlanabilir.

Farklı iki iletken den yapılmış bir halkaya akım uygulandığında iletkenlerin bağlı olduğu noktalar ısınır ya da soğur.

Peltier katsayısı ise uygulanan akımda ne kadar ısıtma ya da soğutma elde edildiğinin bir ölçüsüdür. Akım uygulandığında bir bağlantıdan diğer bağlantıya elektronlar transfer edilir ve bu elektronlar sahip oldukları enerjiyi bir bağlantıdan diğerine taşımış olurlar. Böylece elektronların ayrıldığı bağlantı soğurken elektronların gittiği bağlantı ise ısınacaktır.

43

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Termoelektrik malzemelerin bazı uygulama alanları;

- **Güç üretimi:** Dünyadaki elektriğin yaklaşık %90'ı ısı enerjisi ile üretilir. Normalde bu enerjinin verimi %30-40'dır. Böylece ısı enerjisinde yaklaşık 15 TW güç ortama yayılır. Termoelektrik cihazlar bu kaybolan ısının bir kısmını kullanışlı enerjiye dönüştürür.
- **Soğutma:** Termoelektrik malzemeler, soğutucu olarak kullanılabilir. Bunlar, "**termoelektrik soğutucular**", veya "**Peltier soğutucuları**" olarak adlandırılır. Peltier etkisi ile soğutmanın avantajı, hareketli parçaların veya dolaşan akışkanın olmamasıdır. Ayrıca küçük boyutlu ve uygun şekle sahiptirler. Diğer bir avantajı da, soğutucu akışkanlara ihtiyaç duymamasıdır. Peltier soğutucularının *dezavantajı* ise aynı anda düşük maliyet ve yüksek güç verimliliğine sahip olmamalarıdır. Yani maliyeti düşük olanın verimi de düşüktür ve tersi de geçerlidir.

44

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

Elektrik devrelerinde termal gürültü

Elektrik gürültüsünün temeli iletkenliği sağlayan elektron yoğunluğundaki dalgalanmadır.

İletkenin uçlarında çıkacak geçici elektron fazlalığı veya azlığı geçici kutuplanmaya sebep olur. Dolayısı ile gerilim dalgalanacaktır.

Eğer bu iletken bir amplifikatörün girişine bağlanmış olsaydı çıkışta gürültünün sesi algılanabilirdi.

Termal gürültünün ortalaması sıfırdır ancak rms değeri sıfır değildir, çünkü gürültünün bir gücü vardır.

45

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli

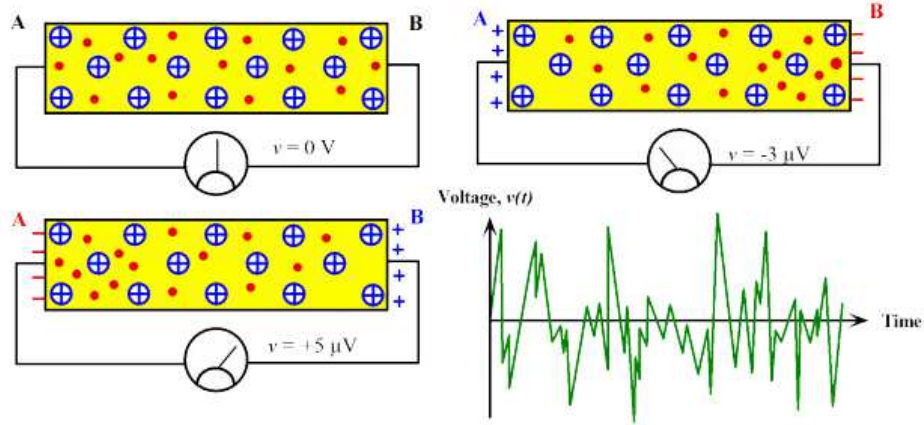


Fig.1.25: Random motion of conduction electrons in a conductor results in electrical noise.

From Principles of Electronic Materials and Devices, Third Edition, S.O. Kasap (© McGraw-Hill, 2005)

46

BÖLÜM 5

Y.Doç.Dr.N.Berna Teşneli