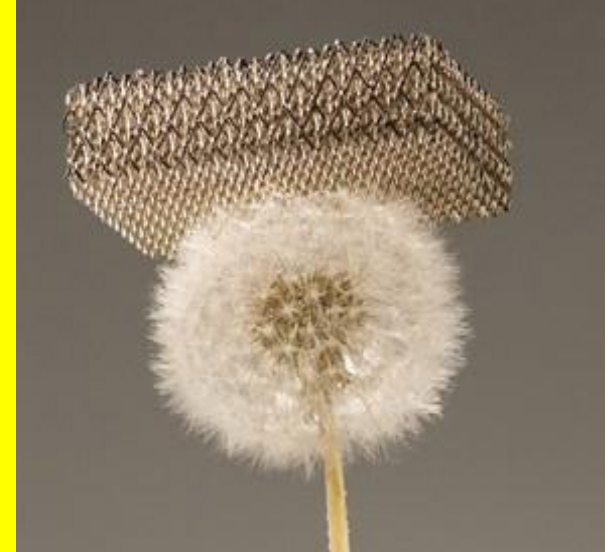
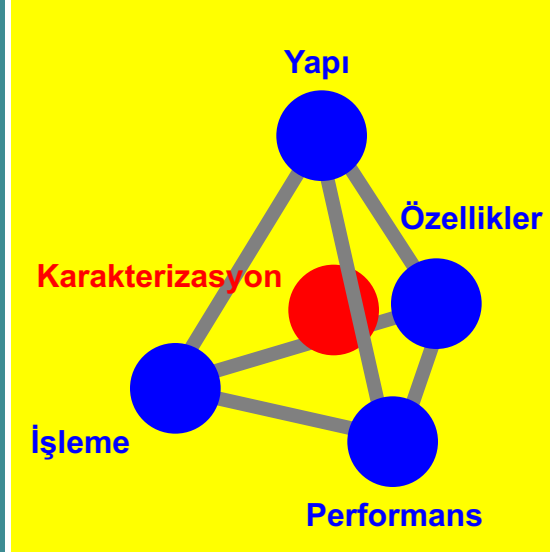
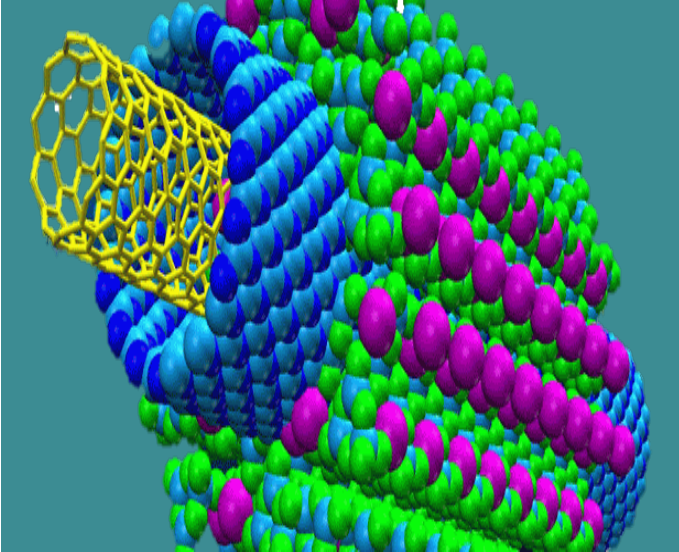


# FZM 220

## Malzeme Bilimine Giriş



Prof. Dr. İlker DİNÇER

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Fizik Mühendisliği Bölümü

## Ders Hakkında

### FZM 220 Malzeme Bilimine Giriş Dersinin Amacı

Bu dersin amacı, fizik mühendisliği öğrencilerine, malzemelerin yapısal özellikleri ile mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri tanıtmak ve tasarımlarındaki malzeme seçiminin önemini lisans düzeyinde öğretmektir.

## Dersin İçeriği

Hafta	Konu
1. Hafta	Giriş: Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinin Önemi ( <u>Ön Çalışma: Dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
2. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
3. Hafta	Atomal Yapı ve Atomlararası Bağ-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
4. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
5. Hafta	Katılarda Kristal Yapılar-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
6. Hafta	Katılarda Kusurlar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
7. Hafta	Katılarda Kusurlar-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
8. Hafta	Vize Sınavı ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftaların konularını gözden geçirip Vize Sınavına hazırlanınız.</u> )
9. Hafta	Yayınma-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
10. Hafta	Yayınma-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
11. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-1 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
12. Hafta	Metallerin Mekanik Özellikleri-2 ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
13. Hafta	Dislokasyonlar ve Dayanım Arttırıcı Mekanizmalar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )
14. Hafta	Hasar ( <u>Ön Çalışma: Önceki haftanın konusunu gözden geçirin ve dersten önce ders kitabın ilgili kısımlarını okuyunuz.</u> )

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler

- Yayınma katsayısı  $D$ 'nin büyüklüğü, yayınan atomların hızının bir göstergesidir. Yayınma katsayısının büyüklüğü, hem yayınan hem de matris atomlarına bağlıdır.
- Çeşitli metal yayınma çiftleri için kendinde-yayınma ve birbirinde-yayınmaya ait katsayılar Çizelge'de verilmiştir.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

Yayınan Atom	Matris Metal	$D_0(m^2/s)$	Aktivasyon Enerjisi $Q_y$		Hesaplanan Değer	
			$kJ/mol$	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Fe	$\alpha$ -Fe (BCC)	$2,8 \times 10^{-4}$	251	2,60	500	$3,0 \times 10^{-21}$
					900	$1,8 \times 10^{-15}$
Fe	$\gamma$ -Fe (FCC)	$5,0 \times 10^{-5}$	284	2,94	900	$1,1 \times 10^{-17}$
					1100	$7,8 \times 10^{-16}$
C	$\alpha$ -Fe	$6,2 \times 10^{-7}$	80	0,83	500	$2,4 \times 10^{-12}$
					900	$1,7 \times 10^{-10}$
C	$\gamma$ -Fe	$2,3 \times 10^{-5}$	148	1,53	900	$5,9 \times 10^{-12}$
					1100	$5,3 \times 10^{-11}$
Cu	Cu	$7,8 \times 10^{-5}$	211	2,19	500	$4,2 \times 10^{-19}$
Zn	Cu	$2,4 \times 10^{-5}$	189	1,96	500	$4,0 \times 10^{-18}$
Al	Al	$2,3 \times 10^{-4}$	144	1,49	500	$4,2 \times 10^{-14}$
Cu	Al	$6,5 \times 10^{-5}$	136	1,41	500	$4,1 \times 10^{-14}$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$
Cu	Ni	$2,7 \times 10^{-5}$	256	2,65	500	$1,3 \times 10^{-22}$

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler

- Yayınma katsayısı  $D$ 'nin büyüklüğü, yayınan atomların hızının bir göstergesidir. Yayınma katsayısının büyüklüğü, hem yayınan hem de matris atomlarına bağlıdır.
- Çeşitli metal yayınma çiftleri için kendinde-yayınma ve birbirinde-yayınmaya ait katsayılar Çizelge'de verilmiştir.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

Yayınan Atom	Matris Metal	$D_0(m^2/s)$	Aktivasyon Enerjisi $Q_y$		Hesaplanan Değer	
			$kJ/mol$	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Fe	$\alpha$ -Fe (BCC)	$2,8 \times 10^{-4}$	251	2,60	500	$3,0 \times 10^{-21}$
					900	$1,8 \times 10^{-15}$
Fe	$\gamma$ -Fe (FCC)	$5,0 \times 10^{-5}$	284	2,94	900	$1,1 \times 10^{-17}$
					1100	$7,8 \times 10^{-16}$
C	$\alpha$ -Fe	$6,2 \times 10^{-7}$	80	0,83	500	$2,4 \times 10^{-12}$
					900	$1,7 \times 10^{-10}$
C	$\gamma$ -Fe	$2,3 \times 10^{-5}$	148	1,53	900	$5,9 \times 10^{-12}$
					1100	$5,3 \times 10^{-11}$
Cu	Cu	$7,8 \times 10^{-5}$	211	2,19	500	$4,2 \times 10^{-19}$
Zn	Cu	$2,4 \times 10^{-5}$	189	1,96	500	$4,0 \times 10^{-18}$
Al	Al	$2,3 \times 10^{-4}$	144	1,49	500	$4,2 \times 10^{-14}$
Cu	Al	$6,5 \times 10^{-5}$	136	1,41	500	$4,1 \times 10^{-14}$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$
Cu	Ni	$2,7 \times 10^{-5}$	256	2,65	500	$1,3 \times 10^{-22}$

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- Yayınma katsayısı ve hızı üzerinde en büyük etki sıcaklığa aittir.

Yayınma katsayısının  
sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$D_0$  = Sıcaklıktan bağımsız bir malzemeye yayınma sabiti ( $m^2/s$ )

$Q_y$  = Yayınma için aktivasyon enerjisi (J/mol veya eV/atom)

$R$  = Gaz sabiti,  $8.31 \text{ J/mol.K}$  veya  $8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$

$T$  = Mutlak sıcaklık (K)

- **Aktivasyon enerjisi**, bir mol atomun yayınma hareketi yapabilmesi için gerekli enerjidir.
- **Aktivasyon enerjisinin büyük olması**, **yayınma katsayısının** nispeten **küçük olması** sonucunu doğurur.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- $D_0$  ve  $Q_y$  deneysel olarak belirlenebilir. Nasıl?

Yayınma katsayısının  
sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- $D_0$  ve  $Q_y$  deneysel olarak belirlenebilir. Nasıl?

Yayınma katsayısının  
sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{Q_y}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- $D_0$  ve  $Q_y$  deneysel olarak belirlenebilir. Nasıl?

Yayınma katsayısının  
sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{Q_y}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$\log(D) = \log(D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left(\frac{1}{T}\right)$$



# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- $D_0$  ve  $Q_y$  deneysel olarak belirlenebilir. Nasıl?

Yayınma katsayısının sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{Q_y}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$\log(D) = \log(D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$y = b + mx$$

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık

- $D_0$  ve  $Q_y$  deneysel olarak belirlenebilir. Nasıl?

Yayınma katsayısının  
sıcaklıkla olan ilişkisi

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{Q_y}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

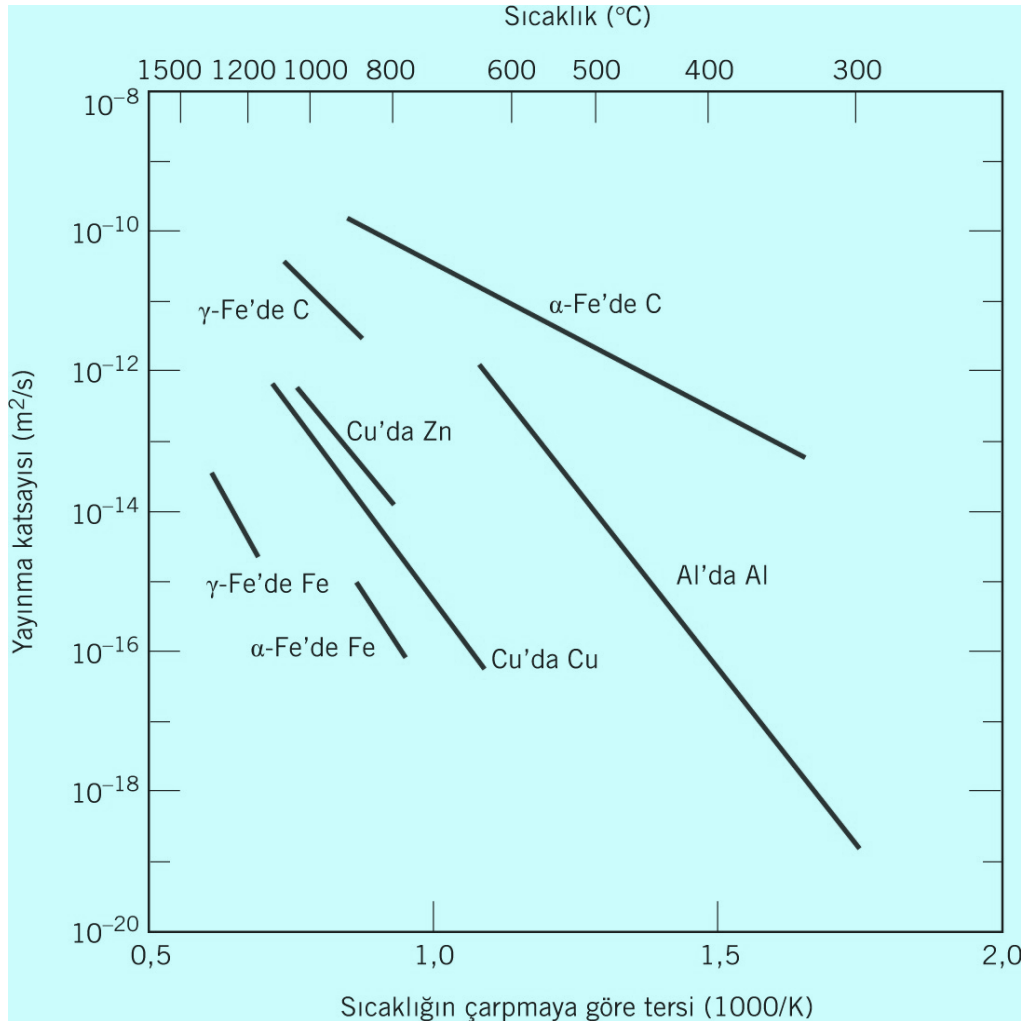
$$\log(D) = \log(D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$y = b + mx$$

- $\log(D_0)$  ve  $(1/T)$  grafiği doğrusaldır. Bu doğrunun eğimi  $\frac{-Q_y}{2.3R}$ 'ye ve  $\log(D)$  eksenini kestiği nokta  $\log(D_0)$  değerini verir.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



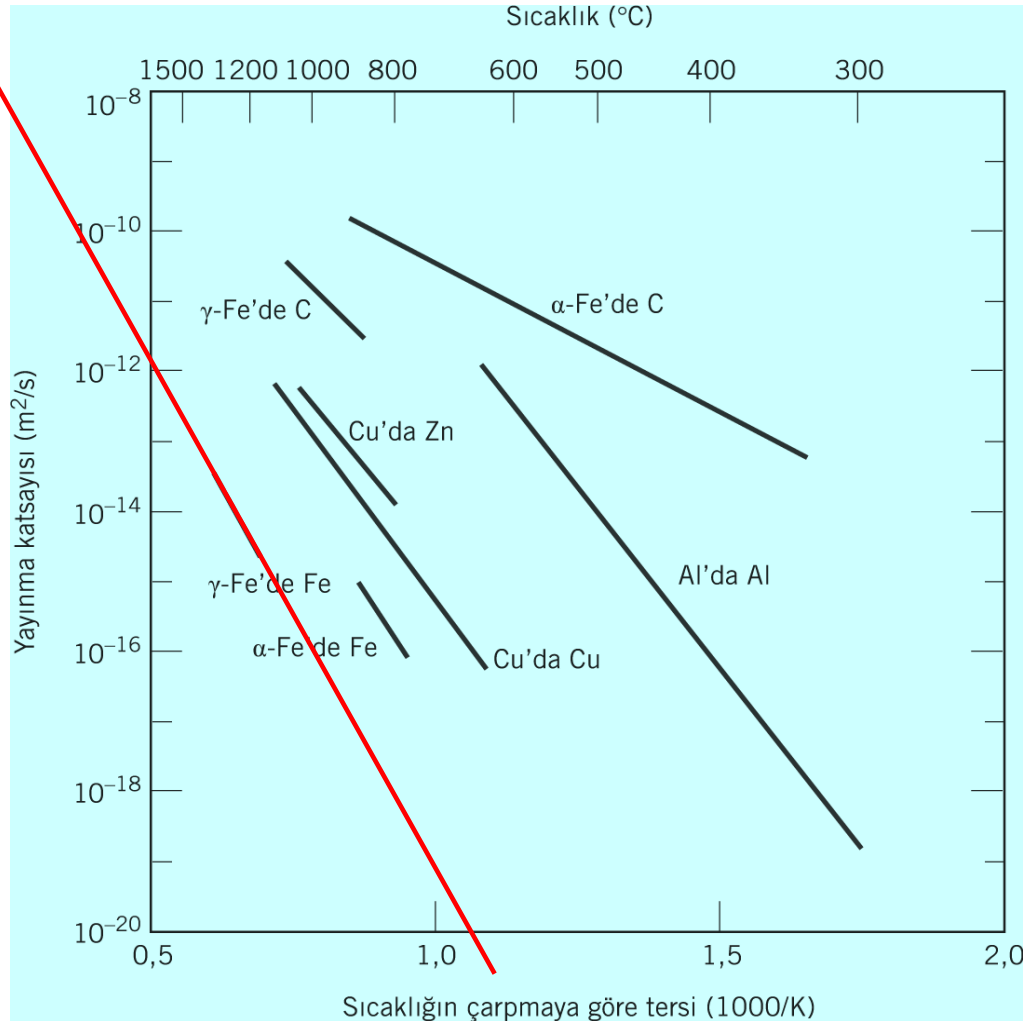
$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



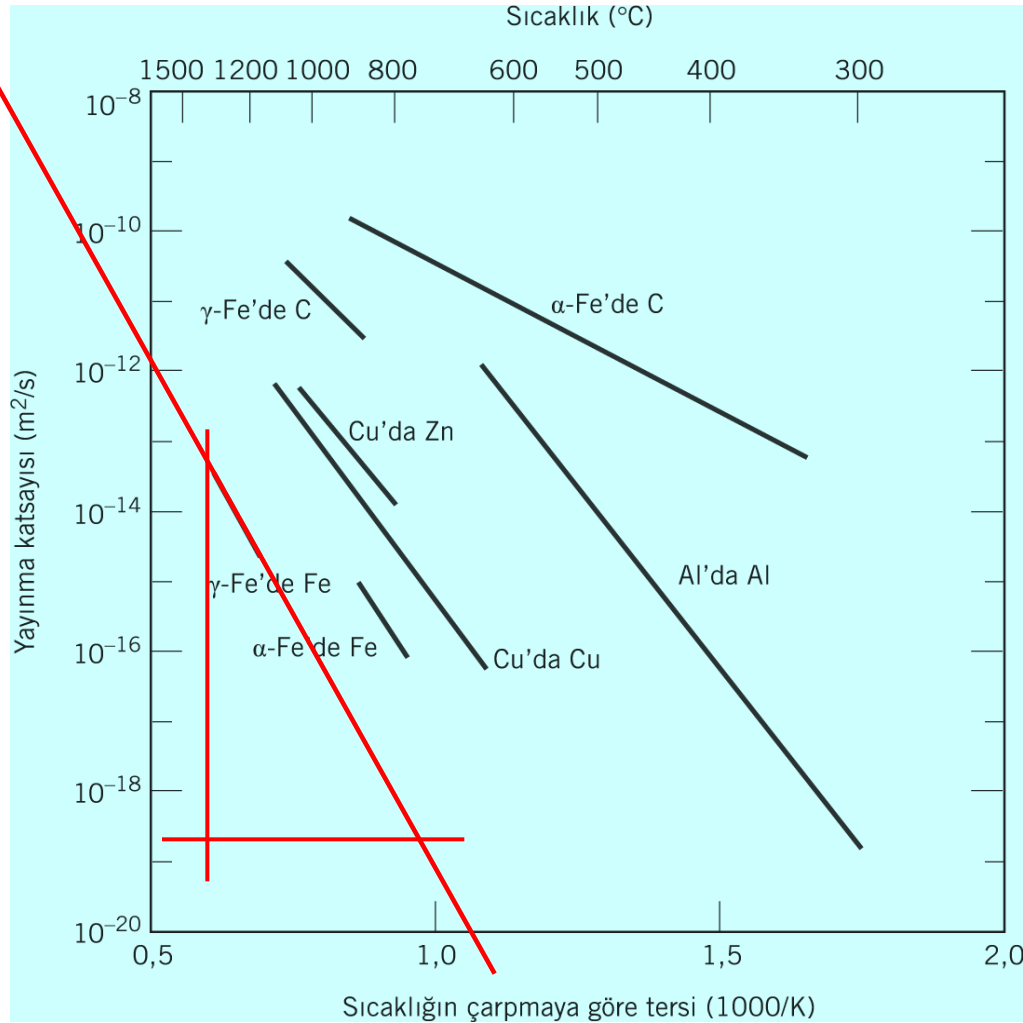
$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



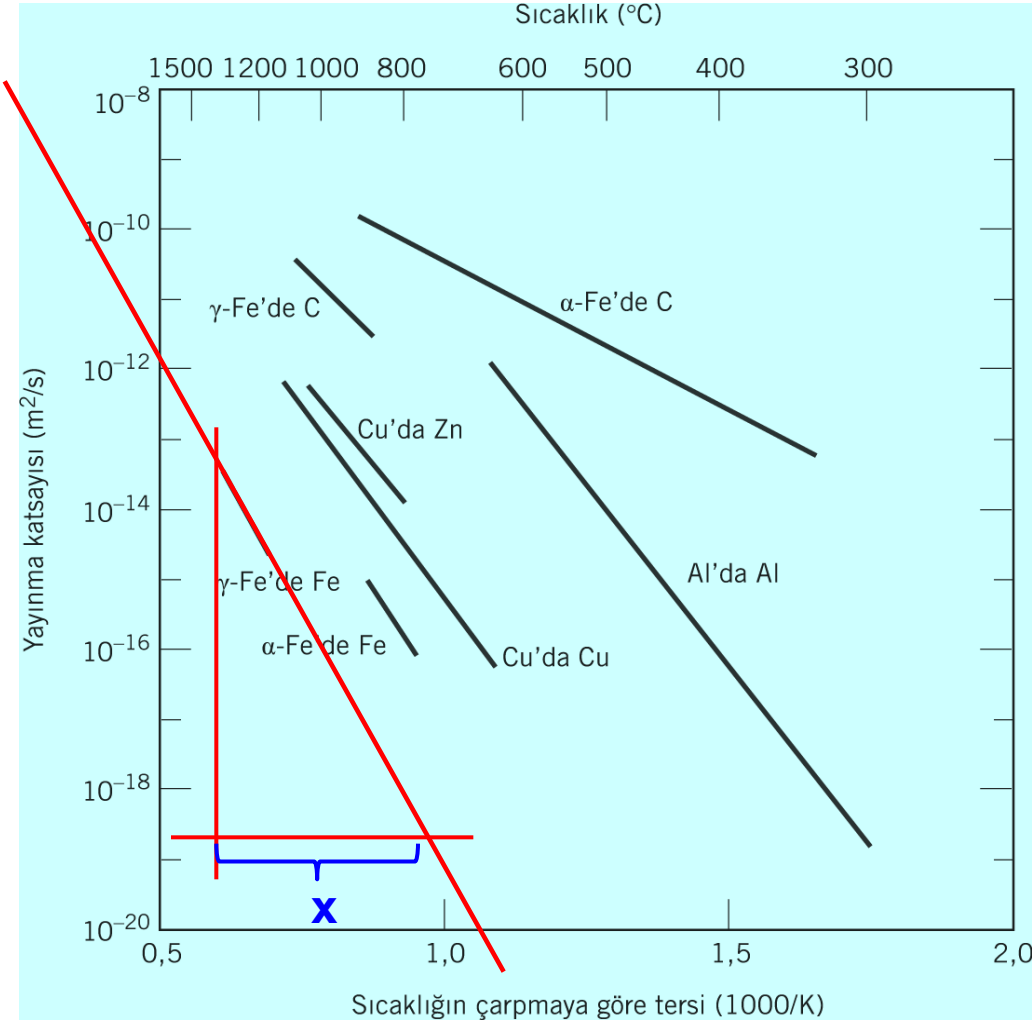
$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



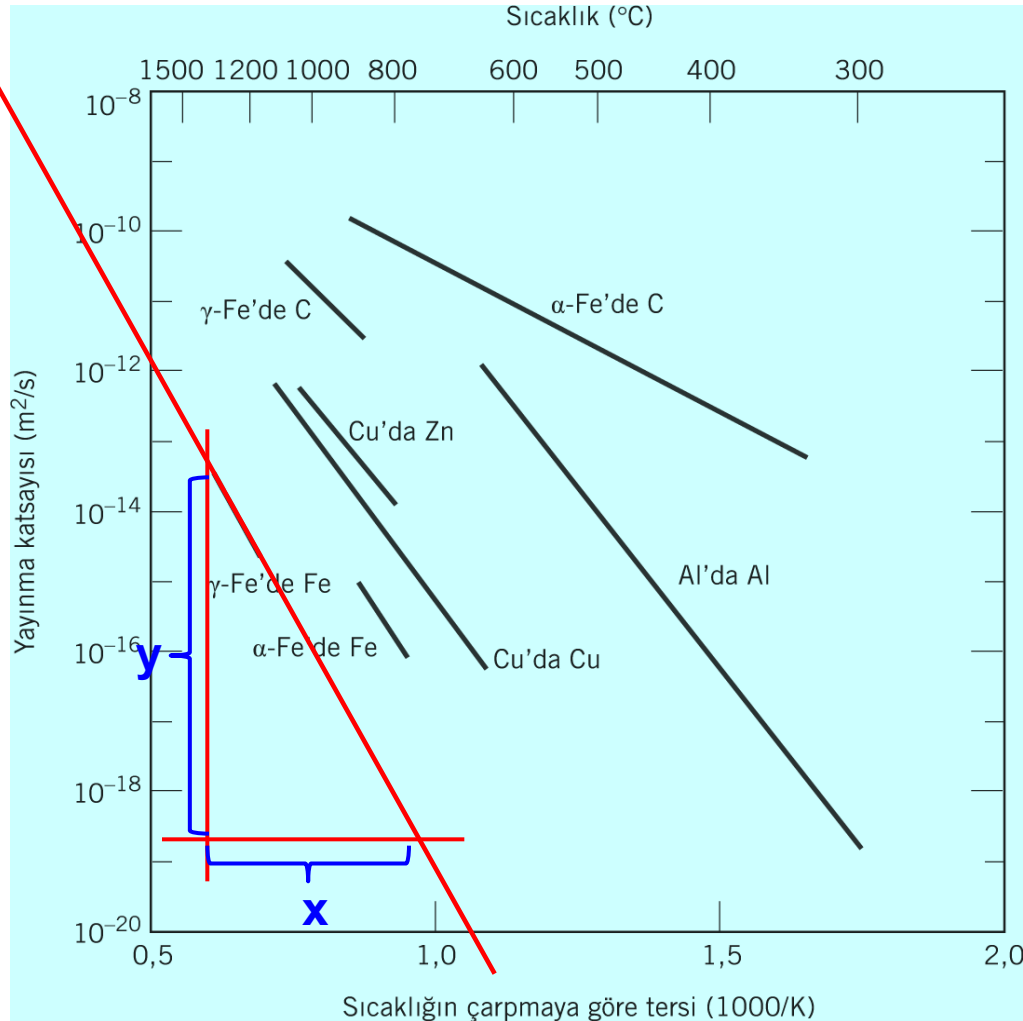
$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



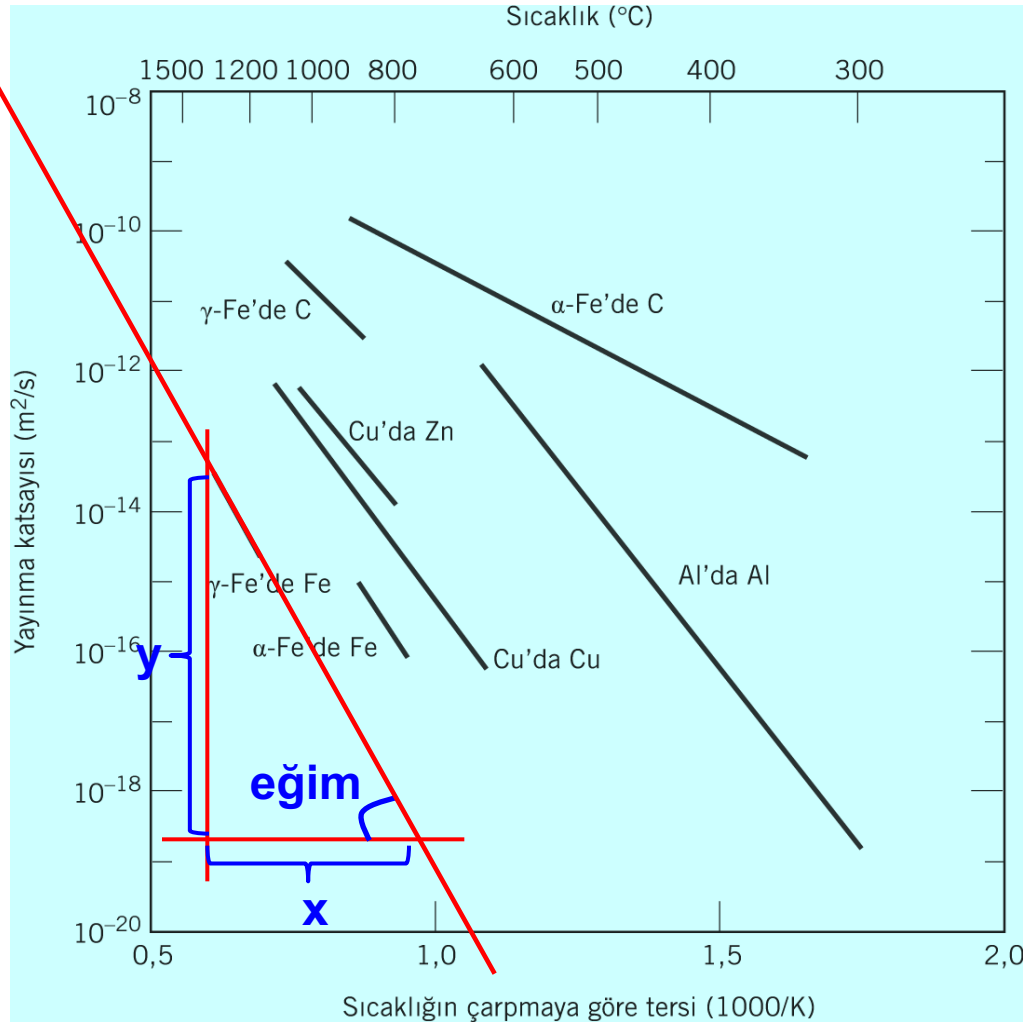
$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

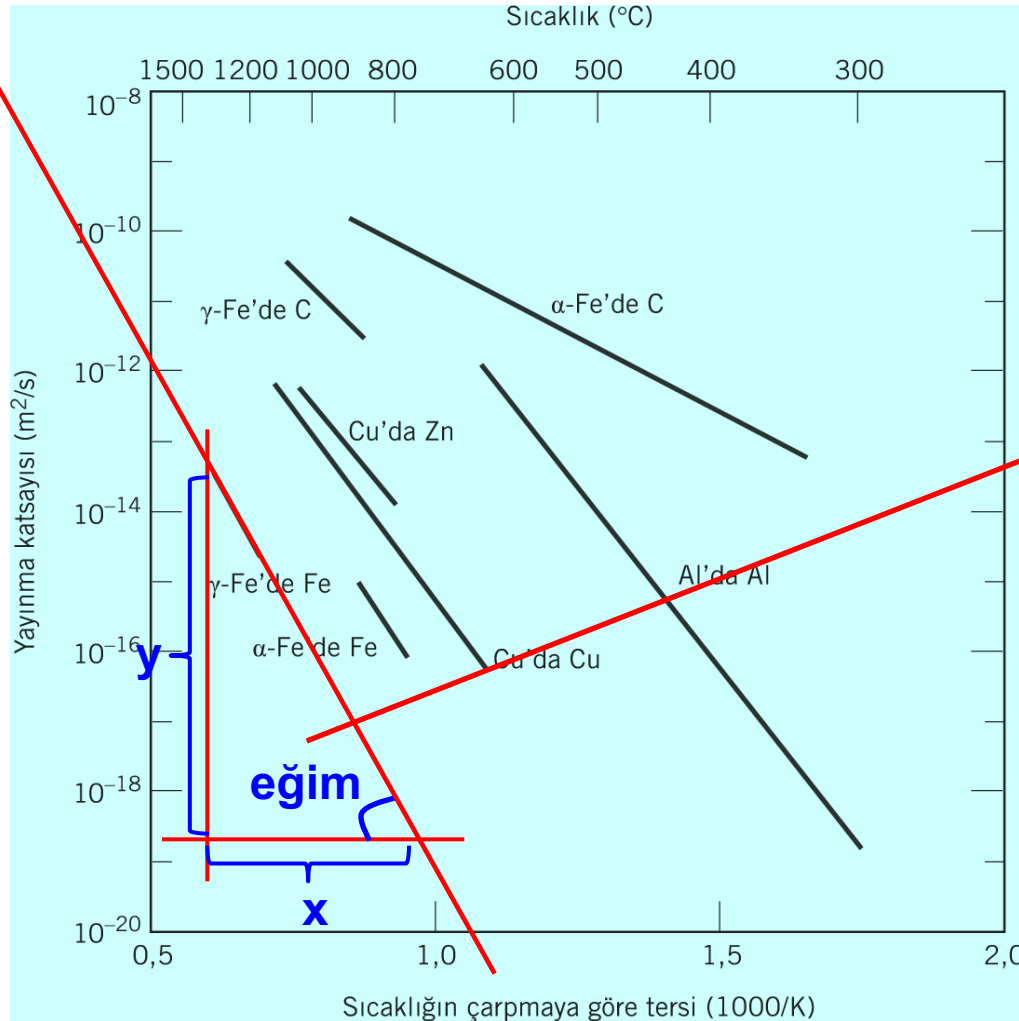
$$y = b + mx$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.



# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

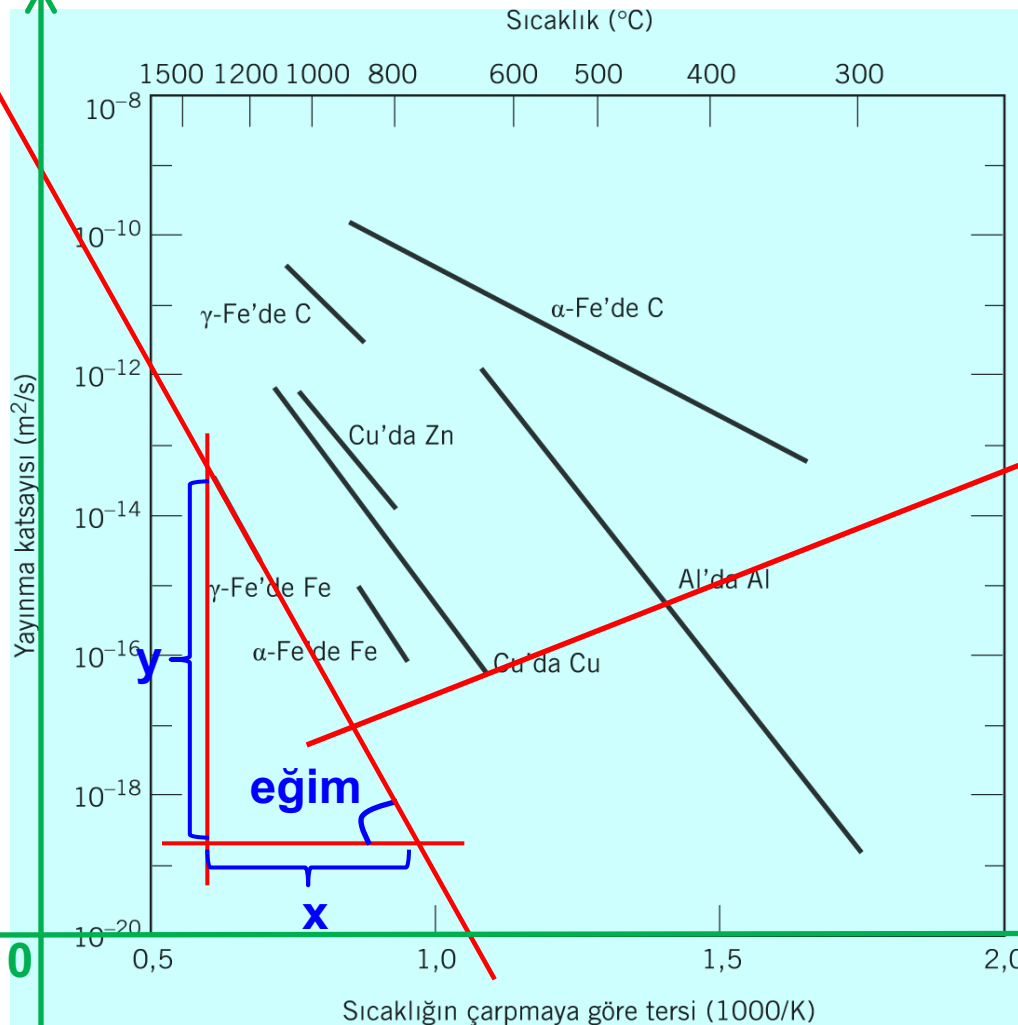
$$y = b + mx$$

$$\text{eğim} = \frac{y}{x} = - \frac{Q_y}{2.3 R}$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

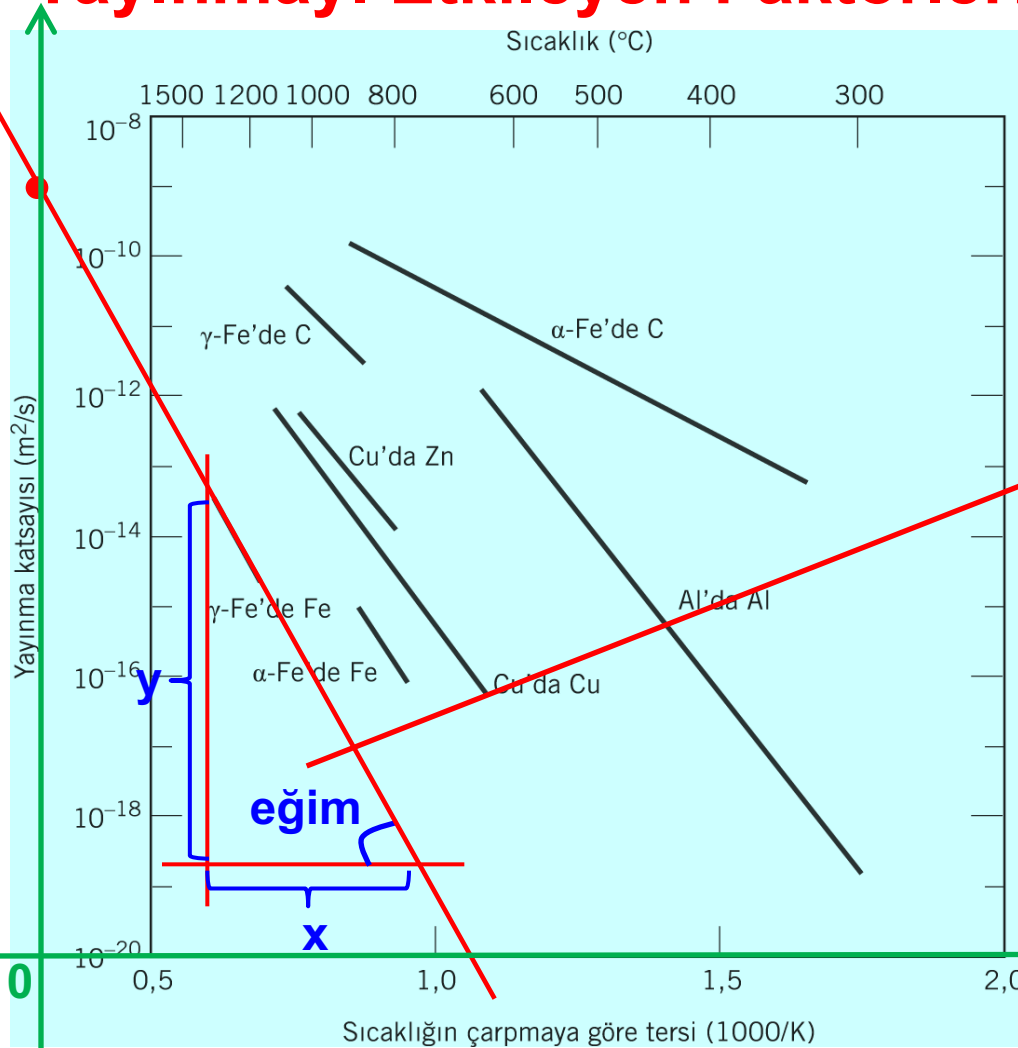
$$y = b + mx$$

$$\text{eğim} = \frac{y}{x} = - \frac{Q_y}{2.3 R}$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

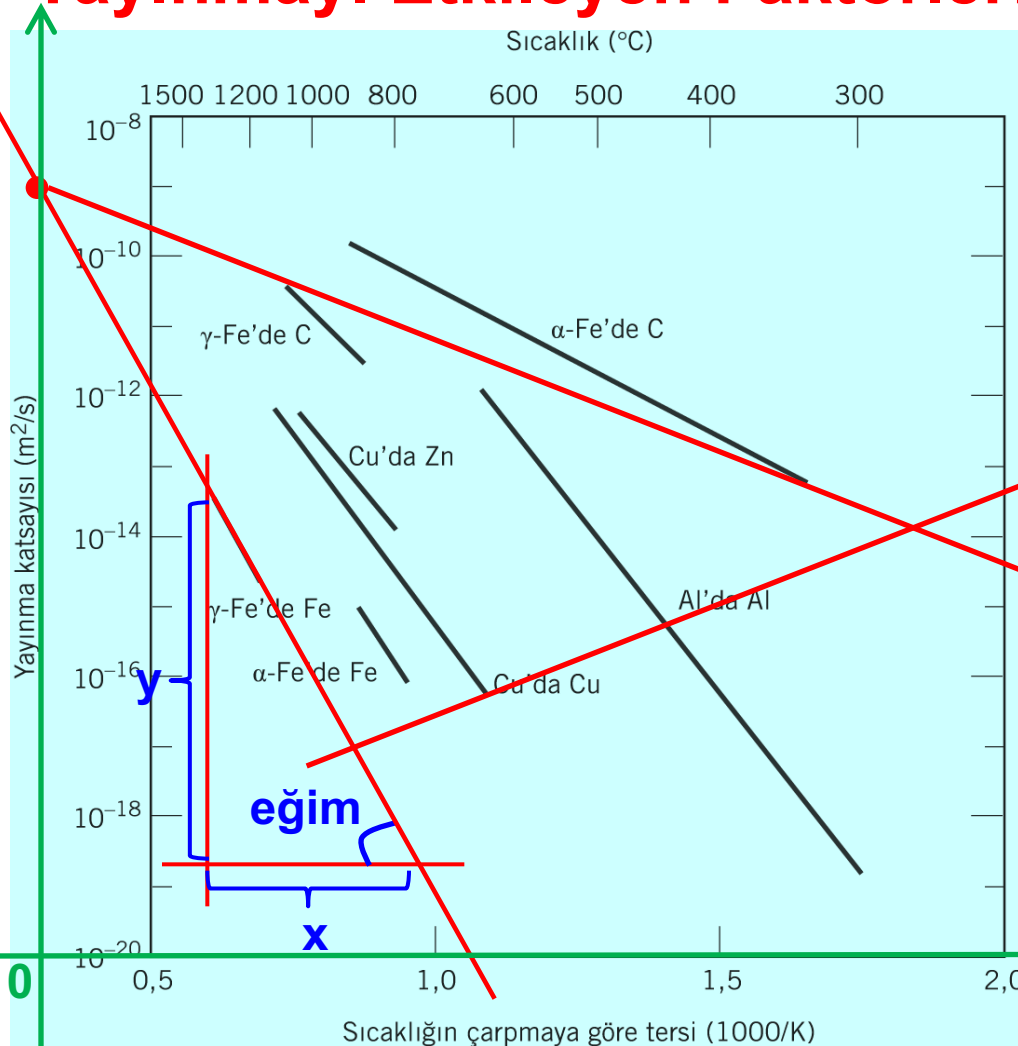
$$y = b + mx$$

$$\text{eğim} = \frac{y}{x} = - \frac{Q_y}{2.3 R}$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Yayınmayı Etkileyen Faktörler: Sıcaklık



$$\log (D) = \log (D_0) - \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

$$y = b + mx$$

$$\text{eğim} = \frac{y}{x} = - \frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$b = \log (D_0)$$

Şekil 5.6. Bazı metaller için logaritmik yayınma katsayısının mutlak sıcaklığın tersiyle değişimi.

# 5. Yayınma

## Örnek

Çizelgedeki verileri kullanarak Mg'un 550 °C sıcaklıkta Al içerisindeki yayınma katsayısını hesaplayınız.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

<i>Yayınan Atom</i>	<i>Matris Metal</i>	<i>D<sub>0</sub>(m<sup>2</sup>/s)</i>	<i>Aktivasyon Enerjisi Q<sub>y</sub></i>		<i>Hesaplanan Değer</i>	
			<i>kJ/mol</i>	<i>eV/atom</i>	<i>T(°C)</i>	<i>D(m<sup>2</sup>/s)</i>
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$

# 5. Yayınma

## Örnek

Çizelgedeki verileri kullanarak Mg'un 550 °C sıcaklıkta Al içerisindeki yayınma katsayısını hesaplayınız.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

Yayınan Atom	Matris Metal	$D_0(m^2/s)$	Aktivasyon Enerjisi $Q_y$		Hesaplanan Değer	
			$kJ/mol$	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

# 5. Yayınma

## Örnek

Çizelgedeki verileri kullanarak Mg'un 550 °C sıcaklıkta Al içerisindeki yayınma katsayısını hesaplayınız.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

Yayınan Atom	Matris Metal	$D_0(m^2/s)$	Aktivasyon Enerjisi $Q_y$		Hesaplanan Değer	
			$kJ/mol$	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$D = (1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}) e^{\left(-\frac{(131000 \text{ J/mol})}{(8.31 \text{ J/mol.K})(550+273 \text{ K})}\right)}$$

# 5. Yayınma

## Örnek

Çizelgedeki verileri kullanarak Mg'un 550 °C sıcaklıkta Al içerisindeki yayınma katsayısını hesaplayınız.

Çizelge. Yayınmaya ait veriler.

Yayınan Atom	Matris Metal	$D_0(m^2/s)$	Aktivasyon Enerjisi $Q_y$		Hesaplanan Değer	
			$kJ/mol$	$eV/atom$	$T(^{\circ}C)$	$D(m^2/s)$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$

$$D = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT}\right)}$$

$$D = (1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}) e^{\left(-\frac{(131000 \text{ J/mol})}{(8.31 \text{ J/mol.K})(550+273 \text{ K})}\right)}$$

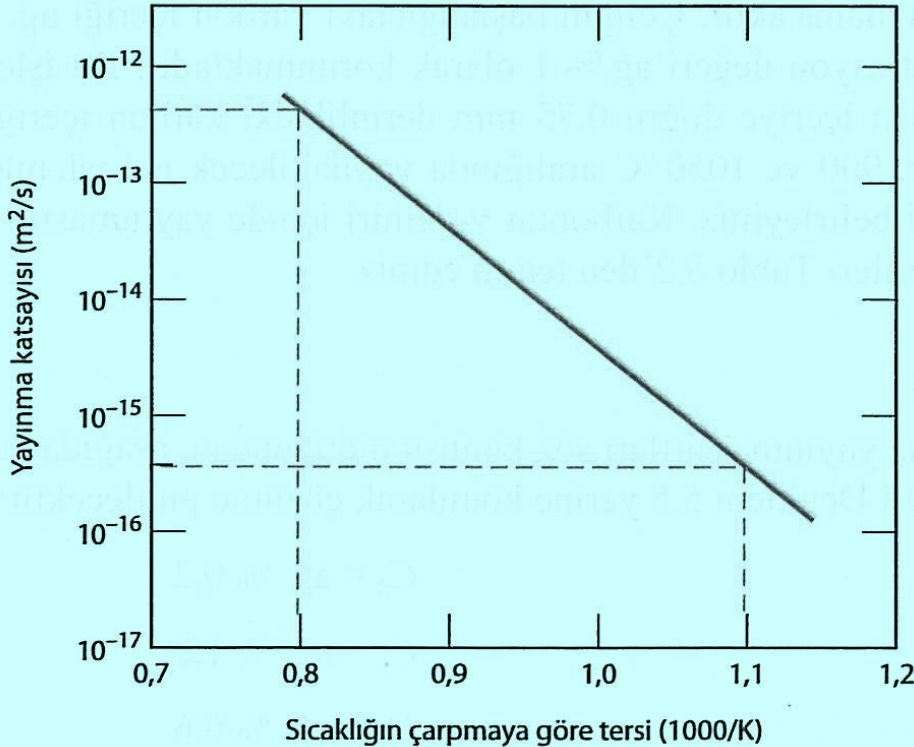
$$D = (5.8 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s})$$



# 5. Yayınma

## Örnek

$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

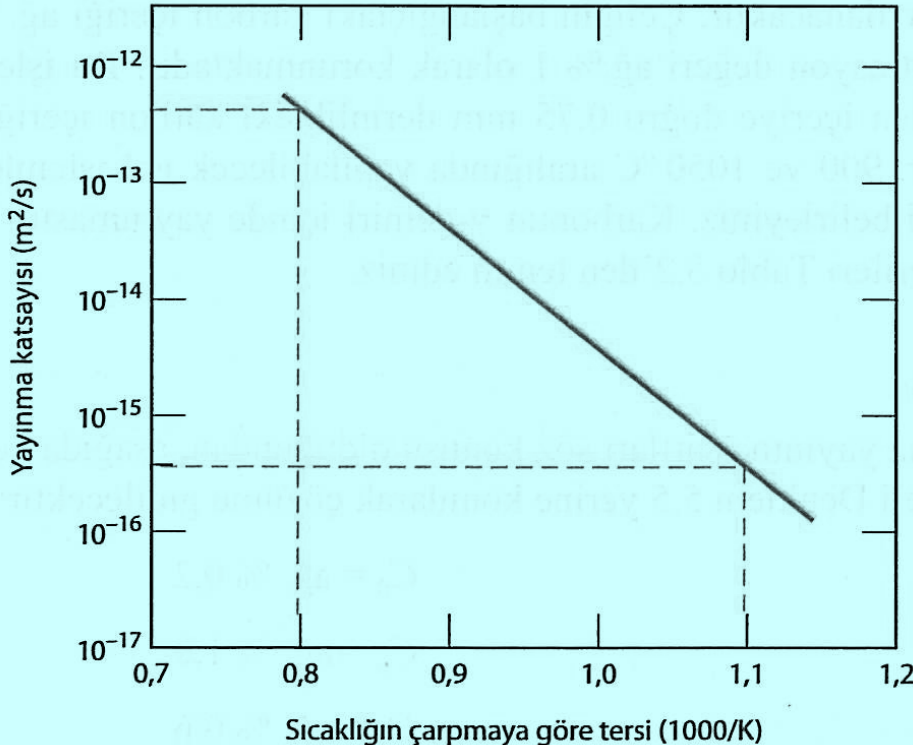


# 5. Yayınma

## Örnek

$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$



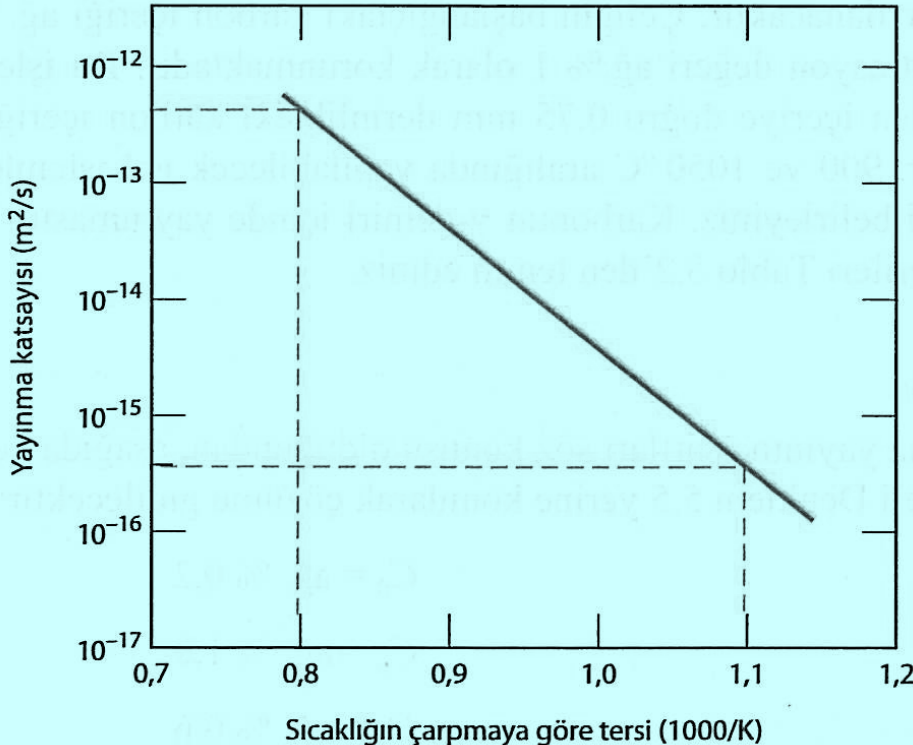
# 5. Yayınma

## Örnek

$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$



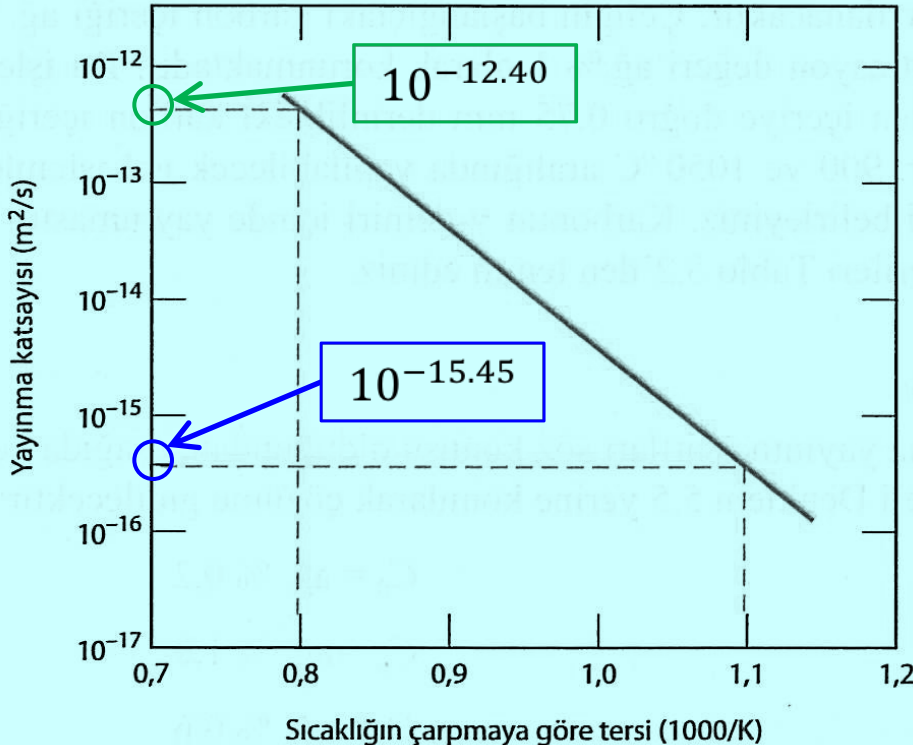
# 5. Yayınma

## Örnek

$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$



28 ara değerlerinin okunmasını etkileyecektir; örneğin, 10<sup>-14</sup> ve 10<sup>-15</sup> değerlerinin tam  
12 ortasındaki veri 5 × 10<sup>-15</sup> değil, 10<sup>-14.5</sup>'dir, bu da 3,2 × 10<sup>-15</sup>'e eşittir].

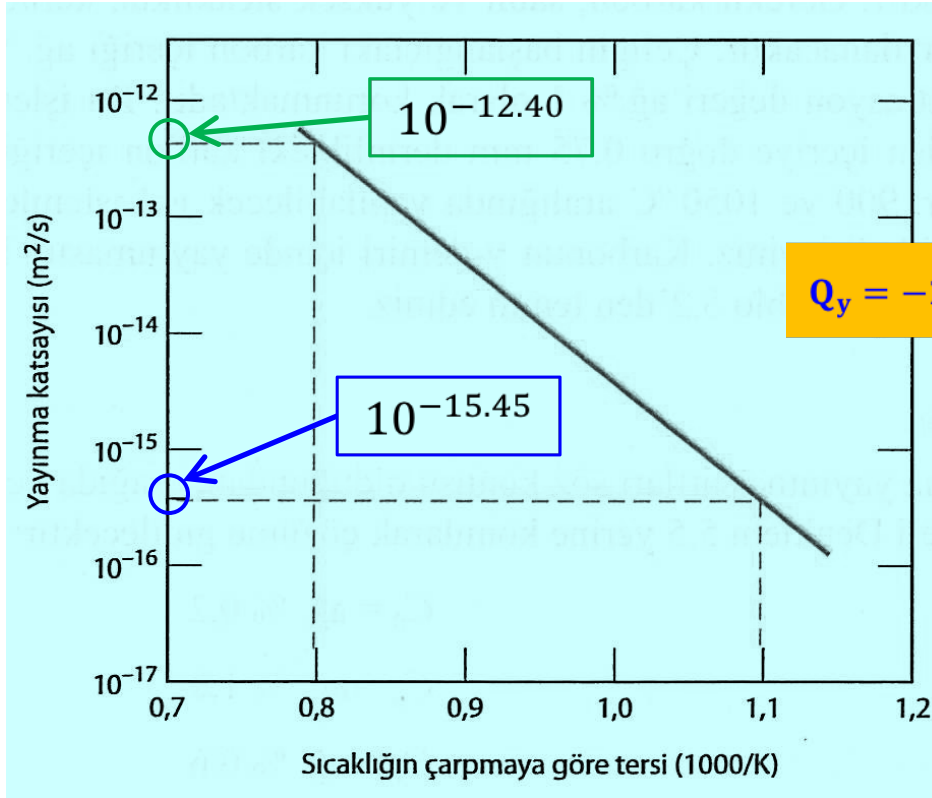
limine Giriş

Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

2. ara değerlerinin okunmasını etkileyecektir; örneğin,  $10^{-14}$  ve  $10^{-15}$  değerlerinin tam ortasındaki veri  $5 \times 10^{-15}$  değil,  $10^{-14.5}$ 'dir, bu da  $3,2 \times 10^{-15}$ 'e eşittir].

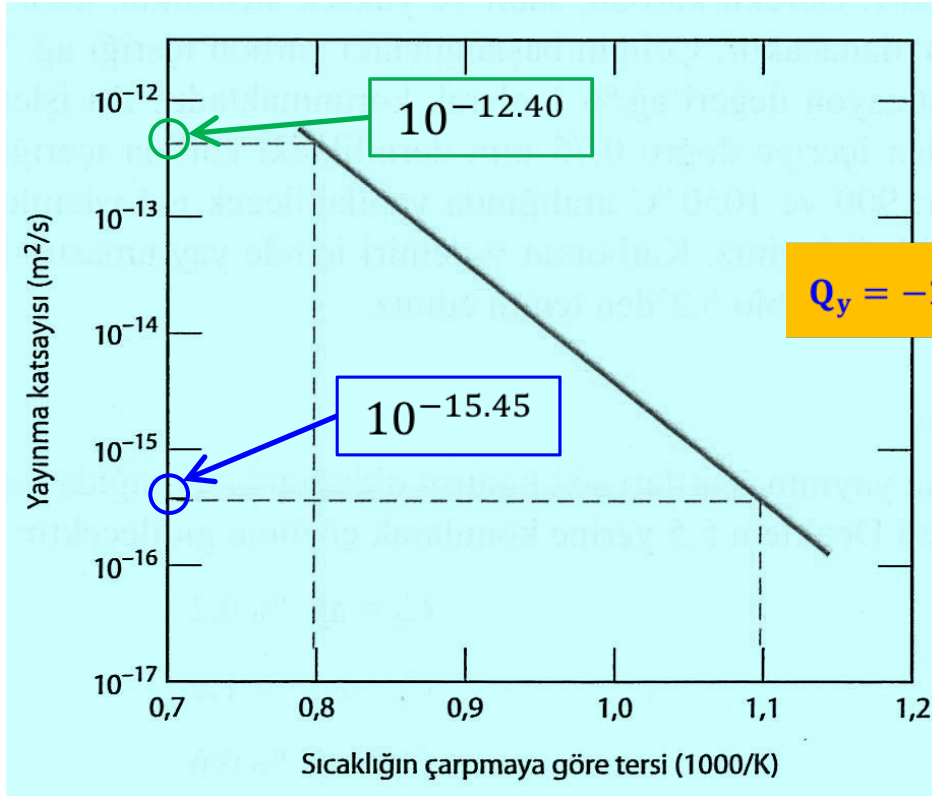
limine Giriş

Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol}$$

3( ara değerlerinin okunmasını etkileyecektir; örneğin,  $10^{-14}$  ve  $10^{-15}$  değerlerinin tam ortasındaki veri  $5 \times 10^{-15}$  değil,  $10^{-14.5}$ 'dir, bu da  $3,2 \times 10^{-15}$ 'e eşittir].

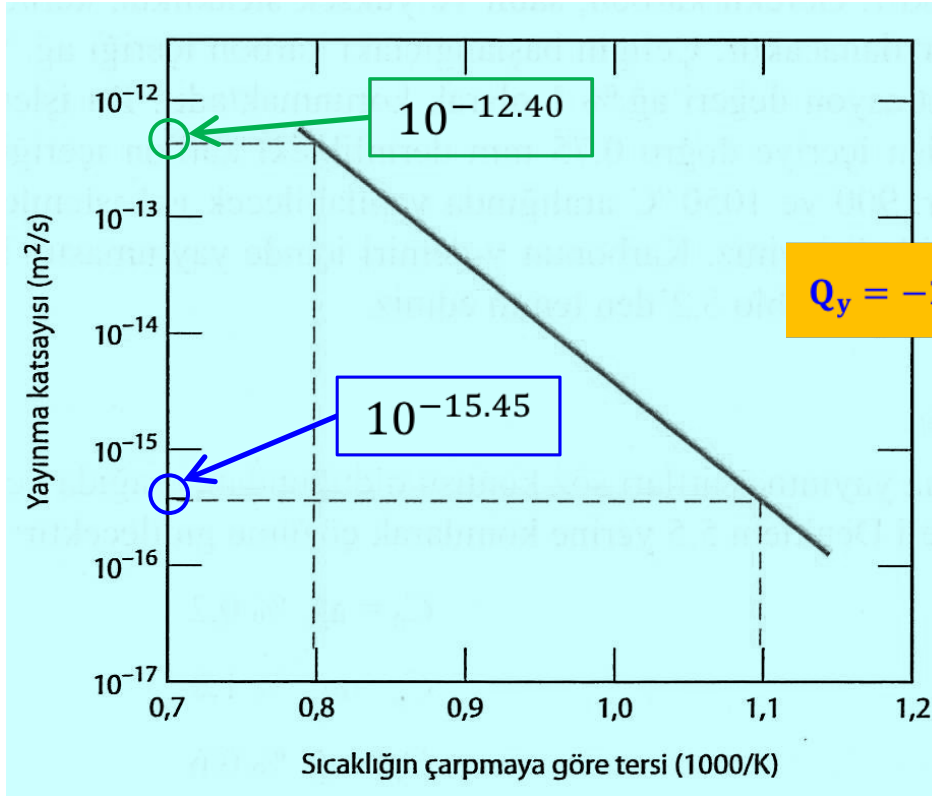
limine Giriş

Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer  
Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

3. ara değerlerinin okunmasını etkileyecektir; örneğin,  $10^{-14}$  ve  $10^{-15}$  değerlerinin tam ortasındaki veri  $5 \times 10^{-15}$  değil,  $10^{-14.5}$ 'dir, bu da  $3,2 \times 10^{-15}$ 'e eşittir].

limine Giriş

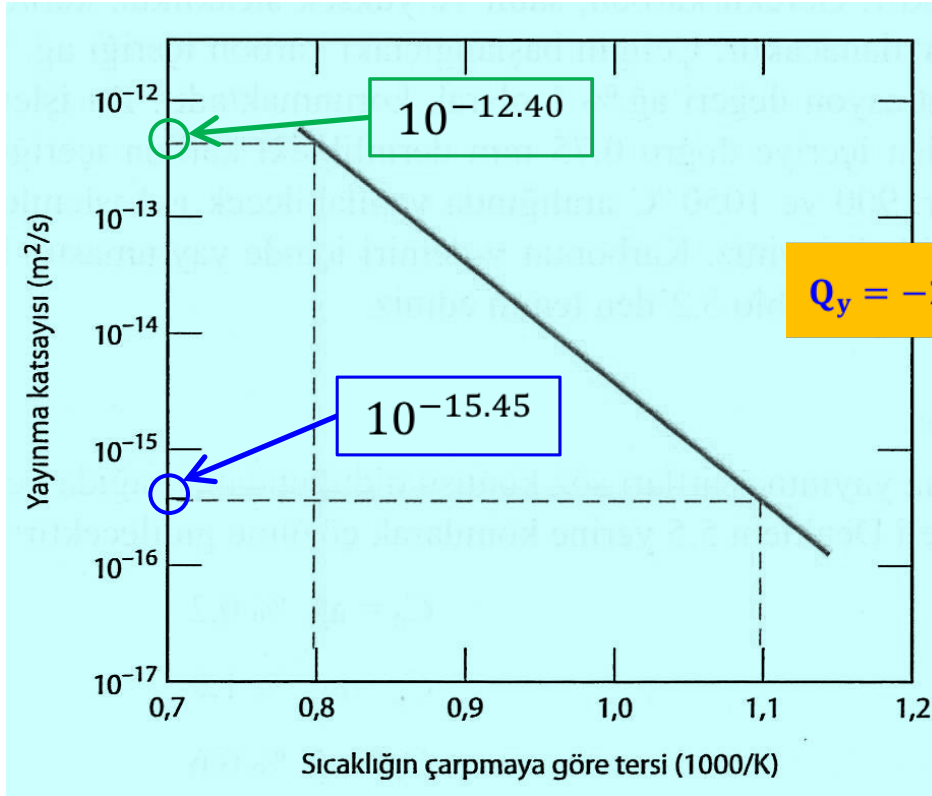
Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer

Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

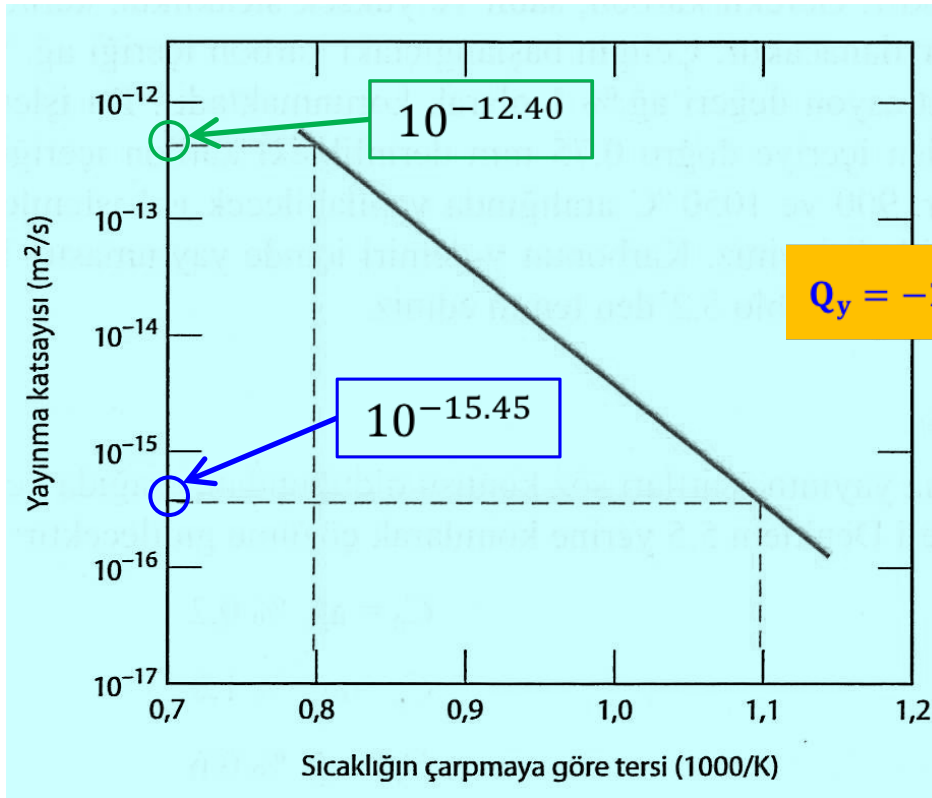
$$\log D_2 = -15.45$$

$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$



# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

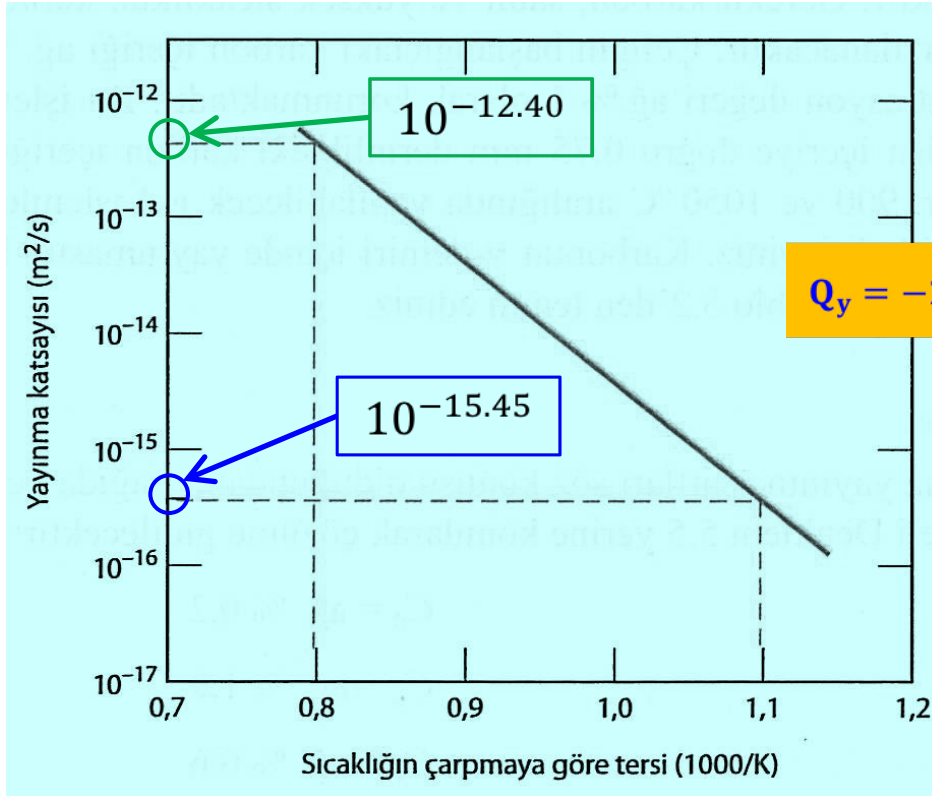
$$\log D_2 = -15.45$$

$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T} \right)$$

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

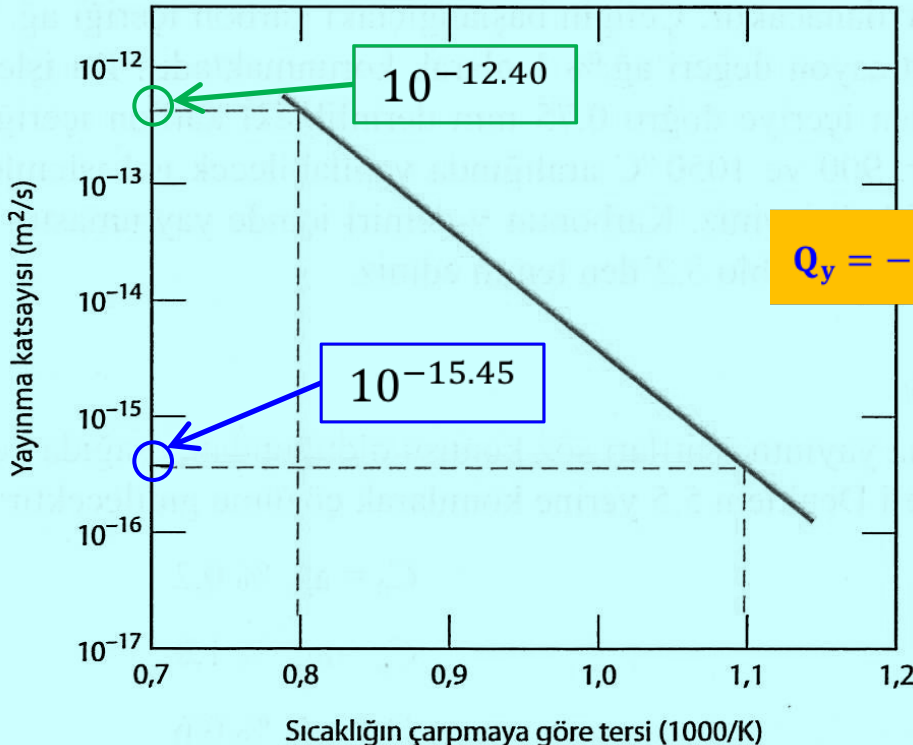
$$\log D_2 = -15.45$$

$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D_2 + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T_2} \right)$$

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

$$\log D_2 = -15.45$$

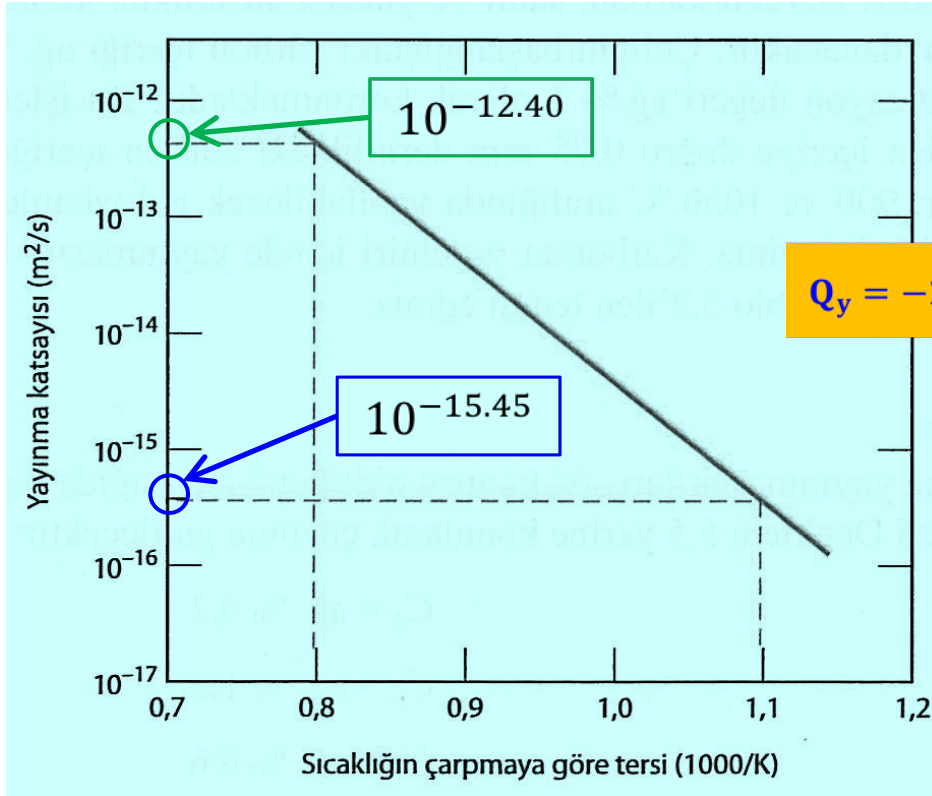
$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D_2 + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T_2} \right)$$

$$= -15.45 + \frac{194000 \text{ J/mol} \cdot 1.1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}}{2.3 \cdot 8.31 \text{ J/mol.K}}$$

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

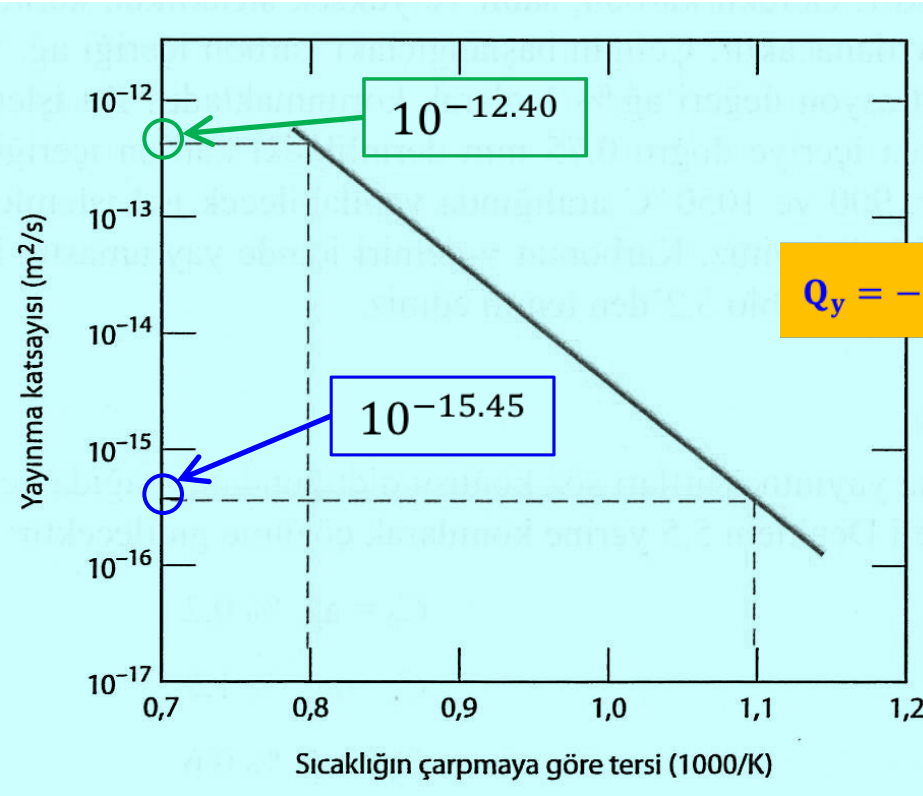
$$\log D_2 = -15.45$$

$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D_2 + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T_2} \right) = -4.28$$

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

$$\log D_2 = -15.45$$

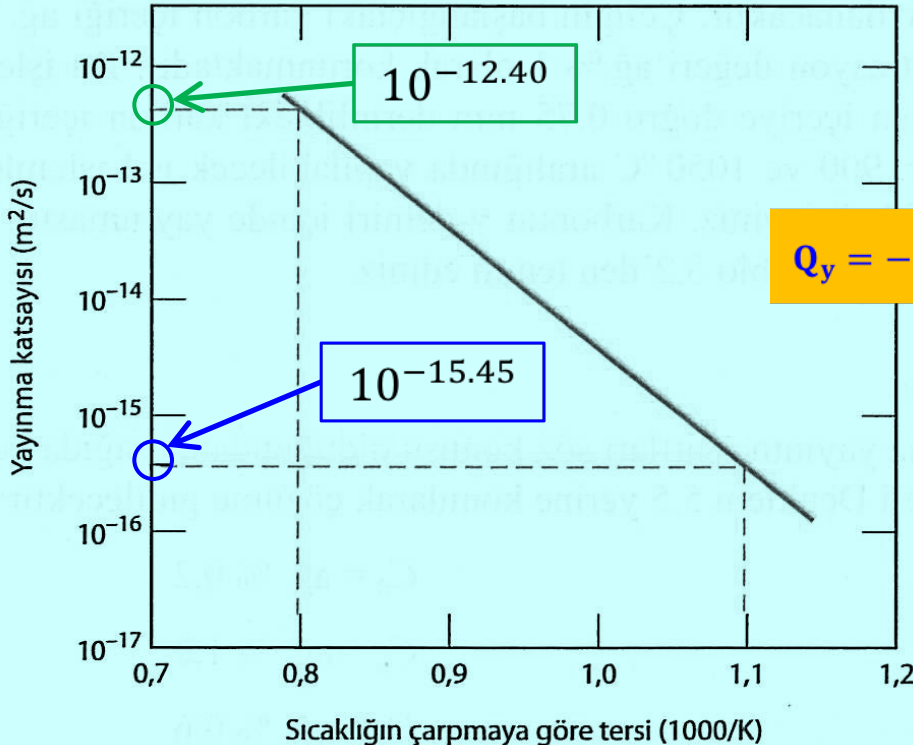
$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D_2 + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T_2} \right) = -4.28$$

$$D_0 = 10^{-4.28} \text{ m}^2/\text{s}$$

# 5. Yayınma

## Örnek



$$\text{eğim} = -\frac{Q_y}{2.3 R}$$

$$Q_y = -2.3 R (\text{eğim})$$

$$Q_y = -2.3 R \left[ \frac{\log D_1 - \log D_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \right]$$

$$Q_y = -2.3 (8.31 \text{ J/mol.K}) \left[ \frac{-12.40 - (-15.45)}{0.8 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1} - 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}} \right]$$

$$Q_y = 194000 \text{ J/mol} = 194 \text{ kJ/mol}$$

$$\log D_2 = -15.45$$

$$1/T_2 = 1.1 \times 10^{-3} (\text{K})^{-1}$$

$$\log D_0 = \log D_2 + \frac{Q_y}{2.3 R} \left( \frac{1}{T_2} \right) = -4.28$$

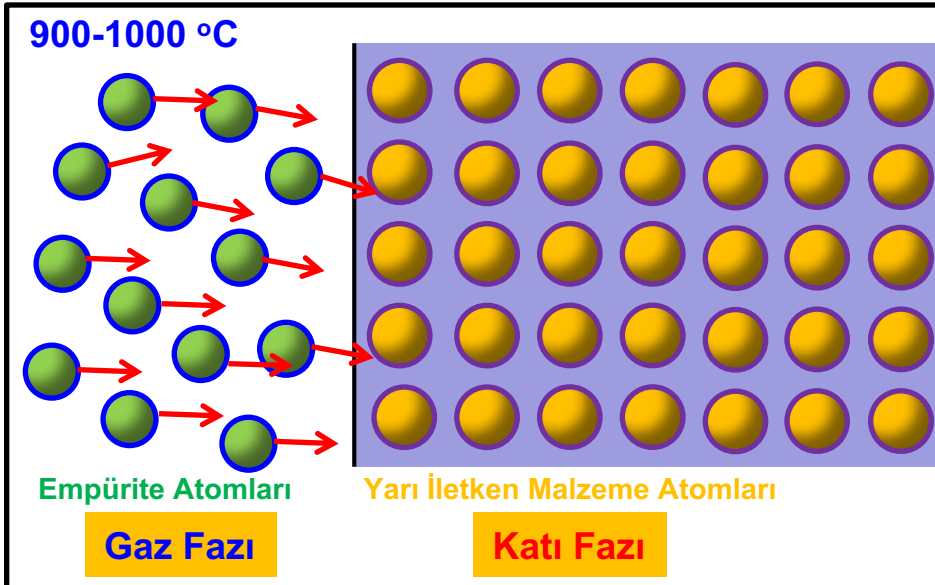
$$D_0 = 10^{-4.28} m^2/s = 5.2 \times 10^{-5} m^2/s$$

# 5. Yayınma

## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken **E**ntegre **D**evrelerin (**ED**) üretimi katıhal yayınmasının kullanıldığı bir teknolojidir.
- ED'nin yüksek performanslı çalışabilmeleri için empürite atomlarının çok hassas miktarda ve silisyum yonga içerisinde belirli bölgelerde oldukça karmaşık ve hassas bir dizilişte yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin yolu **atomsal yayınma**dır.
- Yarı iletken malzemelere empürite atomlarının katılması **iki aşamalı ısı işlemleri** yöntemi ile yapılmaktadır.

### I. Isıl İşlem

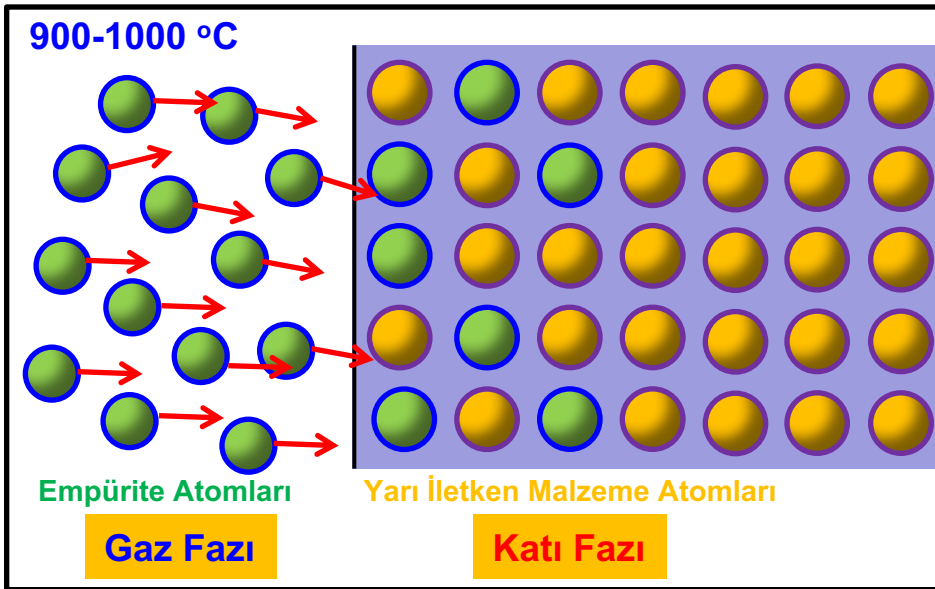


# 5. Yayınma

## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken **E**ntegre **D**evrelerin (**ED**) üretimi katıhal yayınmasının kullanıldığı bir teknolojidir.
- ED'nin yüksek performanslı çalışabilmeleri için empürite atomlarının çok hassas miktarda ve silisyum yonga içerisinde belirli bölgelerde oldukça karmaşık ve hassas bir dizilişte yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin yolu **atomsal yayınma**dır.
- Yarı iletken malzemelere empürite atomlarının katılması **iki aşamalı ısı işlemleri** yöntemi ile yapılmaktadır.

### I. Isıl İşlem



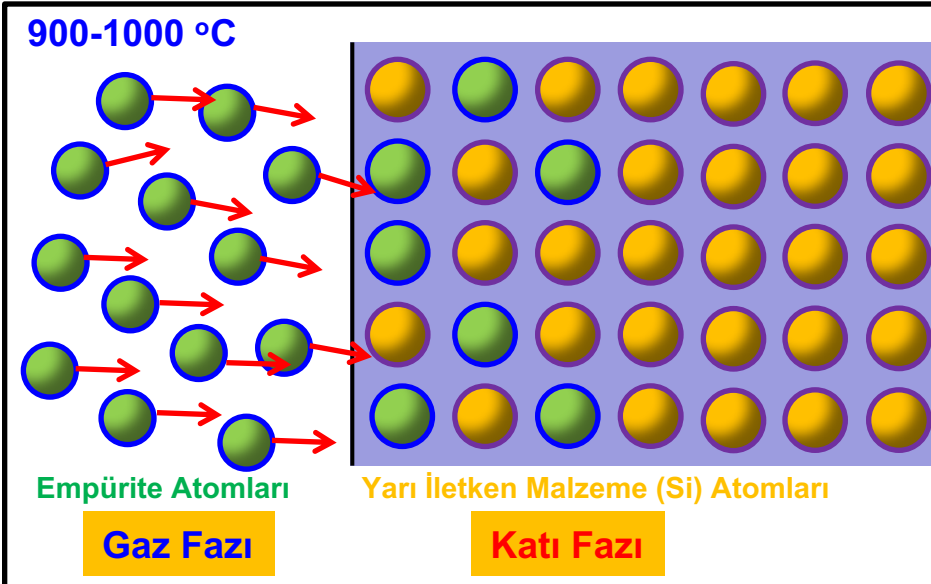


# 5. Yayınma

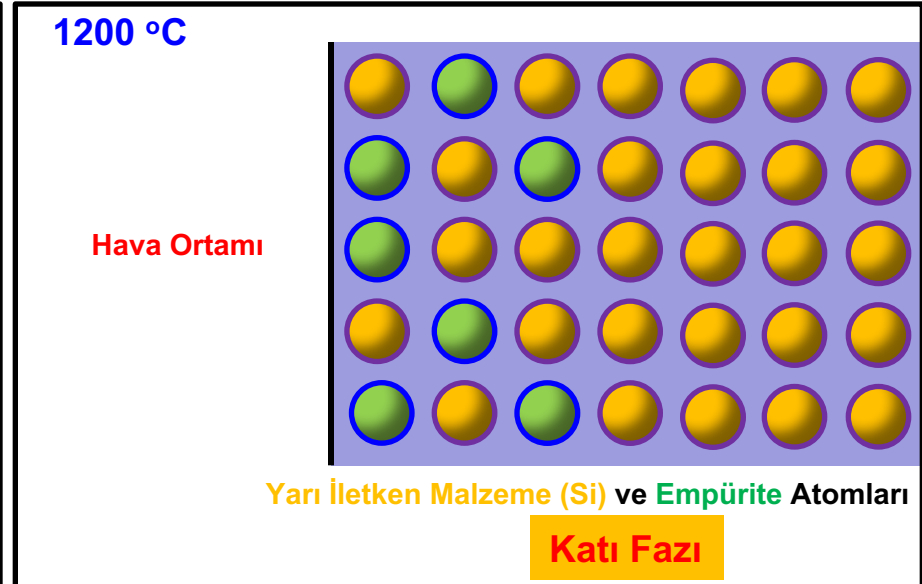
## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken **E**ntegre **D**evrelerin (**ED**) üretimi katıhal yayınmasının kullanıldığı bir teknolojidir.
- ED'nin yüksek performanslı çalışabilmeleri için empürite atomlarının çok hassas miktarda ve silisyum yonga içerisinde belirli bölgelerde oldukça karmaşık ve hassas bir dizilişte yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin yolu **atomsal yayınma**dır.
- Yarı iletken malzemelere empürite atomlarının katılması **iki aşamalı ısıtma işlemi** yöntemi ile yapılmaktadır.

### I. Isıtma İşlemi



### II. Isıtma İşlemi

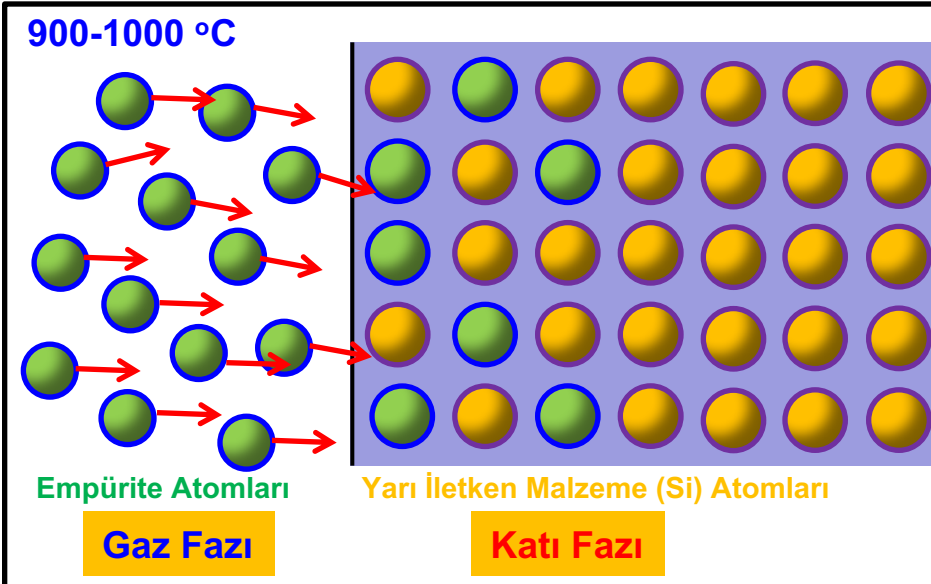


# 5. Yayınma

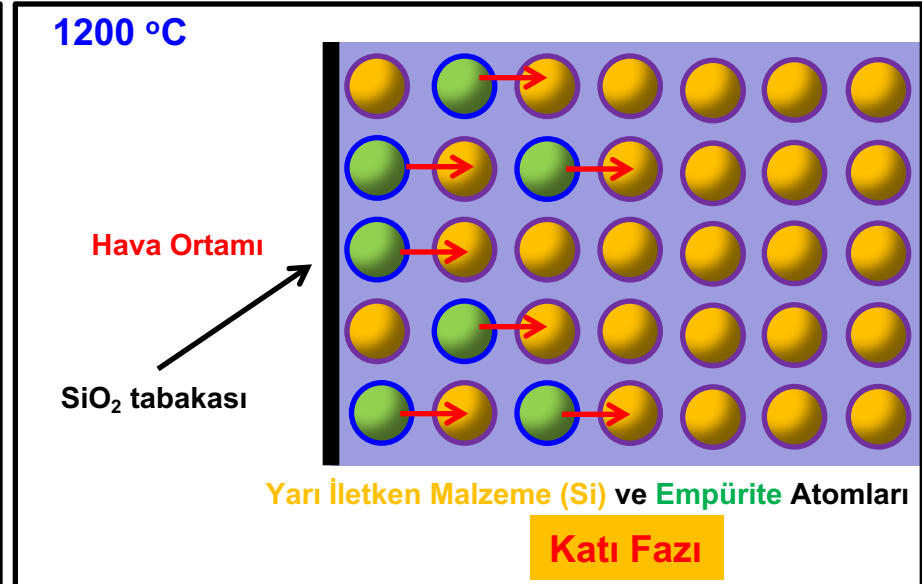
## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken **E**ntegre **D**evrelerin (**ED**) üretimi katıhal yayınmasının kullanıldığı bir teknolojidir.
- ED'nin yüksek performanslı çalışabilmeleri için empürite atomlarının çok hassas miktarda ve silisyum yonga içerisinde belirli bölgelerde oldukça karmaşık ve hassas bir dizilişte yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin yolu **atomsal yayınma**dır.
- Yarı iletken malzemelere empürite atomlarının katılması **iki aşamalı ısı işlemleri** yöntemi ile yapılmaktadır.

### I. Isıl İşlem



### II. Isıl İşlem

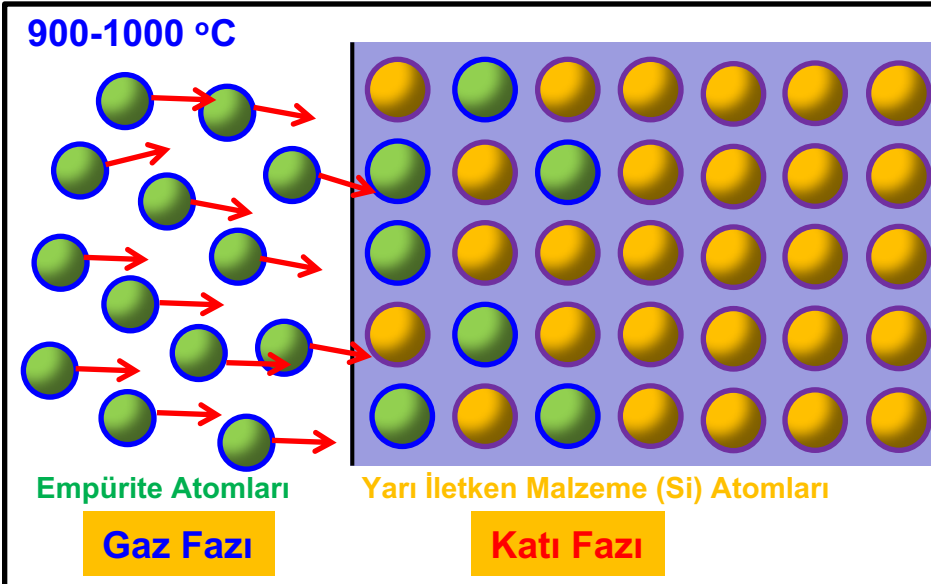


# 5. Yayınma

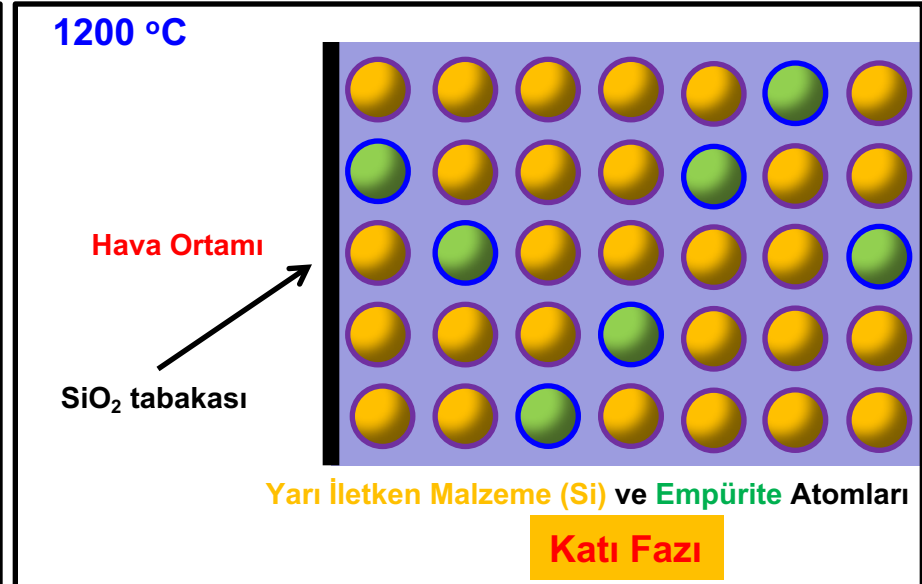
## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken **E**ntegre **D**evrelerin (**ED**) üretimi katıhal yayınmasının kullanıldığı bir teknolojidir.
- ED'nin yüksek performanslı çalışabilmeleri için empürite atomlarının çok hassas miktarda ve silisyum yonga içerisinde belirli bölgelerde oldukça karmaşık ve hassas bir dizilişte yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmenin yolu **atomsal yayınma**dır.
- Yarı iletken malzemelere empürite atomlarının katılması **iki aşamalı ısıtma işlemi** yöntemi ile yapılmaktadır.

### I. Isıtma İşlemi



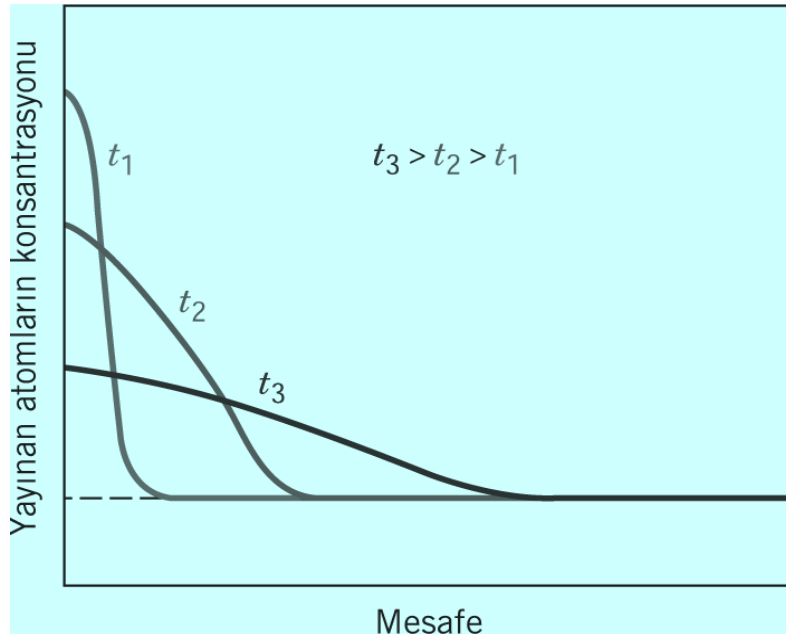
### II. Isıtma İşlemi



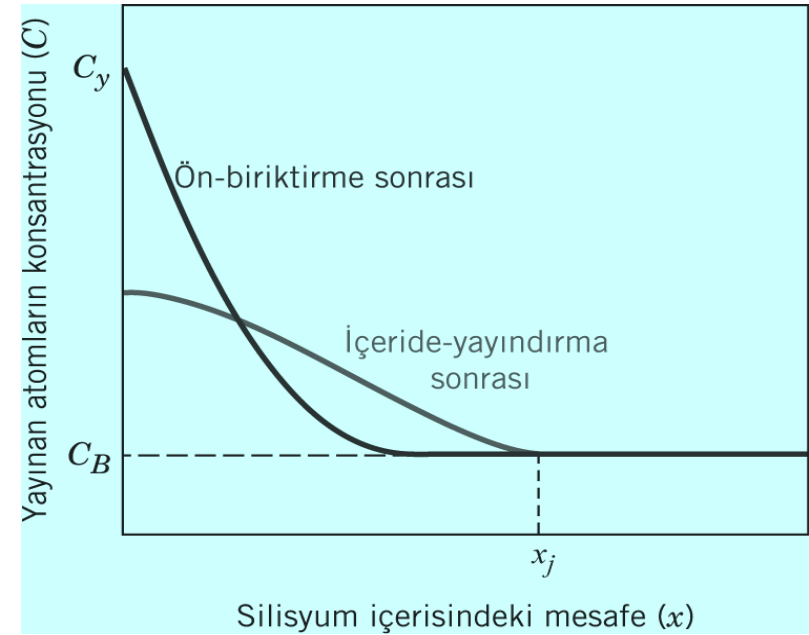
# 5. Yayınma

## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Yarı iletken malzemelerdeki bu yayınma işleminde 3 farklı süre için konsantrasyon profilleri Şekilde şematik olarak verilmiştir.
- Şekilde ön-biriktirme ve içerde-yayındırma işlemlerinde oluşan konsantrasyon profilleri şematik olarak karşılaştırılmıştır.



Yarı iletkenlerde **içerde-yayındırma** kademesinde üç farklı işlem süresi için oluşan konsantrasyon profillerinin görünümü.



Yarı iletken **ön-biriktirme** ve **içerde-yayındırma** işlemi sonucu oluşan konsantrasyon profillerinin görünümü. Burada,  $x_j$  birleşme derinliğidir.

# 5. Yayınma

## Yarı İletken Malzemelerde Yayınma

- Ön-biriktirme işlemi sırasında empürite yayınma mesafesinin, silisyum yüzeyinde çok bir tabakada sınırlı kaldığı varsayımı yapıldığında, **Fick'in ikinci yasasının çözümü** aşağıdaki gibi olur.

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi D t}} e^{-\left(\frac{x^2}{4 D t}\right)}$$

$Q_0$  = Ön – biriktirme işlemi sırasında katı içerisinde yayınan empürite atomlarının toplam miktarı (birim hacimdeki empürite atom sayısı)

$$Q_0 = 2 C_y \sqrt{\frac{D_{\text{ön}} t_{\text{ön}}}{\pi}}$$

$D_{\text{ön}}$  = Yayınma katsayısı

$t_{\text{ön}}$  = ön – biriktirme işlem süresi

$C_y$  = ön – biriktirme adımı sabit tutulan yüzey konsantrasyonu

- Diğer bir önemli yayınma parametresi, yayınan empürite atom konsantrasyonunun silisyum içindeki konsantrasyona ( $C_B$ ) eşitlendiği noktadaki derinliği işaret eden birleşme derinliği  $x_j$ 'dir. İçeride-yayındırma işleminde  $x_j$  derinliği aşağıdaki eşitlik ile verilir.  $D_y$  ve  $t_y$  içeride-yayındırma adımı yayınma katsayısı ve işlem süresidir.

$$x_j = \left[ (4 D_y t_y) \ln \left( \frac{Q_0}{C_B \sqrt{\pi D_y t_y}} \right) \right]^{1/2}$$

Malzeme Bilimine Giriş

Yayınma

Prof. Dr. İlker Dinçer

Ankara Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısı işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$D_{\text{ön}} = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_{\text{ön}}}\right)}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısı işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$D_{\text{ön}} = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_{\text{ön}}}\right)}$$

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C} \quad R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısı işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$D_{\text{ön}} = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_{\text{ön}}}\right)}$$

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C} \quad R = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_{\text{ön}} = \left(2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) e^{\left(-\frac{3.87 \frac{\text{eV}}{\text{atom}}}{\left(8.62 \times 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{atom.K}}\right)(1173 \text{ K})}\right)}$$



# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$D_{\text{ön}} = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_{\text{ön}}}\right)}$$

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ }^\circ\text{C} \quad R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_{\text{ön}} = \left(2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) e^{\left(-\frac{3.87 \frac{\text{eV}}{\text{atom}}}{\left(9.62 \times 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{atom.K}}\right)(1173 \text{ K})}\right)}$$

$$D_{\text{ön}} = 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_{\text{ön}} = 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 2 C_y \sqrt{\frac{D_{\text{ön}} t_{\text{ön}}}{\pi}}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_{\text{ön}} = 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 2 C_y \sqrt{\frac{D_{\text{ön}} t_{\text{ön}}}{\pi}}$$

$$Q_0 = 2 \left( 3 \times 10^{26} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3} \right) \sqrt{\frac{\left( 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (30 \text{ dak}) \left( 60 \frac{\text{s}}{\text{dak}} \right)}{\pi}}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(a)  $Q_0$ 'ın değerini hesaplayınız.

$$T = T_{\text{ön}} = 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_{\text{ön}} = 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 2 C_y \sqrt{\frac{D_{\text{ön}} t_{\text{ön}}}{\pi}}$$

$$Q_0 = 2 \left( 3 \times 10^{26} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3} \right) \sqrt{\frac{\left( 5.73 \times 10^{-20} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (30 \text{ dak}) \left( 60 \frac{\text{s}}{\text{dak}} \right)}{\pi}}$$

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıtma işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$D_y = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_y}\right)}$$

$$T = T_y = 1100 \text{ }^\circ\text{C} = 1373 \text{ K}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_0 = 2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$D_y = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_y}\right)}$$

$$T = T_y = 1100 \text{ }^\circ\text{C} = 1373 \text{ K}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_0 = 2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_y = \left(2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) e^{\left(-\frac{3.87 \frac{\text{eV}}{\text{atom}}}{\left(8.62 \times 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{atom.K}}\right)(1373 \text{ K})}\right)}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$D_y = D_0 e^{\left(-\frac{Q_y}{RT_y}\right)}$$

$$T = T_y = 1100 \text{ }^\circ\text{C} = 1373 \text{ K}$$

$$R = 9.62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$$

$$D_0 = 2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_y = \left(2.4 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) e^{\left(-\frac{3.87 \frac{\text{eV}}{\text{atom}}}{\left(9.62 \times 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{atom.K}}\right)(1373 \text{ K})}\right)} = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$t_y = 7200 \text{ s}$$

$$D_y = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$C_B = 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3}$$

$$x_j = \left[ (4 D_y t_y) \ln \left( \frac{Q_0}{C_B \sqrt{\pi D_y t_y}} \right) \right]^{1/2}$$



# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$t_y = 7200 \text{ s}$$

$$D_y = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$C_B = 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3}$$

$$x_j = \left[ (4 D_y t_y) \ln \left( \frac{Q_0}{C_B \sqrt{\pi D_y t_y}} \right) \right]^{1/2}$$

$$x_j = \left[ \left( 4 \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s}) \right) \ln \left( \frac{3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}}{\left( 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3} \right) \sqrt{\pi \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s})}} \right) \right]^{1/2}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$t_y = 7200 \text{ s}$$

$$D_y = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$C_B = 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3}$$

$$x_j = \left[ (4 D_y t_y) \ln \left( \frac{Q_0}{C_B \sqrt{\pi D_y t_y}} \right) \right]^{1/2}$$

$$x_j = \left[ \left( 4 \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s}) \right) \ln \left( \frac{3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}}{\left( 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3} \right) \sqrt{\pi \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s})}} \right) \right]^{1/2} = 2.19 \times 10^{-6} \text{ m}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonunun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(b) İçeride-yayındırma işleminde birleşme derinliği  $x_j$ 'yi belirleyiniz.

$$t_y = 7200 \text{ s}$$

$$D_y = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$C_B = 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3}$$

$$x_j = \left[ (4 D_y t_y) \ln \left( \frac{Q_0}{C_B \sqrt{\pi D_y t_y}} \right) \right]^{1/2}$$

$$x_j = \left[ \left( 4 \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s}) \right) \ln \left( \frac{3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}}{\left( 1 \times 10^{20} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3} \right) \sqrt{\pi \left( 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (7200 \text{ s})}} \right) \right]^{1/2} = 2.19 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.19 \text{ } \mu\text{m}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıt işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(c) Yine içeride-yayındırmada işlemi ile silisyum yonga plakası yüzeyinden 1 µm içeride oluşturulacak B atom konsantrasyonunu hesaplayınız.

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$D = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$t = 7200 \text{ s}$$

$$x = 1 \text{ } \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi D t}} e^{\left(-\frac{x^2}{4 D t}\right)}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(c) Yine içeride-yayındırmada işlemi ile silisyum yonga plakası yüzeyinden 1 µm içeride oluşturulacak B atom konsantrasyonunu hesaplayınız.

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$D = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$t = 7200 \text{ s}$$

$$x = 1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi D t}} e^{\left(-\frac{x^2}{4 D t}\right)}$$

$$C(x, t) = \frac{\left(3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}\right)}{\sqrt{\pi \left(1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) (7200 \text{ s})}} e^{\left(-\frac{(1 \times 10^{-6} \text{ m})^2}{4 \left(1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) (7200 \text{ s})}\right)}$$

# 5. Yayınma

## ÖRNEK

Bor atomları silisyum yonga plakasının içine, ön-biriktirme ve içeride-yayındırma ısıl işlemleri uygulanarak yayındırılacaktır. Silisyum içindeki bor konsantrasyonunun  $1 \times 10^{20}$  atom/m<sup>3</sup> olduğu bilinmektedir. Yüzeydeki B konsantrasyonun sabit  $3 \times 10^{26}$  atom/m<sup>3</sup> mertebelerinde korunacağı ön yayındırma işleminin, 900°C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İçeride-yayındırma işlemi ise 1100°C'de 2 saat süreyle yapılacaktır. Borun Si içerisindeki yayınma katsayısının hesaplanması için gerekli olan  $Q_y$  ve  $D_0$  büyüklükleri sırasıyla 3,87 eV/atom ve  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s'dir.

(c) Yine içeride-yayındırmada işlemi ile silisyum yonga plakası yüzeyinden 1 µm içeride oluşturulacak B atom konsantrasyonunu hesaplayınız.

$$Q_0 = 3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}$$

$$D = 1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$t = 7200 \text{ s}$$

$$x = 1 \text{ µm} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi D t}} e^{\left(-\frac{x^2}{4 D t}\right)}$$

$$C(x, t) = \frac{\left(3.44 \times 10^{18} \frac{\text{atom}}{\text{m}^2}\right)}{\sqrt{\pi \left(1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) (7200 \text{ s})}} e^{\left(-\frac{(1 \times 10^{-6} \text{ m})^2}{4 \left(1.51 \times 10^{-17} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) (7200 \text{ s})}\right)} = 5.9 \times 10^{23} \frac{\text{atom}}{\text{m}^3}$$

## 5. Yayınma

### Diğer Yayınma Yolları

- Atomal yer değiştirme, dislokasyonlar boyunca, tane sınırları ve dış yüzeyde de meydana gelebilir. Buralarda oluşan yayınmaların hızı, hacim içerisinde gerçekleşen yayınmalara göre çok daha yüksek olduğundan, bunlara bazen “**kısa-devre**” yayınma yolları denir.