

## Analytical estimates of electrical resistivity of platinum and palladium in the wide temperature range

Tural Mehmetoğlu

Amasya University, Taşova Vocational School, Amasya, Türkiye

Email: [turalmehmetoglu@yahoo.co.uk](mailto:turalmehmetoglu@yahoo.co.uk)

**Abstract** – In this study, we estimate an analytical method proposed to calculate very accurately the resistivity of platinum and palladium over a wide range of temperatures. A thorough analysis of the available theoretical and experimental results enables us to extend the suggested procedure for the evaluation of resistivity of other materials. The calculation results are controlled by previous literature data. A comprehensive description of the theoretical evaluation procedure is given in this work. We calculate the electrical resistivity using the Bloch-Grüneisen relations. We use this proposed approach and methodology to obtain new accurate results for pure platinum at a very high temperature range. Note that the electrical resistivity evaluation methods can be a basis for calculating other substances an objective in itself.

**Keywords** – Electrical Resistivity, Bloch-Grüneisen Method, Platinum, Palladium, Debye Temperature, Einstein Temperature

**Özet** – Bu çalışmada, geniş bir sıcaklık aralığında platin ve paladyumun özdirencini hassas bir şekilde hesaplamak için analitik yöntem önerilmiştir. Mevcut teorik ve deneysel sonuçların kapsamlı bir analizi, diğer malzemelerin elektriksel özdirencini değerlendirmesi için önerilen yöntemin önemli olduğunu gösterir. Hesaplama sonuçları önceki başka literatür sonuçları ile karşılaştırılarak kontrol edilir. Bu çalışmada teorik değerlendirme yönteminin kapsamlı bir açıklaması verilmektedir. Maddeleri elektrik özdirencini Bloch-Grüneisen yaklaşımını kullanarak hesaplıyoruz. Çok yüksek sıcaklık aralığında saf platin ve paladyum için doğru sonuçlar elde etmek için bu önerilen yaklaşımı ve metodolojiyi kullanıyoruz. Elektrik özdirenci değerlendirme yönteminin, diğer maddelerin hesaplanması için bir temel olabileceği ve başlı başına bir amaç olabileceği düşüncesindeyiz.

**Anahtar Kelimeler** – Elektriksel Özdirenci, Bloch-Grüneisen Yöntemi, Platin, Palladium, Debye Sıcaklığı, Einstein Sıcaklığı

### I. GİRİŞ

Bilindiği gibi değerli metaller olarak bilinen altın, gümüş, platin ve platin grubu olan paladyum, iridyum, rodyum, rutenyum ve osmiyum metaller olarak bilinmektedir. Bunlar kimyasal olarak en dirençli metaller olup doğada çoğunlukla bu metallerin karışımları olan külçeler halinde ve ayrıca çeşitli cevherlerde saçsızlıkları olarak bulunurlar[1-4]. Metalürjik, kimyasal ve elektrolitik işleme sonucunda altın - %99,998; platin - %99,9998; gümüş - %99,999; paladyum - %99,94 çok yüksek saflıkta bu metalleri elde etmek

mümkündür. Katıların elektrik elektronik özelliklerinin incelenmesi ve endüstriyel uygulamaları için önemlidir. Elektronik materyaller atomik yapı, kristalografik kafes, tanelerin boyutu ve büyümesi, doku, kusurlar, difüzyon, intermetalik fazların oluşumu, çökeltme, agregasyon, dislokasyonlar, kümelenme, boşluklar vb. özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Platin, yüz merkezli kübik bir yapıya sahiptir ve erime sıcaklığı  $2041,3 \pm 0,4$  K'dir. Paladyum ise, platine benzeyen gümüş grisi bir metaldir, tüm platin metaller arasında en düşük özgül ağırlığa ve erime noktasına sahip; saf haliyle yumuşak, plastiktir, işlenmesi

kolaydır. Paladyum, bir dizi özellikte platine yakındır ve 4-5 kat daha ucuz olduğu için genellikle onun yerine geçer [4, 5].

Platinin öz direncinin incelenmesi üzerine yapılan çalışmalarda Righini ve Rosso [6] (1000 K–2000 K), Laubitz ve van der Meer [7] (300 K–1500 K), Flynn ve O'Hagan [8] (273 K–1373 K), Roeser [9] (73 K–1773 K), Kraftmakher [10] (1000 K–2000 K) direnç oranları ile birlikte Martin tarafından verilen öz direnç ölçümleri et al. [15] (300 K–1200 K) farklı sıcaklıklar aralığında değişik yöntemler kullanılmıştır.

Paladyum yüz merkezli kübik bir yapıya sahiptir ve erime noktası  $1828.0 \pm 0.1$  K'dir. 273,15 K'de katı paladyum için elektriksel öz direnç değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Laubitz ve Matsumura'nın [11] çalışmasında  $\rho_0$  ölçümüne düzeltme ve bu değeri referans değeri olarak seçmiş görünen Matula [12] tarafından önerilmiştir. Katı paladyum Matula [12] çalışmasında yalnızca Schriempf [14] (1,6 K–10,6 K), White and Woods [13] (10 K–295 K) ve Laubitz ve Matsumura [7] (90) ölçümleri verilmiştir.

Bu çalışmada platinin ve paladyumun elektriksel direncinin sıcaklığa göre değişmesi analitik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Önerilen yöntemin geniş sıcaklık arasında uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

## 2. Elektriksel direnç için Bloch-Gruneisen yöntemi

Materyallerin öz direncinin sıcaklığa göre değişmesini incelemenin en iyi yöntemlerinden birisi de Bloch-Gruneisen yöntemidir. Debye modeli kullanılarak önerilen Bloch-Gruneisen yaklaşımına göre öz direncin sıcaklığa göre değişmesi aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$\rho(T) = \rho_0 + (n-1)\rho'\theta_D \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^n J_n\left(\frac{T}{\theta_D}\right) \quad (1)$$

(1) formülünde  $n$  değişeni iletkenler için  $n = 5$  değerini alır. Formülden görüldüğü gibi öz direnci hesaplamak için (1) ifadesi ile verilen Bloch-Gruneisen fonksiyonun hassas hesaplanması gerekir. Hesaplamalarda Bloch-Gruneisen fonksiyonu için analitik formül aşağıdaki gibi verilmiştir [14]:

$$J_n\left(\frac{T}{\theta_D}\right) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^N (-1)^i F_i(-2) \frac{\gamma(n+1, (i+1)\theta_D/T)}{(i+1)^{n+1}} \quad (3)$$

Burada  $F_i(-2)$  binomial katsayıları,  $\gamma(\alpha, x)$  ise tam olmayan Gamma fonksiyonudur. Bloch-Gruneisen fonksiyonu için alınan formülü kullanarak platin ve paladyumun öz direncinin sıcaklığa bağlılığını hassas bir şekilde inceleyebiliriz.

Çalışma [8]'de katı paladyumun ve platinin öz dirençleri için aşağıdaki formüller önerilmiştir ( $273 \leq T \leq 1828$  K), sırasıyla [17]:

$$\rho(\mu\Omega cm) = 4.58639 \cdot 10^{-2} T - 1.39098 \cdot 10^{-5} T^2 + 1.84118 \cdot 10^{-9} T^3 - 1.76742 \quad (4)$$

$$\rho(\mu\Omega cm) = 4.681197 \cdot 10^{-2} T - 3.258075 \cdot 10^{-5} T^2 + 8.554023 \cdot 10^{-8} T^3 - 1.594242 \cdot 10^{-10} T^4 + 1.837342 \cdot 10^{-13} T^5 - 1.316886 \cdot 10^{-16} T^6 + 5.678222 \cdot 10^{-20} T^7 - 1.340980 \cdot 10^{-23} T^8 + 1.329896 \cdot 10^{-27} T^9 - 1.621733 \quad (5)$$

Çalışmada önerilen formüller tüm sıcaklık aralığında geçerli olup bakırın iletkenliğini de ayrıntılı olarak inceleme imkânı sağlamaktadır. Platin ve paladyumun öz direncinin sıcaklığın farkı değerlerinde hesaplama ve kaynak sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

## 3. Tartışma ve sonuçlar

Tablo 1 ve 2'den görüldüğü gibi kaynaklardan alınan sonuçlar hesaplama sonuçları ile uyum içerisindedir. Hesaplama sonuçlarının analizinden anlaşıldığı gibi kaynaklarda önerilen yöntemler sıcaklığın belirli aralıklarında geçerli olduğu halde önerilen yöntem genel olduğundan başka materyallere de uygulanabilir.

Tablo 1. Platinin öz direncinin sıcaklığa göre değişimi ( $\theta_D = 246.68^0 K$ ,  $T=273.15K$ ,  $\rho_0 = 9.82 \mu\Omega cm$ ,  $\rho' = 0.025 \mu\Omega cm$ )

T (K)	Formül (1)	Kaynak [17, 18]
600	21.6472	21.18
700	23.6570	24.23
800	25.6615	27.07
900	27.6617	29.74
1000	29.6580	32.23
1200	33.6400	36.68
1400	37.6078	40.46
1600	41.5608	43.57
1800	45.4971	46.01

Tablo 2. Palladium'un öz direncinin sıcaklığa göre değişimi ( $\theta_D = 275^0 K$ ,  $T=273.15K$ ,  $\rho_0 = 9.76 \mu\Omega cm$ ,  $\rho' = 0.02 \mu\Omega cm$ )

T (K)	Formül (1)	Kaynak [17,18]
673	26.5327	24.52
773	29.0352	27.90
873	31.5322	31.17
973	34.0241	34.33
1273	41.4711	43.07
1373	43.9417	45.78
1473	46.4083	
1673	51.3229	
1800	54.4307	

Spin Fluctuation Systems, Spin Glasses and Thermopower”, eds. K.-H. Hellwege and J. L. Olsen, Landolt-Börnstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, New Series, Group III: Crystal and Solid State Physics, Vol. 15a, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982, p. 1

- W. Roeser, “Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry”, ed. M. S. van Dusen, Vol. I, Reinhold Publishing Corp, New York, USA, 1941, p. 1312
- F. Righini and A. Rosso, High Temp.-High Pressures, 1980, 12, (3), 335
- M. J. Laubitz and M. P. Van Der Meer, Can. J. Phys., 1966, 44, (12), 66
- D. R. Flynn and M. E. O’Hagan, J. Res. Natl. Bur. Stand., 1967, C71, (4), 255
- W. Roeser, “Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry”, ed. M. S. van Dusen, Vol. I, Reinhold Publishing Corp, New York, USA, 1941, p. 1312
- Ya. A. Kraftmakher, High Temp.-High Pressures, 1973, 5, (4), 433
- M. J. Laubitz and T. Matsumura, Can. J. Phys., 1972, 50, (3), 196
- R. A. Matula, J. Phys. Chem. Ref. Data, 1979, 8, (4), 1147
- G. K. White and S. B. Woods, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 1959, 251, (995), 273
- J. T. Schriempf, Phys. Rev. Lett., 1968, 20, (19), 1034
- J. J. Martin, P. H. Sidles and G. C. Danielson, J. Appl. Phys., 1967, 38, (8), 3075
- Y. Igasaki, H. Mitsunashi, Phys. Status Solids A, 99 (1987) K111.
- John W. Arblaster, Johnson Matthey Technol. Rev., 2015, 59, (3), 174–181
- R.A. Mutula, J. Phys. Chem. Refer. Data, 8 (1979)1147.

## Kaynaklar

- C. W. Corti, Platinum Metals Rev., 1984, 28, (4), 164
- J. W. Arblaster, Platinum Metals Rev., 1997, 41, (1), 12
- M. M. Martynyuk and V. I. Tsapkov, Fiz. Metal. Metalloved., 1974, 37, (1), 49; translated into English in Phys. Met. Metallogr., 1974, 37, (1), 40.
- J. Bass, ‘Electrical Resistivity of Pure Metals and Dilute Alloys’, in “Electrical Resistivity, Kondo and