V504

THERMISCHE ELEKTRONENEMISSION

Phuong Quynh Ngo
phuong-quynh.ngo@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.07.2020 Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die thermische Elektronenemission eines Wolframdrahtes einerHochvakuumdiode untersucht werden. Insbesondere sollen dabei die Kennlinie der Hoch-vakuumdiode, die Austrittsarbeit der Elektronen und die Temperaturabhängigkeit desEffektes betrachtet werden.

2 Theorie

2.0.1 Die Austrittsarbeit der Leitungselektronen

Metalle sind charakterisiert durch eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit. Diese ist durch die zu einem Gitter angeordneten ionisierten Atome im Metall zu erklären. Die im Kraftfeld der Ionen befindlichen Elektronen sind als Leitungselektronen nicht mehr einem Atom zuzuordnen. Die Leitungselektronen sind freibeweglich im Potential ξ des elektrischen Felds, welches näherungsweise als konstant angenommen werden kann. Ein Modell, das diesen Zustand darstellt ist der Potentialtopf.

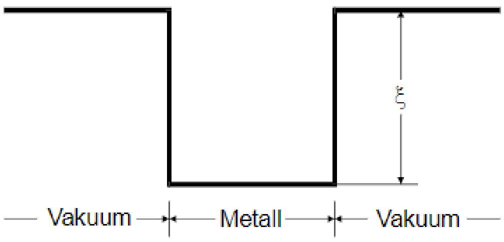

Abbildung 1: Potentialtopfmodell.[1]

Damit ein Elektron dieses Potential und damit das Metall verlassen kann, muss es die sogenannte Austrittsarbeit $e_0\xi$ leisten. Erklärungen dafür liefert die Quantentheorie. Elektronen können nur diskrete Energiewerte annehmen. Ein Energiezustand kann laut dem Pauli-Prinzip nur von einem Elektron besetzt werden, da sie zu den Spin-1/2-Teilchen gehören. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit ein Elektron in einem Zustand zu finden, ist durch die Fermi-Dirac-Verteilung gegeben

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E-\zeta}{k_B T}\right) + 1} \tag{1}$$

mit ζ der Fermischen Grenzenergie. Für Zimmertemperatur gilt $\zeta \gg k_b T$ für alle Metalle. Um ein Metall zu verlassen benötigt ein Elektron also eine Energie von mindestens $\zeta + e_0\xi$. Auch für hohe Temperaturen liegt dieser Energiewert weit über $k_b T$, weshalb folgende Näherung angenommen wird.

$$f(E) = \exp\left(\frac{\zeta - E}{k_B T}\right) \tag{2}$$

2.0.2 Die Sättigungsstromdichte der thermischen Elektronenemission

Die Sättigungsstromdichte j_s beschreibt die Zahl der Elektronen, die pro Zeit- und Flächeneinheit aus einer Metalloberfläche austreten in Abhängikeit von der Temperatur. Sie wird mit der Richardson-Gleichung berechnet

$$j_S(T) = 4\pi \frac{e_0 m_0 k_B^2}{h^3} T^2 \exp\Big(-\frac{e_0 \xi}{k_B T}\Big) \tag{3}$$

2.0.3 Die Hochvakuum-Diode

Da die aus einer Metalloberfläche austretenden Elektronen mit Gasmolekülen wechselwirken, kann die Sättigungsstromdichte nur in einem Hochvakuum gemessen werden. Experimentell lässt sich dies mit einer Hochvakuumdiode realisieren. Sie besteht aus einem Glaskörper, in dem sich eine Glühkathode(Wolfram) und gegenüberliegend einer Anode befinden. Durch eine angelegte Heizspannung kann der Draht der Glühkathode auf Temperaturen von 1000 K bis 3000 K erhitzt werden. Die austretenden Elektronen werden dann über eine Saugspannung zur Anode beschleunigt.

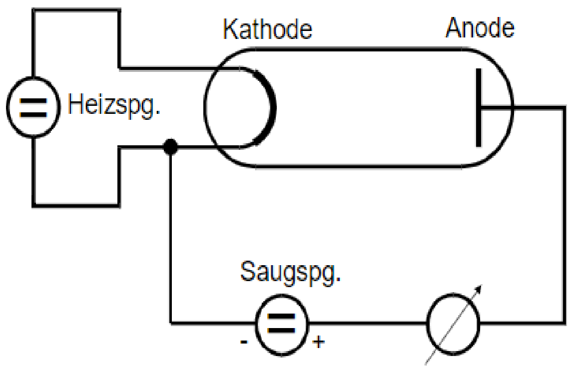

Abbildung 2: Aufbau einer Hochvakuumdiode.[1]

Die Kennlinie einer Hochvakuumdiode lässt sich in drei Bereiche einteilen. Das erste Gebiet ist das Anlaufstromgebiet(exponentieller Zusammenhang zwischen Strom und Potential), das zweite wird Raumladungsgebiet ($j \propto V^{3/2}$) genannt und das dritte wird als Sättigungsstromgebiet(Strom ist nur von der Temperatur abhängig) bezeichnet.

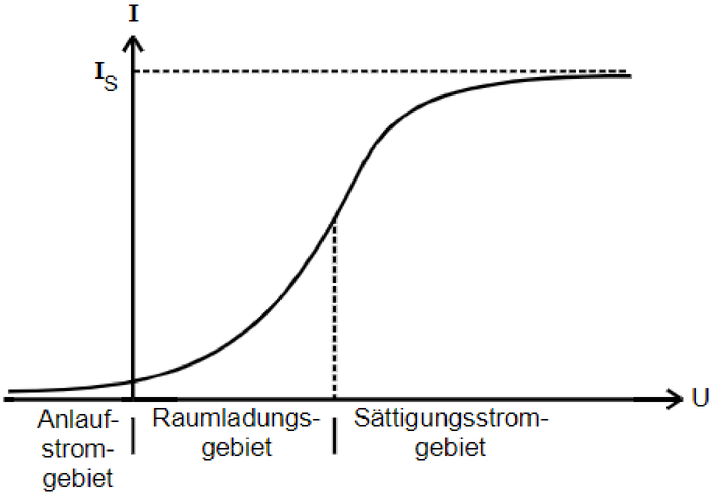

Abbildung 3: Kennlinie einer Hochvakuumdiode.[1]

2.0.4 Raumladung und das Langmuir-Schottkysche Raumladungsgesetz

Es fällt auf, dass der gemessene Diodenstrom kleiner ist als der zu erwartende Sättigungsstrom. Erklärt wird dies durch die Elektronen, die bereits aus der Kathode ausgetreten sind. Jene erzeugen eine ortsabhängig Raumladungsdichte ρ, die das elektrische Feld abschirmt. Nicht alle ausgetretenen Elektronen erreichen die Anode, das Ohmsche Gesetz verliert in diesem Bereich seine Gültigkeit. Aus dem Zusammenhang zwischen Anodenspannung und -strom im Ladungsbereich, der Poisson-Gleichung

$$\varDelta V = -\frac{1}{\epsilon_0}\rho \tag{4}$$

folgt das Langmuir-Schottkysche Raumladungsgesetz

$$j = \frac{4}{9}\epsilon_0\sqrt{2e_0/m_0}\frac{V^{3/2}}{a} \tag{5}$$

V beschreibt die Anodenspannung, a die Entfernung zur Kathode und m_0 die Ruhemasse des Elektrons.

2.0.5 Anlaufstromgebiet

Liegt zwischen Anode und Kathode keine Spannung an, so kann trotzdem ein geringer Strom gemessen werden, der sogenannte Anlaufstrom. Dieser resultiert aus der kinetischen Restenergie, die einige Elektronen nach dem Austritt noch besitzen. Um die Anode zu erreichen, benötigen sie eine Energie, die größer ist als $e_0\varPhi_A + e_0V$ mit $\varPhi_A$, der Austrittsarbeit. Für die Stromdichte im Anlaufgebiet gilt dann

$$j(V) = j_0\exp\Big(-\frac{e_0\varPhi_A + e_0V}{k_BT}\Big) = \text{const}\cdot\exp\Big(-\frac{e_0V}{k_BT}\Big) \tag{6}$$

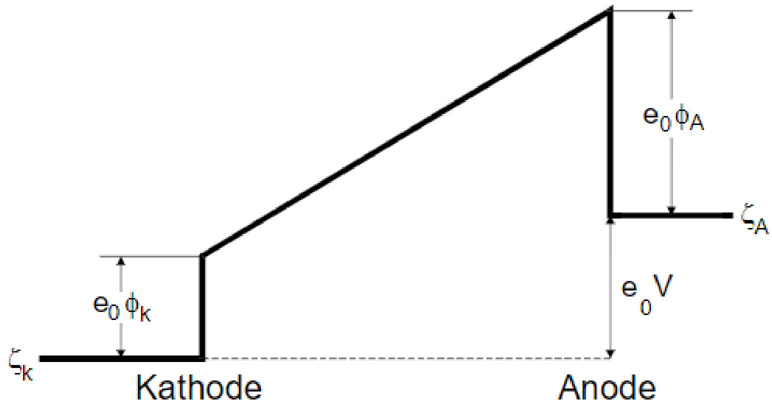

Abbildung 4: Potentialverhältnisse in einer Hochvakuumdiode im Bereich ihres Anlaufstromgebietes.[1]

3 Durchführung

3.0.1 Bestimmung der Kennlinie

An die Hochvakuumdiode werden zwei Konstantspannungsgeräte angeschlossen. Mit einem wird die Heizspannung angelegt, mit dem anderen wird die Anodenspannung gemessen. Es werden drei verschiedene Heizströme angelegt und drei Kennlinien aufgenommen. Es wird ein Spannungsbereich ausgewählt, in dem die Sättigung liegt.

3.0.2 Bestimmung der Anlaufstromkurve

Der Aufbau wird nun verändert. Mit der einen Spannungsquelle wird nun ein Gegenfeld erzeugt. Diese Gegenspannung wird erhöht, die Heizspannung bleibt konstant maximal eingestellt und der Anodenstrom wird mit einem nA-Meter gemessen.

4 Auswertung

Die Formel für den Mittelwert lautet

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{7}$$

Die Formel für die Standardabweichung lautet

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}. \tag{8}$$

Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\mathit{\Delta}\bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}. \tag{9}$$

Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\mathit{\Delta}\bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}. \tag{10}$$

V

In Tabelle 1 sind die gemessenen Werte aufgeführt und die Ausgleichskurve ist in Abbildung 1 dargestellt.

Tabelle 1: Messdaten.

N_{Linie}	D/mm	U/V
1	0	-19,5
2	6	-16,1
3	12	-12,4
4	16	-9,6
5	24	-6,2
6	30	-2,4
7	36	1,2
8	42	5,1
9	48	8,3

Die Abstände werden umgerechnet durch die Formel

$$D = (N_{Linie} - 1) \cdot 6\text{mm}. \tag{11}$$

$$\begin{aligned} m &= (1,7193 \pm 0,0197)\frac{\text{mm}}{\text{V}} \\ b &= (33,8571 \pm 0,2102)\text{mm}. \end{aligned}$$

Siehe Abbildung 5!

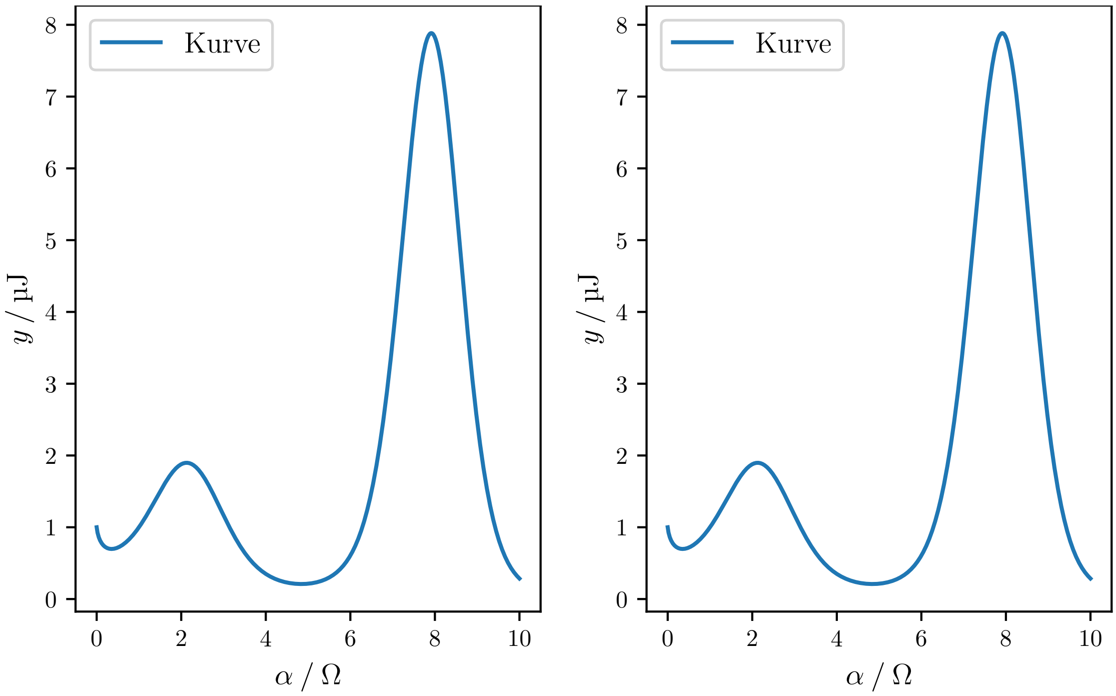

Abbildung 5: Plot.

5 Diskussion

Literatur

[1] *Thermische Elektronenemission*. Eingesehen am 28.06.2020. URL: `https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1138340/mod_resource/content/2/V504.pdf`.