

Spektrum explodierender Drähte in verschiedenen Atmosphären.

Messung des Dissoziationsgrades des umgebenden Gases und des Drucks im Plasma

C. Triché und G. Perarnau *

Laboratoire de Spectrographie et Métallurgie,
Université Paul Sabatier, Toulouse

(Z. Naturforsch. 31 a, 503–504 [1976];
eingegangen am 12. Januar 1976)

*Spectrum of Exploding Wires within Different Atmospheres.
Measure of Dissociation Rate of Surrounding Gas and of
Plasma Pressure*

The explosion of a copper wire is caused by means of a discharge from a pulsed source. We observe a continuous spectrum with characteristic emission and absorption lines. The degree of dissociation of the surrounding gas and the pressure of the plasma can be determined from the width of an absorption line.

Wir haben in ¹ gezeigt, daß bei Explosion eines Kupferdrahtes in Argon- oder Stickstoffatmosphäre eine Beziehung zwischen der Breite d der Absorptionslinie des Kupfers und dem Druck p des umgebenden Gases besteht:

$$d/p^{2\gamma} = \text{const.}$$

Die Konstante war unabhängig von der Natur des Gases. Wenn man jedoch Argon oder Stickstoff durch Sauerstoff ersetzt, werden die Kupferlinien breiter.

I. Spektrum eines in Sauerstoffatmosphäre bei Normdruck explodierenden Kupferdrahtes

Wir arbeiten nach demselben Verfahren wie zuvor ². Die Explosion wird durch die Entladung einer Impulsquelle (2 mF, 800 V, 200 μ s) in dem Metalldraht hervorgerufen (Durchmesser: 0,2 mm, Länge: 40 mm). Die mittels der Intensitätsverhältnisse der Kupferlinien 2997,36 und 3010,8 Å gemessene Temperatur des Plasmas beträgt 4500 K; sie entspricht den in den beiden anderen Gasatmosphären ¹ gemessenen Werten. Dieses Ergebnis stimmt mit der Temperaturmessung anhand der Wachstumskurvenmethode überein. Andererseits läßt die Beobachtung der Absorptionslinien 3247,54 und 3273,96 Å des Kupfers erkennen, daß diese Linien in Sauerstoffatmosphäre breiter sind als in Argon- oder Stickstoffatmosphäre: 2,98 Å statt 2,10 Å für die Linie 3247,5 Å und 1,96 Å statt 1,41 Å für die Linie 3273,96 Å.

II. Interpretation der Ergebnisse

Wenn wir annehmen, daß das Plasma sich wie ein ideales Gas verhält, können wir für eine bestimmte Temperatur schreiben

$$p'v = nRT, \quad (1)$$

p' Plasmadruck, v Volumen der Entladung.

Wir hatten andererseits angenommen ^{2,3}, daß die Breite der Linien im Falle einer Resonanzverbreiterung proportional der Dichte N der Kupferatome ist ($N = N_0/v$).

N_0 : Gesamtzahl der Kupferatome

$$d = k_1 N_0/v, \quad (2)$$

$$d = k_1 N_0 p' / nRT. \quad (3)$$

In der Beziehung (3) ist N_0 konstant und T gleich 4500 K für die drei Gase bei 760 Torr. Da die Kupferlinien in Sauerstoffatmosphäre breiter sind als in Stickstoff und Argon, müssen wir annehmen, daß der Plasmadruck in der Sauerstoffatmosphäre höher ist als in den beiden anderen Gasen. Unter unseren Versuchsbedingungen wird der Stickstoff nicht oder schwach dissoziiert; dagegen scheint der Sauerstoff teilweise dissoziiert zu werden, und wir versuchen, den Dissoziationsgrad zu schätzen.

Wir bekommen keine Sauerstofflinien in dem Spektrum, im Gegensatz zu anderen Autoren ⁴, die, zwar unter anderen Bedingungen, das von in der Luft explodierenden Drähten emittierte Spektrum untersuchten und neben den charakteristischen Linien des im Draht enthaltenen Metalls auch die Sauerstoff- und Stickstofflinien beobachteten. Infolgedessen können wir die Temperatur nicht anhand des Intensitätsverhältnisses der Sauerstofflinien ermitteln. Dagegen wurden die Sauerstofflinien sichtbar, wenn die Entladung in Luft zwischen einer angespitzten Kohlelektrode und einem in den Krater der unteren Elektrode gepreßten Pulver stattfand. Dabei wurde dieselbe Impulsquelle, allerdings nur mit 800 statt 1000 V benutzt ⁵. Das mikrokristalline Pulver (ca. 100 μ g) bestand aus einer Mischung von Natriumfluorid und Graphit. Die Temperaturberechnungen wurden mittels eines Fluorlinienpaares und eines Linienpaares des Sauerstoffs in der Luft durchgeführt. Die Ergebnisse dieser beiden Berechnungen stimmten überein, und wir nehmen an, daß auch in unserem Fall von explodierten Drähten die Temperatur des Sauerstoffs gleich der anhand der Kupferlinien errechneten Temperatur ist.

III. Berechnung des Dissoziationsgrads des Sauerstoffs

Während der Entladung wird ein gewisses Volumen v des Gases von der Raumtemperatur T_0 auf

* 118 Route de Narbonne, F-31077 Toulouse-Cedex.

die Temperatur T gebracht. Nennen wir p (760 Torr) den ursprünglichen Druck und p' den Plasmadruck zum Zeitpunkt der Emission der Linien. Die gemessene Temperatur ist in den drei Gastatmosphären 4500 K ($T_0 = 292$ K).

1. Vor der Entladung gilt, unabhängig von der Natur des Gases (Argon, Stickstoff oder Sauerstoff), die Beziehung:

$$p v = n R T_0. \quad (4)$$

2. Während der Entladung:

- a) In Argon oder Stickstoff:

$$p'_{(\text{Ar oder N})} v = n R T; \quad (5)$$

- b) In Sauerstoff:

$$p'_{(0)} v = n (1 + t) R T. \quad (6)$$

t bedeutet den Sauerstoffanteil, der dissoziiert wird; v hat für die drei Gase denselben Wert: eine photographische Untersuchung zeigt nämlich, daß das Entladungsvolumen von der Natur des Gases unabhängig ist. Die Division der Beziehungen (5) und (6) ergibt:

$$p'_{(0)} / p'_{(\text{Ar oder N})} = 1 + t. \quad (7)$$

Da die Temperatur in den drei Gasen gleich ist, entspricht nach der Beziehung (3) das Verhältnis der Linienbreiten dem Verhältnis der Drücke p' .

Wir können also für jede Wellenlänge einen Wert von t ableiten:

$$t_{3247} = 0,42, \quad t_{3274} = 0,39.$$

IV. Berechnung des Plasmadrucks

Mit Hilfe der Beziehungen (4) und (5) können wir den Druck im Plasma ausrechnen, wenn die Entladung in Argon- oder Stickstoffatmosphäre stattfindet:

$$p'_{(\text{Ar oder N})} = 15,4 \text{ atm.}$$

Für Sauerstoff bekommen wir anhand der Beziehung (7)

$$p'_{(0)} = 21,6 \text{ atm.}$$

Anmerkungen

1. Mit Hilfe der Tabellen der Gleichgewichtskonstanten von Mauras⁶ kann man den Dissoziationsgrad des Sauerstoffs bei 4500 K und einem Druck von 21,6 atm berechnen. Er beträgt $t = 0,36$.
2. In dieser Versuchsreihe haben wir nicht das Phänomen der Dissoziation des Stickstoffs aufzeigen können. Bekanntlich muß man bei höheren Temperaturen arbeiten⁶.

¹ G. Pérarnau u. C. Triché, C. R. Acad. Sci. Paris C **278**, 819 [1974].

² C. Triché u. G. Pérarnau, C. R. Acad. Sci. Paris C **274**, 1025 [1972].

³ R. G. Breene Jr., The Shift and Shape of Spectral Lines, Pergamon Press 1961, p. 231.

⁴ H. Bartels u. J. Bortfeldt, Exploding Wires: W. G. Chace u. H. K. Moore **3**, 9, Plenum Press, New York 1964.

⁵ C. Triché u. G. Heshmat-Chaaban, Spectrochim. Acta Vol. **29 B**, 121 [1973].

⁶ H. Mauras, Tables pour le calcul direct des constantes d'équilibre des systèmes chimiques aux hautes températures, Masson 1959, Paris.