КРИТЕРИЙ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В БИНАРНЫХ СМЕСЯХ ГАЗОВ В СЛАБОИОНИЗОВАННОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ

Р. В. ЧИФЛИКЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 30 марта 1994 г.)

Получено необходимое и достаточное условие для существования отрицательной дифференциальной проводимости электронов в бинарных смесях газов. Показано наличие этого эффекта в смесях инертных газов He-Kr и He-Xe.

1. Эффект отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП), как известно, заключается в уменьшении дрейфовой скорости электронов с увеличением напряженности электрического поля (см., например, [1]). Наличие неупругих потерь энергий электронов (в колебательных или вращательных каналах) для молекулярного компонента в смеси является необходимым условием для существования этого эффекта [1, 2]. В настоящей работе, в дополнение к вышесказанному, показано, что ОДП может также наблюдаться и в некоторых смесях инертных газов, где неупругие потери энергии электронов в диапазоне средних энергий электронов $\sim 1-5$ эВ отсутствуют.

2. Аналог закона Бланка для дрейфовых скоростей электронов в многокомпонентных смесях газов в слабоионизованной низкотемпературной плазме имеет следующий вид [3]:

$$\tilde{E} = (\sum_j \delta_j \tilde{E}_j W_j)^{1/2} (\sum_j \delta_j E_j W_j)^{1/2}, \quad (1)$$

$$W = (\sum_j \delta_j \tilde{E}_j W_j)^{1/2} (\sum_j \delta_j E_j W_j)^{-1/2}. \quad (2)$$

Здесь $\tilde{E}_j = \tilde{E}_j(U) = E_j(U)N$ и $W_j = W_j(U)$ — приведенная напряженность электрического поля и дрейфовая скорость электронов в газе j -ого сорта при одном и том же значении средней энергии электронов U ; $\tilde{E} = \tilde{E}(U) = E(U)N$ и $W = W(U)$ — аналогичные величины в смеси при том же самом значении U ; $E(U)$ и $E_j(U)$ — напряженности электрического поля в смеси и в j -ом газе, соответственно; N — плотность газа.

Необходимое и достаточное условие существования ОДП $\frac{dW}{dU} < 0$ для бинарной смеси газов получается дифференцированием выражения (2) по U и имеет вид

$$-\left(\frac{W_1}{W_2} - \frac{W_2}{W_1}\right)\left(\hat{E}_1 - \hat{E}_2\right) > 4\sqrt{\hat{W}_1 \cdot \hat{W}_2} + \left(\frac{W_1}{W_2} + \frac{W_2}{W_1}\right)\left(\hat{W}_1 + \hat{W}_2\right), \quad (3)$$

где величины со шляпкой обозначают логарифмические производные по U ($\hat{W}_1 = d \ln W_1 / d \ln U$ и т.д.). Здесь учтено, что соотношение компонентоз $\delta_1 / \delta_2 = \tilde{E}_1 / \tilde{E}_2 \sqrt{(\ln W_1)' (\ln W_2)'}$ является оптимальным для проявления ОДП. При $W_1(U) \gg W_2(U)$ и $\tilde{E}_1(U) \gg \tilde{E}_2(U)$ ($N_2:Ar=1:99$ и др.) выражение (3) принимает вид

$$\hat{E}_2 > \hat{E}_1 + \hat{W}_1 + \hat{W}_2, \quad (4)$$

которое легко сводится к критерию, полученному в [1].

3. Проверим справедливость критериев (3) и (4) на примере известной смеси $CO:Ar$ с ярко выраженным ОДП [1]. Так, для $U=2$ эВ по расчетам [4] для CO имеем: $\tilde{E}_1=125,0$ Тд, $\tilde{E}_1'=54$ Тд/эВ, $W_1=-58,7 \cdot 10^5$ см/с и $W_1'=14,0 \cdot 10^5$ см/(с · эВ); для Ar , согласно нашим численным расчетам по сечениям из [5], имеем: $\tilde{E}_2=0,617$ Тд, $\tilde{E}_2'=-0,69$ Тд/эВ, $W_2=2,71 \cdot 10^5$ см/с и $W_2'=0,7 \cdot 10^5$ см/(с · эВ). Для этих данных левая часть (4) равна 0,67, т. е. выполняется необходимое условие проявления ОДП. Выполняется также и критерий (3), где левая часть равна 14,7, а правая—12,0.

В смеси $He:Kr=0,12:0,88$ для $U=1,5$ эВ в He , согласно нашим численным расчетам, имеем: $\tilde{E}_1=2,58$ Тд, $\tilde{E}_1'=2,0$ Тд/эВ, $W_1=7,82 \cdot 10^5$ см/с, $W_1'=3,5 \cdot 10^5$ см/(с · эВ), а для Kr $\tilde{E}_2=0,241$ Тд, $\tilde{E}_2'=0,52$ Тд/эВ, $W_2=1,52 \cdot 10^5$ см/с и $W_2'=0,46 \cdot 10^5$ см/(с · эВ). При этом левая часть (4) равна 1,80, а правая—1,23. Левая часть (3) равна 5,94, а правая—5,34, т. е. ОДП возможна. Наличие ОДП электронов в рассматриваемой смеси подтверждается как непосредственным численным решением уравнения Больцмана сечениями из [5], так и по формуле (1). Согласно этим расчетам, в этой смеси ОДП наблюдалась в интервале (U_1, U_2) , где $U_1=1,1$ эВ и $U_2=2,6$ эВ, причем $\tilde{E}(U_1)=0,43$ Тд, $W(U_1)=4,36 \cdot 10^5$ см/с, а $\tilde{E}(U_2)=1,98$ Тд, а $W(U_2)=4,10 \cdot 10^5$ см/с.

Эффект ОДП электронов смеси $He:Xe=0,3:0,7$ был зафиксирован нами по выполнению критериев (3) и (4), а также численным решением уравнения Больцмана. Здесь ОДП проявляется в диапазоне (U_1, U_2) , где $U_1=2,0$ эВ, $U_2=2,49$ эВ, $\tilde{E}(U_1)=3,05$ Тд, $W(U_1)=3,69 \cdot 10^5$ см/с, $\tilde{E}(U_2)=4,50$ Тд, $W(U_2)=3,51 \cdot 10^5$ см/с.

Таким образом, полученный критерий (3) позволяет надежно обнаруживать бинарные смеси с ОДП электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Напартович, А. Н. Старостин. В кн. Химия плазмы, М., Атомиздат, 1979, с. 153—208.
2. R. E. Robson, Austral. J. Phys., 37, 35 (1984).

3. Р. В. Чифликян, Изв. НАН Армении, Физика, 29, №4, 131 (1994).
4. Y. Kaufman, J. Phys. D: Appl. Phys., 21, 443 (1988).
5. Л. Хаксли, Р. Кромптон. Диффузия и дрейф электронов в газах. М., Мир, 1977.

**ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ԲԱՑԱՍԱԿԱՆ ԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ԳՈՑՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԱՆԻՇԸ ԹՈՒՅԼ ԻՈՆԻԶԱՑՎԱԾ ՑԱԾՐԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ՊԼԱՋՄԱՑՈՒՄ ԳԱԶԵՐԻ ԵՐԿԱԿԻ ԽԱՌՆՈՒՐԴՆԵՐՈՒՄ**

Ռ. Վ. ՉԻՖԼԻԿՅԱՆ

*Թույլ իոնիզացված ցածրատիճանային պլազմայում երկակի խառնուրդների համար դասը
է բերված էլեկտրոնների բացասական դիֆերենցիալ հաղորդականության գոյության անհրա-
ժեշտ և բավարար պայմանը: Ցույց է տրված այդ էֆեկտի առկայությունը He:Kr և He:Xe
իններա գազերի խառնուրդներում:*

**EXISTENCE CRITERION OF THE NEGATIVE DIFFERENTIAL
CONDUCTIVITY OF ELECTRONS IN BINARY MIXTURES OF GASES
IN WEAKLY IONIZED LOW-TEMPERATURE PLASMA**

R. V. CHIFLIKIAN

The necessary and sufficient condition of the negative differential conductivity of electrons in binary mixtures of gasses in weakly ionized low-temperature plasma is obtained. This effect becomes apparent in He:Kr and He:Xe inert gas mixtures.