

УДК 533.9

ПРОВОДИМОСТЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗМУЩЕНИИ

А.Р. МКРТЧЯН¹, А.С. АБРААМЯН¹, Р.Б. КОСТАНЯН²,
К.П. АРОЯН¹, К.С. МКРТЧЯН¹

¹Институт прикладных проблем физики НАН Армении

²Институт физических исследований НАН Армении

(Поступила в редакцию 11 марта 2005 г.)

Исследовано поведение аргоновой плазмы в акустическом поле. Изучена величина порога контракции разряда. В области скачкообразного изменения вольтамперных характеристик наблюдались резкие изменения дифференциального сопротивления, проводимости и энерговклада при переходе плазмы из невозмущенного состояния в состояние плазмы с акустическим возмущением. Поведение электрической проводимости плазмы с акустическим возмущением после скачка становится аналогичным поведению электрической проводимости твердого тела и энерговклад в плазму возрастает в 2-3 раза.

Управление параметрами низкотемпературной неравновесной плазмы является одним из актуальных вопросов в физике газового разряда. В последние годы проведено много работ по управлению параметрами плазмы с помощью различных внешних воздействий. Особое место среди них занимает воздействие акустических полей на плазму [1].

В настоящей работе исследовался разряд атомарного газа аргона с индуцированным в нем акустическим полем. Акустическое поле создавалось модуляцией разрядного тока [2], содержащего постоянную и синусоидальную переменную компоненты. Ток в разрядной трубке управлялся при помощи лампы высоковольтного модулятора, включенной последовательно с разрядной трубкой. Исследовались поведение внутреннего и дифференциального сопротивления, проводимости разряда и энерговклад в разряд.

При подаче только постоянной компоненты тока в разрядной трубке формировался цилиндрический положительный столб диаметром 8-20 мм (зависит от давления газа и величины разрядного тока). Изменение постоянного тока от 15 до 50 мА не приводит к контракции разряда. При модуляции разрядного тока переменной компонентой диаметр положительного столба уменьшается по мере увеличения переменной компоненты. Начиная с определенного значения переменной компоненты имеет место скачкообразная контракция разряда, диаметр плазменного шнура становится равным 1.5-2 мм.

Дальнейшее увеличение доли переменной компоненты тока разряда не приводит к изменению состояния контракции.

При обратном ходе величины переменной компоненты разрядного тока наступает расконтрагирование разряда и диаметр положительного столба доходит до прежних значений. Расконтрагирование наступает при меньших значениях переменной компоненты разрядного тока, т.е. имеет место гистерезис.

Величина переменной компоненты ($I(\sim)$), при которой наступает контракция (порог контракции), зависит от давления газа (P), частоты модуляции (f) и величины постоянной компоненты разрядного тока ($I(=)$). На частотах акустических резонансов разрядной трубки контракция наступает при меньших глубинах модуляции, чем на нерезонансных. С увеличением частоты модуляции величина порога контракции существенно уменьшается, т.е. контракция наступает при меньших амплитудах переменной компоненты разрядного тока.

В дальнейшем проводились исследования зависимости поведения дифференциального сопротивления и проводимости от параметров плазмы при постоянном значении переменной компоненты тока ниже порога контракции, где диаметр разряда практически не менялся с изменением переменной компоненты разрядного тока. Результаты этих исследований приведены на рис.1 и 2. Дифференциальные сопротивления были получены расчетным путем из вольтамперной характеристики (ВАХ), приведенной на рис.3.

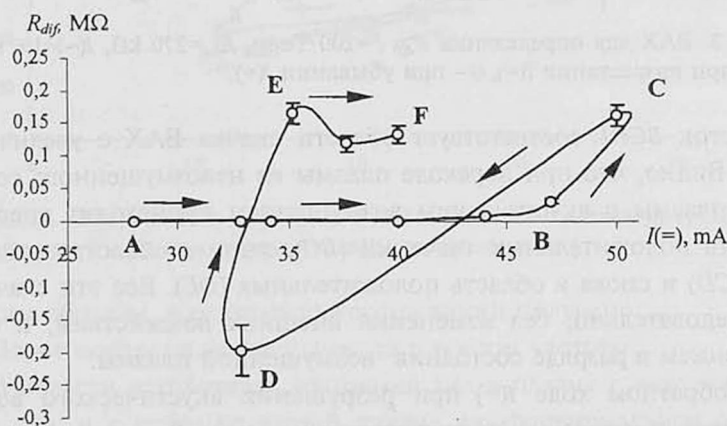


Рис.1. Зависимость дифференциального сопротивления R_{dif} от величины постоянной компоненты разрядного тока I_0 ; $P_0=200$ Торр, $R_{bal}=270$ kΩ.

На рис.1 представлена зависимость дифференциального сопротивления разряда R_{dif} от величины $I(=)$, при фиксированной $I(\sim)=1,6$ mA, $P=200$ Торр, и балластном сопротивлении $R_{bal}=270$ kΩ.

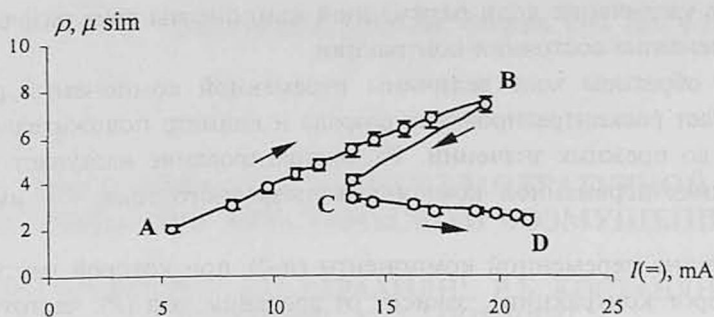


Рис.2. Зависимость электропроводности плазмы ρ от постоянной компоненты разрядного тока $I(=)$ для плазмы с акустическим возмущением; $P=350$ Торр, $I(\sim)=1.58$ мА, $f=0.402$ кГц при возрастании $I(=)$.

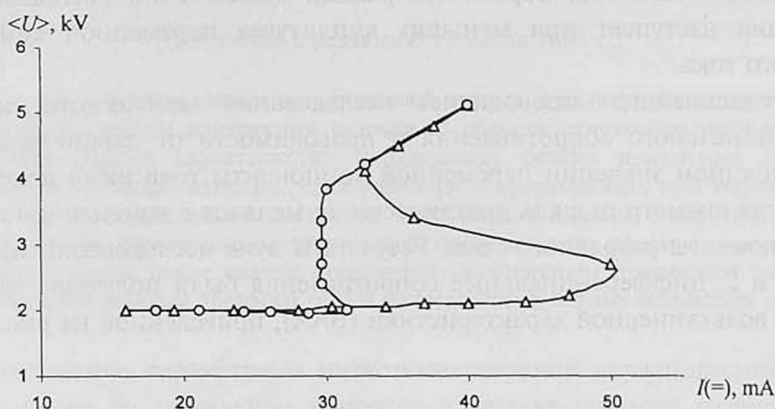


Рис.3. ВАХ для определения R_{dif} . $P=200$ Торр, $R_{bal}=270$ кΩ, $I(\sim)=1.6$ мА. Δ – при возрастании $I(=)$, $\circ$ – при убывании $I(=)$.

Участок $BCDE$ соответствует области скачка ВАХ с увеличением напряжения. Видно, что при переходе плазмы из невозмущенного состояния в состояние плазмы с акустическим возмущением происходит сперва скачок R_{dif} в область положительных значений (BC), затем в область отрицательных значений (CD) и снова в область положительных (DE). Все эти скачки происходят последовательно, без изменения внешних воздействий, и связаны с возникновением в разряде состояния возмущенной плазмы.

На обратном ходе $I(=)$ при разрушении акустического возмущения плазмы сперва происходит положительный скачок R_{dif} , а затем отрицательный. Таким образом, в обоих случаях при скачке ВАХ дифференциальное сопротивление принимает отрицательное значение.

На рис.2 представлена зависимость ρ от $I(=)$ при наличии переменной компоненты разрядного тока $I(\sim)=1.58$ мА, $f=0.402$ кГц. Из рисунка следует, что первоначально ρ возрастает с увеличением тока (участок AB), как и в невозмущенной плазме, т.е. плазма находится в состоянии, близком к невозмущенному.

При дальнейшем увеличении $I(=)$, в момент перехода плазмы в возмущенное состояние (точка В) происходит скачок ρ (BC), ρ уменьшается почти в два раза и практически остается постоянной при дальнейшем увеличении $I(=)$ (CD), т.е. поведение ρ при $I(\sim) \neq 0$ аналогично поведению проводимости твердых тел. При обратном ходе $I(=)$ ρ плазмы повторяет свое поведение, но в обратном направлении. Отметим, что проводимость не зависит от акустической моды системы.

На рис.4 приведены результаты исследований энерговклада в разряд для невозмущенной плазмы (кривая 1) и плазмы с акустическим возмущением (кривая 2). Видно, что после скачка ВАХ кривая 2 меняет угол наклона, что позволяет увеличить энерговклад в 2-3 раза по сравнению с невозмущенной плазмой.

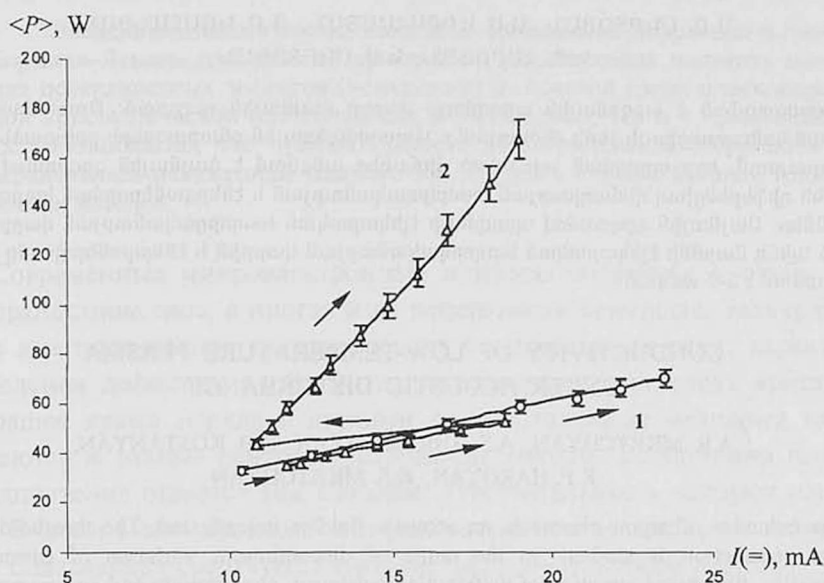


Рис.4. Энерговклад в разряд; $P_0=350$ Торр. 1 – невозмущенная плазма; 2 – плазма с акустическим возмущением.

Таким образом, в результате исследований получено:

1. Порог контракции уменьшается с ростом частоты;
2. В области устойчивых состояний как в плазме с акустическим возмущением, так и в невозмущенной плазме дифференциальное сопротивление имеет малую положительную величину. В области скачка ВАХ дифференциальное сопротивление меняет знак.
3. Поведение электрической проводимости плазмы с акустическим возмущением после скачка ВАХ становится аналогичным поведению электрической проводимости твердого тела и не зависит от частоты модуляции.
4. Для плазмы с акустическим возмущением после скачка ВАХ энерговклад возрастает в 2-3 раза, по сравнению с невозмущенной плазмой.

Эти результаты можно также представить с помощью описания состояния газоразрядной плазмы уравнением Ван-дер-Ваальса и трактовать с помощью катастрофы сборки [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.А.Галечян, А.Р.Мкртчян. Акустоплазма. Ереван, 2005.
2. А.С.Абраамян, К.П.Ароян, Т.Ж.Бежанян, С.А.Геворкян, Р.Б.Костанян. Труды конф. "Лазерная физика - 2003", 14-17 октября 2003, Аштарак, Армения, с.73.
3. А.Р.Мкртчян, А.С.Абраамян, Р.Б.Костанян, К.П.Ароян, К.С.Мкртчян. Изв. НАН Армении, Физика, **40**, 209 (2005).

ՑԱՐԳԱԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆ ՊԼԱԶՄԱՅԻ ՀԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՁԱՅՆԱՅԻՆ ԳՐԳՈՄԱՆ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՄԲ

Ա.Ռ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Ա.Ս. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ, Ռ.Բ. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ,
Կ.Պ. ՀԱՐՈՅԱՆ, Կ.Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

Հետազոտված է արգոնային պլազմայի վարքը ձայնային դաշտում: Ուսումնասիրված է պարզման կոնտրակցիայի շեմի մեծությունը: Վոլտամպերային բնութագրերի թռիչքաձև փոփոխման տիրույթում, երբ պլազման չգրգռված վիճակից անցնում է ձայնային գրգռումով վիճակի, դիտվել են դիֆերենցիալ դիմադրության, հաղորդականության և էներգաներդրման կտրուկ փոփոխություններ: Ձայնային գրգռումով պլազմայի էլեկտրական հաղորդականության վարքը նման է դառնում պինդ մարմնի էլեկտրական հաղորդականության վարքին և էներգաներդրումը պլազմայում մեծանում է 2-3 անգամ:

CONDUCTIVITY OF LOW-TEMPERATURE PLASMA UNDER ACOUSTIC DISTURBANCE

A.R. MKRTCHYAN, A.S. ABRAHAMYAN, R.B. KOSTANYAN,
K.P. HAROYAN, K.S. MKRTCHYAN

The behavior of argon plasma in an acoustic field is investigated. The threshold value of discharge contraction is studied. In the range of discontinuous variation of current-voltage characteristics, the abrupt variation of differential resistance, conductivity and energy contribution under transition of plasma from the undisturbed state into the state with acoustic disturbance is observed. The behavior of electrical conductivity with acoustic disturbance after jump becomes similar to the electrical conductivity of a solid and the energy contribution to plasma increases 2-3 times.