

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФИКСАЦИЯ СВОБОДНОГО ОБЪЕМНОГО ЗАРЯДА И ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ПЕРЕНОС ИМ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ ВЕЩЕСТВ

**А.И.Герасимов, И.В.Герасимов**

*Костромской государственной университет им. Н.А.Некрасова  
156000. г.Кострома, ул.1 Мая, 14. ellips@kmtn.ru; kgpu@kosnet.ru*

I. Излучательные свойства [1,2] объема разряда униполярного пробоя газа (УПГ) находят применение [3] в высокотемпературных процессах получения полупроводниковых веществ, протекающих через паровую (газовую) фазу. В [4] обнаруживается воздействие электрического поля объема разряда УПГ на процесс горения углеводородных топлив. В [5] показывается возможность использования излучательных свойств разряда УПГ при экологическом контроле за состоянием воздушной и водных сред, в водосберегающих технологиях.

Слабо светящийся столб разряда УПГ появляется вслед движению по объему разреженного газа свободных объемных зарядов (СОЗов) отрицательного знака [6], которые возникают на некотором расстоянии от единственного покрытия-электрода (ПЭ), размещенного на внешней поверхности стеклянной стенки трубки с разреженным газом, и которые являются источниками электрических и электромагнитных полей. При возбуждении разряда УПГ на ПЭ от импульсного источника с частотой  $\leq 1$  кГц поступают высоковольтные ( $\leq 7$  кВ) импульсы потенциала с их длительностью по основанию  $\leq 10$  мкс.

В предлагаемой работе рассматриваются процессы, предшествующие возникновению СОЗов, механизмы фиксации их пространственных границ и возможность пространственной транспортировки их объемами атомов и молекул различных веществ.

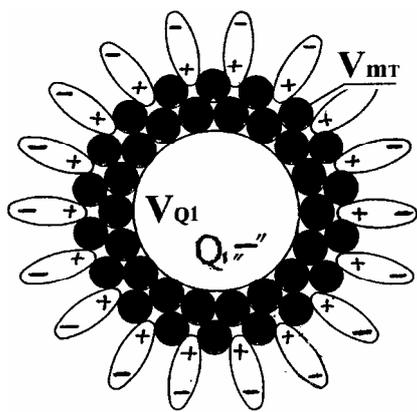
II. В ходе экспериментальных исследований разряда УПГ [7] установлено, что свечение газа (воздуха) первоначально появляется в той части объема трубки, которая находится вблизи поверхности или плоского (торцевого) ПЭ, или под поверхностью внешнего цилиндрического ПЭ при наличии на нем импульсов потенциала  $\varphi$ . Возможность использования в разряде УПГ цилиндрического ПЭ позволила обнаружить весьма важные зависимости между всеми параметрами возбуждения разряда и отдельными стадиями его развития, которые невозможно получить при постоянной площади плоского (торцевого) ПЭ. Основная из этих зависимостей – пропорциональность размеров объема  $V_{OC}$  области свечения (ОС) под поверхностью ПЭ энергии  $\varepsilon_{II} = t_{II} i_{II} \varphi = q_{II} \varphi$ , соответствующей поступлению импульса потенциала  $\varphi$  на ПЭ ( $q_{II}$  – заряд на поверхности ПЭ при появлении ОС газа под этой поверхностью,  $t_{II}$  – длительность импульса  $\varphi$  на ПЭ). Второй по важности результат наблюдений – дискретный характер процесса формирования ОС в объеме газа под поверхностью цилиндрического ПЭ: формирование ОС начинается в объеме газа вблизи торцевых кромок ПЭ и последовательно распространяется на весь объем газа под поверхностью ПЭ. Если ПЭ придвинуто непосредственно к торцевой стенке трубки, то распространение ОС происходит в направлении этой стенки. Окончательная протяженность  $L_{OC}$  ОС, возникшей за длительность  $t_{II}$  одного импульса  $\varphi$ , определяется всеми параметрами возбуждения разряда УПГ: давлением газа  $p$ , радиусом трубки  $r_{TP}$ , длиной  $L_{ПЭ}$  ПЭ, амплитудой и длительностью  $t_{II}$  импульсов  $\varphi$  (в экспериментах с УПГ использовались импульсы  $\varphi$  с формой, близкой к треугольной, позволяющей значительно упростить все расчеты),

Оптические наблюдения показали, что между давлением газа  $p$  и объемом ОС существует зависимость:  $V_{OC} \sim p^{-1}$ . Следующий важный момент: появление ОС под поверхностью цилиндрического ПЭ сопровождается скачкообразным повышением (до порядка величины) давления газа ( $p_{OC}$ ) в его объеме под ПЭ. Повышение это происходит за счет смещения молекул газа из остального объема трубки, где его давление вследствие этого понижается. При этом часть объема газа под ПЭ, или весь объем, где возникла ОС, становится источником сильного колебательного процесса, который распространяется по всему газу внутри объема трубки. Частоты возбуждаемых колебаний определяются геометрией пространственной локализацией ОС под поверхностью ПЭ, радиусом  $r_{TP}$ , длиной ПЭ  $L_{ПЭ}$  и длиной трубки  $L_{ТР}$ .

Измерения плавающего потенциала с помощью электрических зондов, вводимых в ОС под ПЭ в плоскости радиального сечения трубки, устанавливали наличие отрицательного потенциала  $\varphi_{(-)OC} \approx \varphi(p_{OC}/p_N)$  в центральной части ОС ( $p_N$  - атмосферное давление воздуха) и положительного  $\varphi_{(+ )OC}$  (значительно меньшего – на несколько порядков величины) – в периферийной части ОС. Перемещение электрического зонда по центральной части ОС параллельно внутренней стенке трубки устанавливало существование в ее объеме чередующихся областей с положительными и отрицательными потенциалами, также различающимися на несколько порядков величины.

В начальный момент переднего фронта очередного импульса потенциала  $\varphi$ , поступающего на ПЭ, интенсивность высвечивания газа из ОС резко уменьшается, чтобы затем, за оставшуюся длительность импульса  $t_{II}$ , последовательно восстановиться. При этом на некотором расстоянии от кромок ПЭ в объеме газа трубки появляется вторая область свечения газа – светящееся образование (СО), объем которого близок к объему ОС под поверхностью ПЭ.

Пространственное распределение отрицательного заряда в границах объема СО является непрерывным (в отличие от дискретного распределения этого заряда в границах ОС под поверхностью ПЭ). Геометрия появляющегося СО определяется теми же параметрами разряда, что и размеры объема ОС под поверхностью ПЭ. Если ОС занимает весь объем под поверхностью ПЭ и при этом выполняется условие  $L_{ПЭ} \gg 2r_{TP}$ , то длина СО, возникающего на некотором расстоянии от ПЭ, может превышать внутренний диаметр трубки в несколько раз.

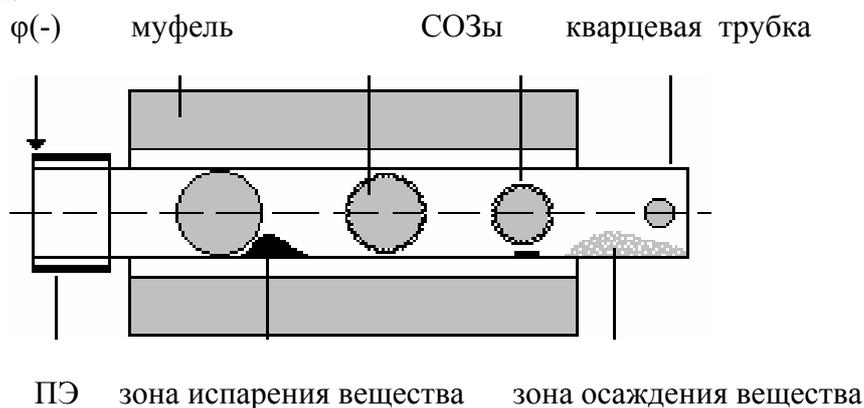


**Рис. 1.** Фиксация объемного отрицательного заряда (с  $Q_1$  и  $V_{Q1}$ ) светящейся оболочкой из ионизированных, возбужденных и поляризованных молекул (с объемом  $V_{MT}$ ) паровой (газовой) фазы веществ.

Появившиеся СО является источником электрического поля, которое фиксируется в пространстве вокруг трубки с разрядом УПГ. Но поскольку источником такого поля могут быть только свободные заряды, - заряды одного знака, то объем СО должен представлять собой *свободный объемный заряд* (отрицательного знака) – СОЗ. С приходом на ПЭ каждого очередного импульса  $\varphi$  СОЗы удаляются от ПЭ, являясь движущимися источниками электрического поля. Удаление это сопровождается последовательным распадом их объемного заряда  $Q_{CO3}$ , который, в свою очередь, проявляется в последовательном уменьшении их объемов  $V_{CO3}$  и излучением с его поверхности электромагнитных полей в широком интервале частот.

III. Экспериментально зафиксировать присутствие СОЗов в объеме газа трубки и проследить эволюцию их объемов по мере удаления от ПЭ позволяет их светящаяся оболочка из ионизованных, возбужденных и поляризованных молекул и атомов газа. Ионизация компонент воздуха может быть при этом весьма незначительной, или отсутствовать вовсе – могут высвечиваться только возбужденные атомы и молекулы компонент воздуха.

СОЗ представляет собой [ ] сплошное пространственное распределение (с плотностью  $\rho$ ) заряда отрицательного знака, когда  $\rho \sim p$  (и только!). При  $p, \rho - const$  поле СОЗа  $\vec{\nabla}E = \rho/\epsilon_0$  и возможность его взаимодействия с атомами и молекулами газовой и паровой среды вокруг СОЗа определяется только его радиальными размерами, его радиусом  $r_{CO3}$ : для сферической геометрии СОЗа его максимальное (при данном давлении газа) поле  $E_{CO3} = r_{CO3}\rho/3\epsilon_0$  определяется только радиусом трубки,  $r_{CO3} = r_{TR}$ . При удалении СОЗа от ПЭ его размеры, его радиус  $r_{CO3}$  уменьшается, при этом его поле  $E_{CO3} = r_{CO3}\rho/3\epsilon_0$  все в меньшей степени способно взаимодействовать с окружающей его средой. Уменьшается при этом и возможность удержания в качестве оболочки вокруг СОЗа атомов и молекул паровой и газовой фазы в ионизованном, возбужденном и поляризованном состоянии. Именно это обстоятельство и проверялось в эксперименте по пространственному переносу паровой фазы арсенида галлия из области его сублимации.



В эксперименте исходное вещество ( 5 граммов поликристаллического  $GaAs_2$  ) помещалось внутри разрядной трубки в области появления СОЗов вблизи ПЭ. Устанавливался такой режим формирования СОЗов, при котором за длительность одного импульса  $\varphi_i$  на ПЭ появлялся только один СОЗ (диаметр трубки  $2r_i = 19$  мм, давление газа (воздух)  $p = 0.2$  Торр, амплитуда импульсного потенциала  $\varphi_i$  на ПЭ  $\varphi_i = 6.5$  кВ, частота следования импульсов  $f_i = 1$  кГц, длительность импульсов  $t_i = 10$  мкс, длина ПЭ  $l_{ПЭ} = 22$  мм, первоначальный радиус СОЗов  $r_{COO} = r_{TR}$  .

Трубка с разрядом УПГ помещалась в муфельную печь таким образом, чтобы исходное вещество и область появления СОЗов приходились на область температур печи, превышающей температуру сублимации  $GaAs_2$  (853 К). С началом процесса сублимации  $GaAs_2$  вокруг СОЗов появлялась цветная оболочка, которая сохранялась до выхода СОЗов за пределы муфельной печи, в область нормальной температуры. Здесь размеры СОЗов уменьшались, а их цветная оболочка исчезала одновременно с появлением на значительной области поверхности внутренней стенки стеклянной трубки темного налета арсенида галлия. В отсутствие разряда УПГ осаждение паров  $GaAs_2$  происходило на незначительной площади внутренней поверхности стенки трубки и начиналось оно еще в пределах муфельной печи.

Результаты эксперимента подтверждают не только образование оболочек вокруг СОЗов из ионизованных, возбужденных и поляризованных молекул и атомов газообразной (паровой) фазы различных веществ, но и показывают возможность пространственного переноса вещества, удерживаемого в качестве оболочки радиальным полем объемного заряда отрицательного знака.

#### Литература

1. Герасимов И.В. // *Журн.техн.физики*. 1986.Т.56.С.1840-1844
2. Герасимов И.В. // Патент РФ N2076381 "Поверхностный и объемный источник зарядов одного знака" (приоритет от 25.03.1991). БИ N9.1997.
3. Gerasimov A.I., Gerasimov I.V. // *Proc. XXV Int. Symposium on Plasma Chemistry. Orleans.France. 2001. V.VIII.PP.3303-3308.*
4. Gerasimov I.V., Mavlonov Sh. *Surface Eng. and Appl. Elelectrochem.*1993.V.5.PP.40-43.
5. Gerasimov A.I., Gerasimov I.V. // *Proc.II International Congress "Water: Ecologia and Technologia" (ECWATEC - 96). Moscow. 1996. PP.314-315.*
6. Герасимов И.В. // *Журн.техн.физики*.1994.Т.65.С.30.
7. Герасимов И.В. // *Физика плазмы*.1988.Т.14.С.1214-1221.