

СТАЦИОНАРНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД В ПОРАХ ЦЕОЛИТА

Н.Н.ЛЕБЕДЕВА, В.И.ОРБУХ, Т.З.КУЛИЕВА, Ч.А.СУЛТАНОВ

*Бакинский Государственный Университет, Институт Физических Проблем
AZ 1148, г.Баку, З.Халилов, 23*

В работе приведены результаты исследования стационарного газового разряда в порах и полостях природного цеолита.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие эмиссионные характеристики нанотрубок и пор лежат в основе нового класса электронных эмиттеров с уникально низким напряжением питания и энергопотребления [1,2]. Результаты проведенных исследований эмиссионных свойств различных наноматериалов показывают перспективность их использования в качестве автоэмиттеров. Благодаря уникальным эмиссионным характеристикам углеродные нанотрубки (УНТ) оказались эффективными в качестве покрытия электродов в газоразрядных устройствах. Группа исследователей из Университета Северной Каролины (США) совместно с рядом промышленных компаний предложили заменить металлические электроды на электроды, содержащие углеродные нанотрубки. Этот модифицированный электрод использовали в качестве катода газоразрядной трубки. Сравнение пробойных характеристик стандартной газоразрядной трубки с трубкой, катод которой был покрыт слоем нанотрубок, проводили при межэлектродном расстоянии 1мм и давлении буферного газа (Ar, Ne) 15Торр. Модифицированная трубка обеспечила снижение среднего напряжения пробоя на 30% и уменьшение разброса его значений в 4÷20 раз. Газоразрядные люминесцентные лампы с холодным катодом широко используют для фоновой подсветки жидкокристаллических экранов. К недостаткам таких ламп относятся высокий уровень потребляемой мощности. Исследователи из Tatung Univ. (Тайвань, *Appl. Phys. Lett.*, **88** (2006) 013104-013105) недавно предложили новую конструкцию катода для люминесцентных ламп, в которой для снижения рабочего напряжения используют углеродные нанотрубки (УНТ). В конструкции одинаковые электроды, разделенные расстоянием 5см, покрыты пастообразной смесью люминофора с многослойными УНТ в отношении 200:1. Некоторое количество УНТ прорастает с поверхности электродов, что облегчает зажигание разряда. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон. Напряжение зажигания разряда при давлении Ar 0.17Торр составляло 300В, что обеспечивало разрядный ток на уровне 10мА. При этом катодная пластина испускала яркое излучение в видимой области спектра. Следует отметить, что в контрольном образце, электроды которого не содержали УНТ, инициирование разряда наблюдали лишь при напряжении не ниже 1100В. При использовании электродов с добавлением УНТ также резко снижается напряжение горения разряда (с 670 до 87В). На основе электродов с УНТ был изготовлен прототип плоскочастотного источника света полезной площадью 25см². Рабочее давление аргона составляло 0.45Торр. Разряд зажигался при напряжении 220В и стабильно горел при напряжении 180В. Суммарная яркость однородного излучения с поверхности панели составила величину 500кандел/м².

В [3] была предложена модель усиленной полем самоподдерживающейся электронной (СЭ) эмиссии в пористых диэлектриках, которая находит применение в электронно-оптических преобразователях ИК-изображений [4-6]. Авторы приведенных выше работ эмиссию электронов из пор и нанотрубок объясняют

либо эффектом увеличения поля в окрестности головки нанотрубки, либо развитием лавинного умножения носителей заряда, вызываемого ударной ионизацией стенок трубки. Другой взгляд на механизм, так называемой пороэлектронной эмиссии, высказывают авторы [7-8]. Наблюдались токи в вакуумной промежуточной катодной трубке из катода с пористой поверхностью и из геттера. Зависимость тока от напряжения (ВАХ) имела линейный характер, а величина тока зависела от газонасыщенности геттера и пор на поверхности катода. При дальнейшем увеличении внешнего напряжения появлялась вероятность зажигания самостоятельного газового разряда, и линейный участок переходил в экспоненциальный. Авторы полагают, что единственное физическое явление, в рамках которого можно объяснить эмиссию, является резонансная десорбция газа при наличии на поверхности молекул воды, кислорода, азота. Отрицательные ионы рекомбинируют на поверхности пор с выделением электрона, имеющего достаточную энергию (несколько эВ) для поддержания резонансной десорбции газа. Согласно предложенной гипотезе имеет место газовый разряд в порах поверхности. При провисании электрического поля в объеме поры катода в ней создается газовая среда вследствие резонансной десорбции газа. С увеличением напряжения происходит ионизация газа и свечение его. Таким образом подтверждается возможность зажигания газового разряда, насыщенного газом, в порах на поверхности отрицательного электрода.

В настоящей работе мы сообщаем о прямом наблюдении стационарного газового разряда в сквозных порах и полостях природного цеолита. Измерялись вольт-амперные характеристики при разных давлениях остаточного газа с одновременной регистрацией свечения газового разряда на выходе из пор.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве пористого объекта был выбран природный цеолит. Цеолиты являются нестехиометрическими соединениями, составы которых изменяются в широких пределах, образуя ряды твердых растворов. В настоящее время известно более 40 структурных видов природных цеолитов, наиболее распространенными из которых являются морденит и используемый нами клиноптилолит. Ценность цеолитов обусловлена общим для этих минералов ажурным алюмокремнекислым каркасом, образующим систему полостей и каналов, размер входных окон которых достаточно велик ($0.26 \div 0.27$ нм), чтобы в них могли проникнуть молекулы и ионы большинства органических и неорганических соединений. Каркасы цеолитов образованы из анимонитов кремния и алюминия. Из-за своего строения каркас имеет отрицательный заряд, и этот заряд компенсируется катионами воды, щелочных и щелочноземельных металлов, находящихся в порах и полостях каркаса и слабо связанных с ним. Вода может быть удалена при нагреве или вакуумировании цеолита, что не влияет на жесткий каркас - его структура практически не меняется.

В качестве объекта исследования был выбран клиноптилолит: сингония-моноклинная, пространственная группа симметрии $C2/m$; параметры элементарной ячейки: $a=1.761$ нм, $b=1.780$ нм, $c=0.741$ нм, $\beta=115,2^\circ$. Для эксперимента приготавливались образцы цеолита в виде пластин, выпиленных из объемного моноблока природного цеолита клиноптилолита, химический состав которого, подтвержденный проведенным нами рентгенографическим анализом, содержал: $Al_2O_3-11,36$; $SiO_2-67,84$; $Na_2O-1,25$; $MgO-0,49$, $P_2O_5-0,11$; $SO_3-0,03$; $K_2O-3,01$; $CaO-0,29$; $TiO_2-0,08$; $MnO-0,078$; $Fe_2O_3-1,19$; KJ-11,64. Размеры пластин $20 \times 10 \times 1,2$ мм. Отшлифованная с обеих сторон плоскопараллельная пластина зажималась в кассете между двумя плоскими металлическими электродами, один

из которых был проводящим слоем SnO_2 на стеклянном диске, другой-отполированным металлическим диском. Оба электрода полностью покрывали пластину цеолита. Кассета помещалась в камеру, снабженную окнами для визуальной и фотографической регистрации свечения газового разряда, электрическими вводами и выводом для откачки газа из камеры. Давление в камере регистрировалось манометром с точностью до 3тор. Постоянное стабилизированное напряжение было в интервале $40 \div 1000\text{В}$. Ток разряда регистрировался в интервале $10^{-9} \div 10^{-3}\text{А}$. Свечение разряда наблюдалось визуально через прозрачный электрод и фотографировалось.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На Рис.1 приведены ВАХ, измеренные при различных фиксированных давлениях. ВАХ измерялись в следующем режиме. После установления рабочего давления на ячейку подавались фиксированные напряжения. Ток при каждом напряжении регистрировался после установления стационарного значения. Кривые 1, 2, 3 соответствуют зависимостям $I(U)$ при давлениях $p=60, 45, 200\text{тор}$, соответственно. На этих зависимостях наблюдается начальный линейный участок,

переходящий с ростом напряжения в близкий к экспоненциальному. Кривая 4 соответствует зависимости тока от напряжения при давлении в камере $p=0,1\text{тор}$.

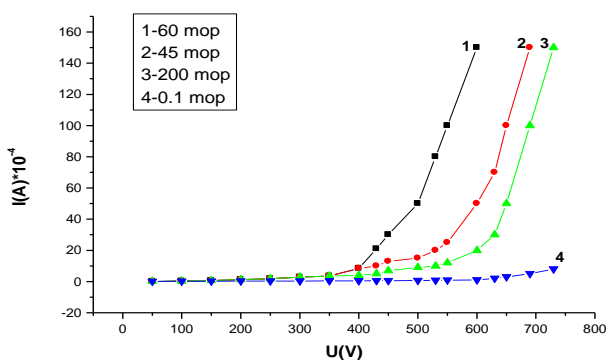


Рис.1.

Зависимость тока в пластине цеолита от напряжения при разных остаточных давлениях воздуха: 1- 60тор, 2- 45тор, 3- 200тор, 4 - 0,1тор

При напряжениях, соответствующих переходу от линейного к экспоненциальному участкам, на стороне образца, прижатой к положительному прозрачному электроду, появляются светящиеся точки, интенсивность которых увеличивается с ростом напряжения (Рис.2). Зависимость напряжения зажигания от давления, приведенная на Рис.3, подчиняется закону Пашена.

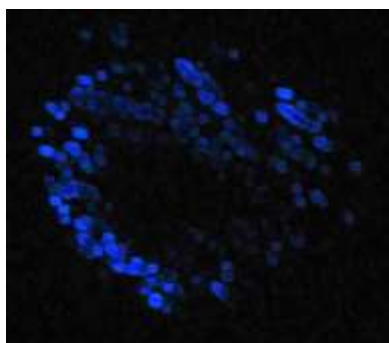


Рис.2.

Фотография свечения газового разряда на выходе из пор цеолита.

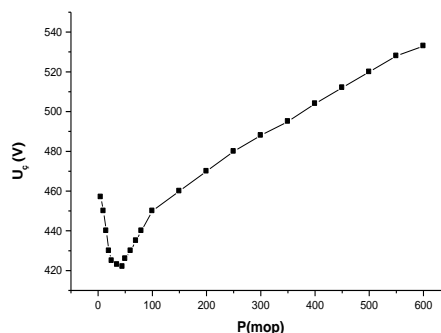


Рис.3.

Зависимость напряжения зажигания разряда U_z от остаточного давления газа

Спектральный состав свечения ($0.3 \div 0.4\text{мкм}$) соответствует свечению газового разряда в воздухе. При напряжениях $U > 650-800\text{В}$, когда ток через пластину цеолита достигает нескольких миллиампер, наблюдается неустойчивость тока, а с дальнейшим ростом U наступает пробой. При пробое разрушается пленка

SnO_2 на стекле в месте контакта пластины с этим электродом и повреждается поверхность стекла. В вакуумированном образце (кривая 4 на Рис.1) свечение не возникало вплоть до $U=1\text{кВ}$.

Полученные результаты сформулируем следующим образом:

1. на ВАХ наблюдается резкий рост тока при некотором напряжении U_3 , зависящем от давления;
2. при больших U ($U > U_3$) сквозь прозрачный электрод (анод) наблюдается свечение, исходящее из трубок;
3. длина волны свечения $\lambda=0.3\div 0.4\text{мкм}$ соответствует обычному газовому разряду в данной среде (воздух);
4. зависимость напряжения зажигания от давления удовлетворяет закону Пашена.

На основании указанных пунктов мы делаем вывод, что в нашей ситуации в той или иной мере реализуется стационарный газовый разряд. Нанопоры в пластине цеолита сквозные и в отсутствии электрического поля содержат газ с малым количеством затравочных электронов и ионов. Сквозной стационарный ток на линейном участке ВАХ обусловлен движением этих зарядов. При напряжении поля, соответствующего началу экспоненциального участка ВАХ, в порах начинается размножение электронов и возникает газовый разряд, свечение которого мы наблюдаем из пор, выходящих на поверхность пластины цеолита, прижатую к прозрачному аноду. С ростом поля растет стационарный газоразрядный ток, переходящий затем в ток пробоя. Наш эксперимент дает основание полагать, что размножение носителей тока происходит за счет газа, находящегося в порах, а не за счет вещества, составляющего стенки пор. Таким образом, в работе получены прямые экспериментальные доказательства зажигания газового разряда в нанопорах природного цеолита в постоянном электрическом поле. Другими словами, нанопоры цеолита являются эффективными эмиттерами электронов. Из полученных нами результатов можно сделать предположение, имеющее практическое значение: об использовании дешевого природного цеолита в газоразрядных устройствах с низким энергопотреблением и в плоских катодолюминесцентных источниках света.

1. А.В.Елецкий, *УФН*, **167** (1997) 945.
2. Yu.V.Gulyaev, L.A.Chernozatonskii, *J.Vac.Sci.Technol. B*, **13** (1995) 435.
3. П.М.Шихалиев, *Письма в ЖТФ*, **24** №19 (1998) 13.
4. Х.Н.Везиров, *Письма в ЖТФ*, **25** №2 (1999) 83.
5. Х.Н.Везиров, *ПТЭ*, **4** (1998) 104.
6. Х.Н.Везиров, *Fizika*, **XIII** №1-2 (2007) 342.
7. Н.В.Татарина, *Вакуумная техника и технология*, **12** (2003) 3.
8. Н.В.Татарина, *Изв. АН серия физ.*, **62** (1998) 2068.

SEOLIT MƏSAMƏLƏRİNDƏ STASİONAR QAZ BOŞALMASI

N.N.LEBEDEVA, V.I.ORBUX, T.Z.QULIYEVA, Ç.Ə. SULTANOV

Bu işdə təbii seolitın məsamələrində və boşluqlarında stasionar qaz boşalmasının tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

STATIONARY GAS DISCHARGE IN ZEOLIT PORES

N.N.LEBEDEVA, V.I.ORBUX, T.Z.KULIYEVA, Ch.A.SULTANOV

The results of investigation of stationary gas discharge in pores and hollows of natural zeolit have been presented.

Редактор: К.Курбанов