

В. В. КАРАСЕВ, Н. А. КРотова и член-корреспондент АН СССР Б. В. ДЕРЯГИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ПРИ ОТРЫВЕ ПЛЕНКИ ВЫСОКОПОЛИМЕРА ОТ СТЕКЛА В ВАКУУМЕ

Под явлением электронной эмиссии подразумеваются обычно процессы, имеющие место на границе металл — вакуум и сводящиеся к тому, что под действием той или иной причины электроны покидают металл и переходят в вакуум. И. В. Обреимовым⁽¹⁾ наблюдалось явление, которое, с нашей точки зрения, также можно считать одним из видов электронной эмиссии. Опыт состоял в следующем: слюда (мусковит) расщеплялась в высоком вакууме 10^{-4} — 10^{-5} мм рт. ст. При этом стенки и стеклянные части камеры флуоресцируют подобно стеклу разрядной трубки. Свет слаб, но отчетливо виден после трехминутного пребывания в темноте. После расщепления слюды в высоком вакууме внутренняя поверхность камеры и слюда покрыты электрическими зарядами. Если снизить вакуум, то в газе наблюдается вспышка.

Хотя сам автор в своей статье не отмечает этого, но эти явления следует считать особым типом электронной эмиссии, являющейся, по видимому, разновидностью автоэлектронной эмиссии.

Как мы уже отмечали, опыты И. В. Обреимова над расщеплением слюды в высоком вакууме могут быть сопоставлены с нашими наблюдениями отрыва пленок высокополимеров от различных твердых поверхностей. Мы считаем, что при расщеплении слюды (мусковита) также происходит разъединение электрических зарядов противоположного знака, причем в высоком вакууме в узком зазоре между разъединяемыми поверхностями образуется сильное электрическое поле, под действием которого происходит вырывание электронов.

В случае системы пленка высокополимера — стекло (согласно экспериментально обоснованной электрической теории адгезии) на поверхности раздела пленка — подкладка образуется двойной электрический слой. При быстром отрыве пленки от подкладки происходит разъединение обкладок двойного слоя, сопровождающееся электрическими явлениями (электризацией разъединяемых поверхностей, свечением, треском). Нами показано, что в том случае, если отрыв пленок различных полимеров от стекла производится в среднем вакууме (1 — $0,1$ мм рт. ст.), то при определенной рубежной скорости наблюдается яркое свечение газа внутри камеры, явно указывающее на то, что отрыв пленки сопровождается явлением газового разряда. Можно было ожидать, что при дальнейшем понижении давления свечение газов при разряде будет исчезать и что вместо этого будет иметь место люминесценция стекла, вызываемая электронами, которые вырываются под действием возникающих в зазоре между поверхностями пленки и подкладки сильных электрических полей.

Цель настоящей работы состояла в проверке этого предположения, так как обнаружение электронной эмиссии в этом случае явилось бы наглядным подтверждением электрической теории адгезии.

Прежде всего следовало установить, наблюдается ли при отрыве в высоком вакууме излучение, способное вызывать свечение специального экрана и почернение фотопластинки. Объектом исследования служила пленка препарата бензилцеллюлозы, образованная на стекле. Бензилцеллюлоза была взята потому, что в наших предыдущих опытах этот полимер обнаруживал высокую адгезию к стеклу и при отрыве от стекла

в среднем вакууме давал особенно яркое свечение. Стеклопластинка, служившая подкладкой (крон № 7), была предварительно очищена в тлеющем разряде.

Прибор, на котором производился отрыв, изображен на рис. 1. На штативе 1 укреплен держатель для пластинки с пленкой 2. К длинному концу образца пленки подвешен отрывающий грузик 3; пуск после откачки производится при помощи электромагнита пусковым механизмом 4. На расстоянии 1 см от образца помещен флуоресцирующий экран 5. Прибор помещается под вакуумный колокол и откачивается до давления $p = 10^{-4} - 10^{-5}$ мм рт. ст. при помощи высоковакуумного насоса ЦВЛ-100. Перед камерой помещена ловушка, охлаждаемая жидким воздухом. Измерение давления производится при помощи манометра Мак-Леода. Измеренная работа отрыва A равнялась $1,4 \cdot 10^5$ эрг/см², скорость отрыва $v = 0,3$ см/сек. При отрыве в темноте весь кусок экрана площадью 40×30 см вспыхивает голубовато-зеленым светом.

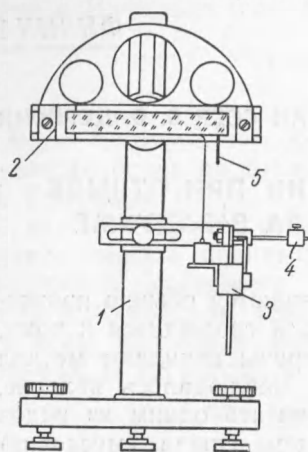


Рис. 1. Прибор для исследования электронной эмиссии в вакууме (с вращающейся пластинкой)

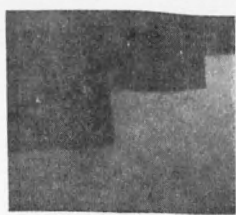
Для проверки в тех же условиях было проделано несколько повторных опытов. Предварительно пространство камеры исследовалось при помощи индуктора; эта проверка показала, что паразитического свечения газа под колоколом не наблюдается.

В последующих опытах наблюдалось, как и в предыдущем, голубовато-зеленое свечение экрана, хорошо заметное в темноте даже на расстоянии нескольких метров. Кроме того, флуоресцирует зеленоватым светом стекло пластинки, от которой отрывается пленка. По мере того как идет отрыв, вспышки наблюдаются периодически. Это явление интересно сопоставить с тем, что в процессе отрыва наблюдаются колебания напряжения, как было показано в наших предыдущих работах (2).

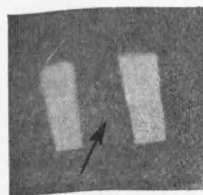
В дальнейшем мы постарались установить, действует ли наблюдаемое излучение на фотопластинку. Для этой цели в приборе вместо экрана помещалась диапозитивная, мало чувствительная к видимому свету фотопластинка. Манипуляция заправки пластинки, надевания колокола, откачки и измерения вакуума, а также приведения в действие пускового механизма при помощи электромагнита через стенку колокола проводилась при красном свете. Начальное расстояние пластинки от пленки — 3 см, $A = 1,4 \cdot 10^5$ эрг/см², $v = 0,2$ см/сек. При отрыве не обнаруживается никакого паразитического свечения, но наблюдается зеленая люминесценция стекла пластинки, от которой производится отрыв. После проявления фотопластинки она оказывается почерневшей (см. рис. 2). Черные участки на рисунке являются следствием экранирования лучей при помощи бумажного экрана. Можно также вырезать при помощи диафрагмы изображение щели и получить его на пластинке, что и было нами сделано.



Рис. 2. Снимок в электронных лучах



а



б

Рис. 3. а — поглощение электронов покровным стеклом, б — просвечивание электронными лучами пластинки слюды (стрелка)

К статье Н. А. Шмелевой, стр. 895



Рис. 1. Общий вид контактного слоя на границе шамота с многокальевым стеклом. $\times 80$



Рис. 2. Контактный слой на границе шамота со стеклом, докристаллизованный кристаллитом. $\times 200$

К статье Я. Я. Яржемского, стр. 913

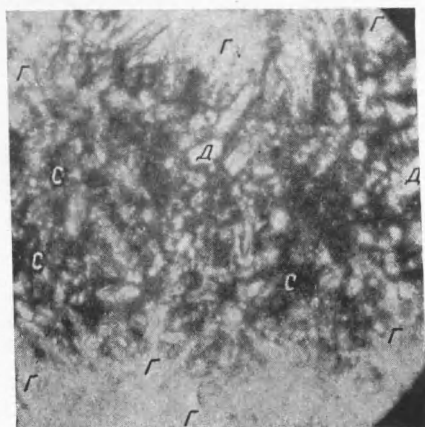


Рис. 1. Кристаллиты данбурита (Д) и сепиолитовое вещество (С) в части поры гидроборатной породы (Г). $\times 160$. Николи скрещены



Рис. 2. Кристаллы данбурита после двухсуточного пребывания в крепкой соляной кислоте. $\times 160$. Николи скрещены

Для того чтобы проверить, поглощается ли излучение стеклом, были проделаны следующие опыты. Часть фотопластинки закрывалась покровным стеклом толщиной 165 μ . При этом обнаружилось, что стекло совершенно не пропускает излучения (см. рис. 3 а). В то же время тонкая пластинка слюды (от 2 до 5 μ) частично пропускает излучение (рис. 3 б).

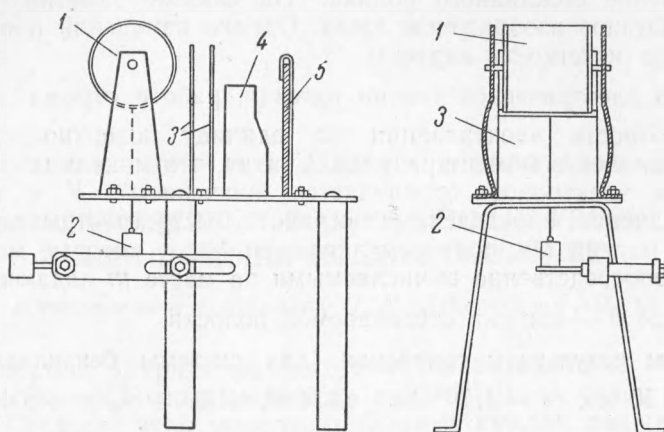


Рис. 4. Роликовый прибор для отрыва

Эти результаты заставляют предположить, что мы имеем дело с эмиссией электронов, вылетающих из пленки полимера при отрыве ее от стекла и бомбардирующих стекло, вызывая его флуоресценцию. Эти электроны, как показали наши измерения (при просвечивании алюминиевой фольги и слюды), обладают энергией порядка 10^3 — 10^4 эв.

Для того чтобы окончательно установить, имеется ли в нашем случае электронная эмиссия, мы попытались получить на фотопластинке изображение щели в виде узкой полоски и затем отклонить его при помощи постоянного магнита. Объектами исследования служили пленки бензилцеллюлозы, ацетилцеллюлозы и каучука, нанесенные на стекло № 23. Для этой цели был применен видоизмененный прибор для отрыва (см. рис. 4). Пленка полимера наносится на вращающийся стеклянный ролик 1. Пленка отрывается грузом 2, но так как ролик поворачивается, то граница отрыва не перемещается в пространстве (как это имело место в предыдущем случае). Перед границей отрыва помещается двойная щелевая диафрагма 3, а за нею — постоянный магнит 4, обладающий полем в 330 эрст., и фотопластинка 5. Зазор между отрываемой пленкой и подкладкой должен находиться точно против щели диафрагмы. Расстояние между фотопластинкой и образцом первоначально равнялось 15 см. В дальнейшем, однако, пришлось сократить это расстояние до 5 см, так как на больших расстояниях пленка не засвечивалась. На снимках, произведенных в отсутствие магнита, наблюдается хорошо заметная полоса, являющаяся изображением щели. Условия опыта: полимер — бензилцеллюлоза, $A = 1,9 \cdot 10^5$ эрг/см², $v = 0,1$ см/сек, $P = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. При отрыве наблюдается флуоресценция всего стеклянного ролика, что может служить указанием на то, что вызванное электронной бомбардировкой свечение стекла исчезает не сразу. В том случае, если между фотопластинкой и диафрагмой создается магнитное поле при помощи постоянного магнита (330 эрст.), изображение щели сильно размывается.

Этот опыт был многократно повторен с тем же результатом для различных полимеров. Для проверки вместо фотопластинки был помещен флуоресцирующий экран. Полимер — ацетилцеллюлоза, $A = 1,9 \cdot 10^5$ эрг/см², $v = 0,1$ см/сек, $P = 10^{-4}$ мм рт. ст. На экране отчетливо

видно изображение щели в том случае, если магнит отсутствует. В присутствии магнита свечение экрана не наблюдается.

В последующих опытах был взят магнит с напряжением поля 40 эрст. Опыты производились с ацетилцеллюлозой и каучуком. $A = 1,9 \cdot 10^5$ эрг/см², $v = 0,1$ см/сек, $P = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. При отрыве наблюдается свечение стеклянного ролика. На снимке заметно смещенное слабое диффузное изображение щели. Однако измерений произвести не удалось из-за нечеткости картины.

Согласно электрической теории адгезии, работа отрыва $A = \frac{\sigma V}{2}$, где σ — плотность электризации на единицу поверхности, V — разность потенциалов в момент разряда. Считая, что максимальная энергия вылетающих электронов определяется значением* V и подставляя вместо σ значения, определенные по работе быстрого отрыва на воздухе по закону Пашена⁽³⁾, получаем значения $A_{\text{теор}}$, которые можно сопоставить с непосредственно вычисляемыми по массе m падающего груза: $A = \frac{mg}{b}$, где b — ширина отслаиваемой полоски.

Приводим результаты сравнения (для системы бензилцеллюлоза — стекло): $V = 30$ кв, $\sigma = 1,10^4$ эл. ед./см², $A_{\text{теор}} = \frac{V\sigma}{2} = 5 \cdot 10^5$ эрг/см², $A_{\text{эксп}} = \frac{mg}{b} = 2 \cdot 10^5$ эрг/см².

Таким образом, мы видим, что порядок величин $A_{\text{теор}}$ и $A_{\text{эксп}}$ совпадает.

Поступило
3 XII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. В. Обреимов, Proc. Roy. Soc., 127, 290 (1930). ² Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия (исследования в области прилипания и склеивающего действия), М—Л., 1949, стр. 45. ³ Там же, стр. 64. ⁴ Там же, стр. 50.

* Среди электронов, попавших на фотопластинку, расположенную на расстоянии много большем протяженности двойного электрического слоя в месте разряда, наибольшую разность потенциалов $\frac{V}{2}$ пробегают электроны, вырвавшиеся с отрицательно заряженной поверхности, имеющей потенциал $-\frac{V}{2}$, в то время как по симметрии потенциал положительно заряженной поверхности равен $+\frac{V}{2}$.