

УДК 62.506.2

ОГОРОДНЕИЧУК И. Ф., д-р. техн. наук, *ЛЕОНОВ В. П.*,
БЫХ А. И., канд. техн. наук

**КРАТКОВРЕМЕННАЯ ПАМЯТЬ И ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО СУММАТОРА**

Явление электрохемилюминесценции (ЭХЛ), как отмечалось ранее [1, 2], может использоваться при моделировании нервных

слеток. При разработке технических моделей нейронов возникают определенные трудности. Они связаны с низкой яркостью свечения ЭХЛ многих люминесцирующих веществ и с тем, что яркость значительно зависит от режима возбуждения. При возбуждении ЭХЛ двухэлектродной ячейке импульсами с длительностями, близкими к длительности их в нервных клетках, яркость свечения находится на низком уровне и ее затруднительно регистрировать. Другие трудности обусловлены недостаточной изученностью данного явления и отсутствием в настоящее время единых представлений о механизме образования возбужденных молекул при ЭХЛ. Поэтому изучение процессов в ЭХЛ ячейке является актуальным.

Обычно переработку информации в нейроне условно делят на два процесса. Один из них связан с подготовкой процесса генерации, а другой — с генерацией импульсов [3]. Поэтому и структурную схему модели нейрона представляют состоящей из подготавливающего и генерирующего узлов. Как отмечалось в [2], модель нейрона с использованием ЭХЛ ячейки также состоит из двух узлов: ЭХЛ пространственно-временного сумматора и генерирующего узла.

В предлагаемой работе исследовались запоминающие свойства некоторых люминесцирующих веществ. Определяются наиболее благоприятные режимы возбуждения с точки зрения наибольшей яркости свечения и высокого быстродействия. Исследуется управляемость ЭХЛ ячейки внешним весовым сопротивлением.

Возбуждение ЭХЛ в большинстве случаев проводится чередующимися разнополярными импульсами. Вспышка ЭХЛ наблюдается во время катодной фазы на рабочем электроде, когда у его поверхности одновременно присутствуют катион и анион — радикалы активатора, способные аннигилировать между собой. Поскольку вспышка ЭХЛ происходит во время катодной фазы, то запоминающие свойства определяются временем жизни катион-радикалов активатора. Ион-радикалы различных люминесцирующих веществ имеют времена жизни от долей секунды до десятков и сотен секунд. Это позволяет регулировать длительность запоминания в широких пределах. Наличие времени жизни у ион-радикалов активатора позволяет воспроизвести временное суммирование в ЭХЛ ячейке.

Вымирание катион-радикалов активатора можно отождествить с уменьшением деполяризации мембраны тела клетки нейрона после поступления на него потенциала действия.

Кратковременная память некоторых люминесцирующих веществ исследовалась в композициях, содержащих растворенные в диметилформамиде активатор и хлористый литий 0,05 моль/л. В случае 1,5-дифенил-3-стирилпиразолина (ДФСП) концентрация электролита составляла 0,01 моль/л. Композиция заливалась в ячейку емкостью 0,8 мл с двумя платиновыми электродами. Рабочий электрод — штырь диаметром 1 мм — располагался коаксиально внутри дополнительного, выполненного в виде цилиндра с разрезом для выхода света. На электроды подавались разнополярные чередую-

щиеся импульсы, амплитуда и длительность которых подбирали экспериментально по максимальной интенсивности ЭХЛ отсюда для каждого люминесцирующего вещества.

Интенсивность вспышки ЭХЛ зависит от амплитуды и длительности положительного и отрицательного импульсов. Вспышка ЭХЛ наблюдается только во время отрицательного импульса. Будем считать положительный импульс с длительностью T_1 записывающим. В этот полупериод образуются катион-радикалы акти-

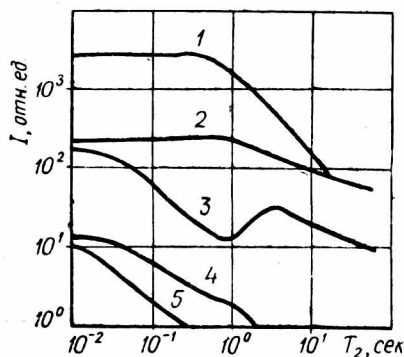


Рис. 1. Зависимость интенсивности ЭХЛ от интервала между записывающим и считывающим импульсами для дифенилстирилпиразолина (1), тетрафенилбутадиепа (2), антрацена (3), люмогена сине-фиолетового (4), люмогена желто-зеленого (5).

тора R^+ . Между подачей положительного и отрицательного импульсов всегда имеется интервал времени T_2 . Отрицательный импульс с длительностью T_3 считаем считывающим. В течение него образуется анион-радикал R^- и наблюдается вспышка ЭХЛ, которая пропорциональна концентрации R^+ , образованных положительным импульсом, т. е. происходит считывание записанной информации. Для исследуемого вещества записывающий импульс имел положительную полярность, а считывающий — отрицательную.

При увеличении интервала времени между записывающим и считывающим импульсами интенсивность ЭХЛ уменьшается, что обусловлено, по-видимому, вымиранием катион-радикалов активатора. Время памяти T_n определим, как период, в течение которого интенсивность ЭХЛ уменьшается в e раз. После такого уменьшения заметного суммирования последующих поступающих электрических импульсов с предыдущими не будет.

Экспериментальные зависимости интенсивности ЭХЛ от длительности интервала между записывающим и считывающим импульсами для ЭХЛ композиций нескольких люминесцирующих

Активатор	$U_1, в$	$U_2, в$	$T_1, сек$	$T_3, сек$	$T_n, сек$	A_{max} отн. ед.
1, 5-дифенил-3-стирилпиразолин	4	15	0,04	0,01	1,2	2800
Тетрафенилбутадиеп	5,5	15	0,25	0,02	12	250
Антрацен	8	15	0,25	0,02	0,1	180
Люмоген желто-зеленый	8	15	0,25	0,05	0,05	10
Люмоген сине-фиолетовый	4,2	15	0,25	0,05	0,16	14

ществ показаны на рис. 1. Параметры режима возбуждения, время памяти и максимальная интенсивность ЭХЛ для этих веществ приведены в таблице.

Как видно из таблицы, время запоминания для данных активаторов изменяется в интервале от 12 сек для тетрафенилбутадиена до 0,05 сек для люмогена желто-зеленого. Антрацен, в отличие от других активаторов, имеет второй максимум при $T_2=4$ сек. Наличие этого максимума может быть обусловлено диффузионным перераспределением ионов у поверхности рабочего электрода. Из данных активаторов наибольший технический интерес для моделирования нервных клеток представляет ДФСП. Он имеет наибольшую яркость свечения, что упрощает задачу согласования по чувствительности ЭХЛ элемента с фотоприемником. Однако его время памяти значительно больше, чем время запоминания подпороговых импульсов телом клетки реального нейрона. По времени запоминания для моделирования нейрона больше подходит люмоген желто-зеленый, но он имеет наименьшую яркость свечения.

Запоминающие свойства ЭХЛ композиции с активатором ДФСП исследовались при различных режимах возбуждения. Было найдено, что при длительностях $T_1=1$ сек, $T_3=0,1$ сек и $U_2=10$ в, интенсивность ЭХЛ достигает максимума при $U_1=2,1$ в. Зависимость интенсивности ЭХЛ от T_2 при указанных параметрах возбуждения приведена на рис. 2, а. Сокращение T_1 ведет к уменьшению интенсивности ЭХЛ. Для повышения интенсивности ЭХЛ при малых T_1 следует увеличить U_1 .

Повышение U_1 ведет к ускорению перезарядки двойного электрического слоя и возрастанию фарадеевского тока. О влиянии длительности записывающего импульса на запоминающие свойства ЭХЛ элемента можно судить по рис. 2, а. Ход этих зависимостей обусловлен вымиранием катион-радикалов ДФСП при увеличении T_2 . Выбор длительности записывающего импульса следует производить исходя из двух требований. С одной стороны, эта длительность должна быть по возможности меньшей для повышения быстрейшего действия модели нейрона. С другой стороны, ее следует

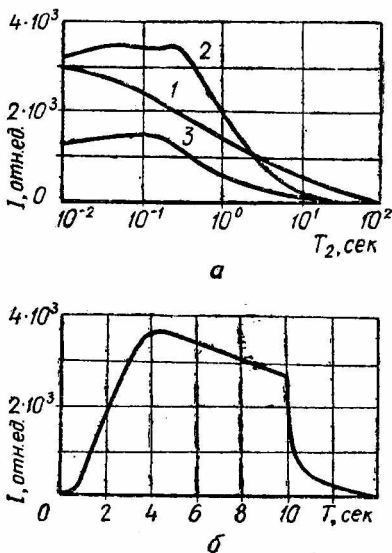


Рис. 2. Кратковременная память ЭХЛ композиции с активатором ДФСП.

а — зависимость интенсивности ЭХЛ от интервала между записывающим и считывающим импульсами при $T_1=1$ сек, $T_3=0,1$ сек (1), $T_1=0,04$ сек, $T_3=0,01$ сек, $V_1=4$ в (2), $T_1=0,2$ сек (3); б — форма светового импульса ЭХЛ.

выбирать с учетом получения определенного уровня свечения, поскольку при сокращении T_2 интенсивность ЭХЛ падает. Как видно из рис. 2, а, уменьшение T_1 от 0,04 до 0,02 сек ведет к уменьшению яркости ЭХЛ более чем в 2 раза.

Длительность считывающего импульса T_3 следует выбирать исходя из периода разгорания светового импульса. Его форма приведена на рис. 2, б, когда $U_1=4$ в, а $U_2=15$ в. Таким образом, световой импульс достигает максимума через 4 мсек, и длительность $T_3=0,01$ сек для считывания записанной информации вполне достаточна. Следовательно, в ЭХЛ ячейке с коаксиальным расположением электродов для получения максимального быстрого действия и наибольшей яркости свечения оптимальным будет режим: $U_1=4$ в, $T_1=0,04$ сек, $U_2=15$ в, $T_3=0,01$ сек. В данном режиме работы максимальная частота генерации импульсов составит 20 гц.

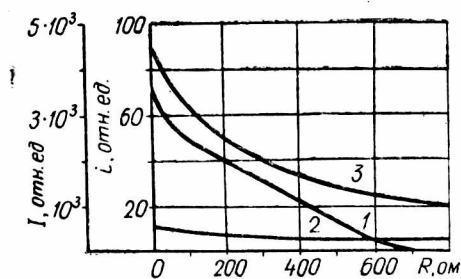


Рис. 3. Зависимость интенсивности ЭХЛ 1 (1), тока анодной фазы i (2), тока катодной фазы i (3) от величины весового сопротивления.

Наряду с кратковременной памятью, основанной на кабельных свойствах тела клетки, в нейронах имеется долговременная память. Она сосредоточена в синаптических окончаниях межнейронных соединений.

Воспроизвести синаптическую память в ЭХЛ ячейке можно широко используемым способом — путем введения внешних весовых сопротивлений. Для выяснения управляемости ЭХЛ ячейки была снята зависимость интенсивности ЭХЛ и токов через ячейку в различные полупериоды возбуждающего напряжения от величины весового сопротивления. Включалось оно последовательно с рабочим электродом ячейки. Указанные зависимости приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, интенсивность ЭХЛ, представленная кривой 1, уменьшается линейно до 0 с увеличением весового сопротивления от 0 до 700 ом. Это показывает хорошую управляемость ЭХЛ элемента при сравнительно малом изменении весового сопротивления.

Уменьшение яркости свечения при увеличении весового сопротивления ведет к тому, что часть напряжения падает на нем, общее сопротивление возрастает и через ячейку протекает меньший ток. При этом уменьшается количество катион- и анион-радикалов активатора, образующихся соответственно в положительный и отрицательный полупериоды возбуждающего напряжения. Следует отметить, что при $R=700$ ом яркость свечения почти равна нулю а через ячейку еще протекает определенный ток в катодную и анодную фазы. Это обусловлено, по-видимому, тем, что практически вся энергия расходуется на перезарядные процессы, а количество образующихся нон-радикалов активатора ничтожно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бых А. И., Восвода Л. В., Худенский Ю. К. Об одной возможности создания быстродействующей электрохимической модели нейрона. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 5, Харьков, 1971, с. 50—53.
- Городнейчук И. Ф., Леонов В. П., Бых А. И. К построению электролюминоесцентной модели нейрона. — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 3. Харьков, 1974, с. 43—49.
- Гозин Н. В. Моделирование нейронных структур. М., «Наука», 1970. 260 с.