

05.2; 12

© 1991

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В СИСТЕМЕ
МИКРОКРИСТАЛЛОВ $AgHal$

В.А. Резников, А.Л. Картужанский

Фигуры Лихтенберга (изображение электрического разряда в системе эмульсионных микрокристаллов – МК) рассматриваются как один из примеров линейной фрактальной агрегации. В этом случае агрегирующими частицами будут носители заряда, адсорбированные на МК $AgBr$. Следуя тому, что ветвление стримера происходит с острия канала в область с большей величиной потенциала [1, 2], наведенного зарядом в канале или исходно существующего, необходимо допустить существование подвижных носителей заряда в МК, либо неоднородное распределение потенциала на их поверхности. Если МК $AgBr$ рассматривать как поглощающие электроды, то распространение носителей заряда по относительно большой площади несущего слоя с МК означает, что величина накопленного заряда в количественном отношении существенно превышает поглощающую способность суммы МК в объеме слоя, непосредственно контактирующего с местом зарождения разряда. На это же указывает и возможность визуализации фигур Лихтенберга только после проявления МК, т.е. зарядопоглощающей областью является незначительная часть объема МК. Именно проявляемость МК $AgBr$ позволяет связывать его зарядопоглощающую область с центрами чувствительности (ЦЧ), преобразуемыми при поглощении заряда в серебряные центры скрытого изображения (ЦСИ) и тогда адсорбированные заряды по своему действию равноценны фотоэлектронам. Плотность почернения в стволе стримера равноценна плотностям почернения при обычных для практики дозах фотооблучения [3], т.е. носители заряда поглощаются небольшой частью МК. Это предположение подтверждается электронной микроскопией частично проявленного и неотфиксированного участка слоя с изображением фигуры Лихтенберга, что также подтверждает адсорбцию носителей заряда ЦЧ и снимает вопрос об электроиндуцированном смещении подвижных носителей заряда в МК, вполне возможном, например, как проявление эффекта Ротштейна.

В работах [4, 5] показано, что ЦЧ на поверхности МК $AgBr$ представляют собой твердый раствор сверхстехиометрического серебра в стабилизированной им ОЦК-решетке соли серебра, например, Ag_3SBr , что определяет положительный потенциал ЦЧ по отношению к остальной части $AgBr$. В контексте сказанного можно допустить, что агрегирующим носителем заряда является поток электронов. Подтверждением этому можно считать формиро-

вание симметричной фигуры Лихтенберга при точечном электронном облучении слоя с МК $AgBr$. В данном случае эффект носит выраженный пороговый характер, сопровождается прямым проявлением засвечиваемой области слоя с МК, меньшими размерами фигуры Лихтенберга и плотностью почернения, отвечающей восстановлению основной части МК. Эти отличия вполне объясняются большей энергией электронов и меньшей плотностью тока в сравнении с характеристиками разряда стримера [1, 2] и указывают на инерционность начальной стадии проявления МК, хорошо известной как индукционный период проявления.

Возможное восстановление серебра в ЦЧ электростимулированным излучением здесь не учитывается, т.к. этот процесс вторичен, что подтверждается как наличием ствола стримера, так и резко-изображаемой картиной на границе изображения, где в случае фотозасветки должно быть плавное (в частности, квадратичное) уменьшение плотности почернения. Кроме того, на практике эквивалентные дозы засветки способны вызвать лишь слабое вуалирование высокочувствительных слоев.

В капиллярно-пористой структуре желатиновой матрицы [6] распространение электрического разряда происходит в результате пробоя водного раствора желатинового геля или слоя связанной воды, т.к. диэлектрические свойства желатина существенно выше [3]. Каналами токопрохождения будет система пор между соседними МК $AgBr$ с ЦЧ. Среднее расстояние между МК в желатиновой матрице около 10 мкм [3], и тогда условия процесса находятся в рамках, описанных в [7]. В рамках такой модели в качестве катода можно рассматривать сумму МК с восстановленными серебряными ЦСИ, а анодом будет сумма близлежащих МК $AgBr$ с наибольшей концентрацией ЦЧ. На начальной стадии пробоя, когда велика величина стекающего заряда, неоднородность плотности распределения МК с ЦЧ (и связанное с этим ветвление канала) не играет существенного значения, что и проявляется в виде широкого ствола стримера. Ветвление начнется при уменьшении величины заряда и, соответственно, уменьшении потенциала на конце ствола стримера. В рамках фрактальной агрегации само ветвление и его плотность на конце ствола означают, что лишь часть МК $AgBr$ обладает существенными по величине положительного заряда ЦЧ, при этом статистическое распределение таких МК в матрице задает функцию антиагрегации заряда.

Если асимметрия картины разряда (фигуры Лихтенберга) связана с причиной, его вызывающей (неоднородное по площади трение слоев подложки и желатина), то в том случае, когда большинство МК будет обладать равноценными по величине положительного потенциала ЦЧ, картина разряда должна быть в виде однородных по плотности линий (стволов), эллиптических фигур и т.п. с фрактальной размерностью около 2.0. Действительно, такая картина наблюдается в системе композиционных МК $AgBr / AgJ$ и AgJ / Ag_2HgJ_4 , изготовленных конвертированием исходных МК $AgBr$ [4, 8], т.е. расположенных в аналогичной матрице на аналогичной

подложке и имеющей равноценное статистическое распределение МК в несущем слое. В этих и других работах было показано, что эпитаксиальные МК AgJ или Ag_2HgJ_4 обладают свойствами суперионных соединений, в частности концентрируют подвижные катионы из субстрата и, значит, несут положительный потенциал по отношению к остальному объему МК.

Во многих случаях электростатического восстановления системы композиционных МК AgJ / Ag_2HgJ_4 наблюдается прозрачная окантовка областей почернения, которая также может быть объяснена с позиции уменьшения величины заряда по мере его поглощения МК. Разложение всего эпитаксиального МК происходит за время развития стримера (10^{-6} – 10^{-9} с). В этом случае кластеры амальгамы серебра или серебра диспергированы и имеют отрицательный заряд вследствие поглощения носителей заряда. На момент образования кластеров металла диффузией из объема МК субстрата можно пренебречь, тогда прозрачная окантовка означает отделение этих кластеров от МК субстрата в условиях, когда дальнейшего притока заряда извне нет. Сублимация продуктов разложения с поверхности МК субстрата, равно как и инертность основной части МК $AgBr$ в потоке отрицательно заряженных частиц может быть объяснена кулоновским взаимодействием, т.е. в МК субстрата на границе с МК эпитакса (а значит, и на границе МК $AgBr$ и ЦЧ) существует отрицательно заряженный слой, компенсирующий положительный заряд эпитакса. Почернение в центральной части канала в рамках той же модели объясняется относительно длительным стеканием заряда, когда диффузия подвижного серебра в МК субстрата (AgJ) к его поверхности и образование ЦСИ возможны [9], причем плотность почернения и размеры области почернения отвечают времени стекания заряда, а значит, и его величине. Подтверждением такой модели является формирование только пятен прозрачности в случае использования только МК Ag_2HgJ_4 , находящихся в суперионном состоянии, при этом для наблюдения изображения нет необходимости в проявлении МК.

В сравнении с системой МК $AgBr$ в случае композиционных МК эффекты электростатического восстановления наблюдаются значительно чаще при тех же условиях эксплуатации, что можно отнести за счет как большей концентрации областей положительного потенциала, так и их большего размера в сравнении с ЦЧ, что может быть использовано для прямой регистрации заряженных частиц [10].

Плотность почернения в стволе стримера в случае МК $AgBr$ и в канале изображения канала разряда в случае МК AgJ / Ag_2HgJ_4 равноценна, в то время как средний линейный размер проявляемых МК субстрата (AgJ) по данным электронной микроскопии и отнесенной плотности спектрального поглощения [4, 8] не превосходит 50 нм, что в 7–10 раз меньше средних линейных размеров МК $AgBr$ [3]. Этот результат указывает (так же, как и плотность ветвления на конце ствола стримера), что из всей системы МК $AgBr$ в фотопроцессе участвует не более соевой части МК и, по существу, является хорошо известным фактом.

Именно высокая чувствительность композиционных МК позволила подтвердить электростатическую природу образования фигур Лихтенберга, когда при трении желатинового слоя с МК о различные диэлектрики последующее почернение или (и) просветление отвечало конфигурации грушащихся поверхностей, при этом электроиндуцированное свечение не фиксировалось.

Тем самым, сравнительный анализ фигур Лихтенберга в системах диспергированных МК $AgNa^2$ разного состава позволяет уточнить природу этого явления и указывает на возможность существования двойного электрического слоя на границе между субстратом и эпитаксом, что может быть причиной разделения пары фотогенерированных носителей заряда, локализованных на границе раздела фаз как на макроструктурном дефекте кристалла.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Григорьев А.И., Ширяева С.О. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 5. С. 6.
- [2] Дьяконов М.И., Качаровский В.Ю. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 1. С. 73.
- [3] Иванов А.П., Лойко В.А. Оптика фотографического слоя. Минск: Наука и техника. 1983. 304 с.
- [4] Картужанский А.Л. и др. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 66. В. 2. С. 332.
- [5] Картужанский А.Л. и др. // ЖНиПФик. 1989. Т. 34. № 1. С. 60.
- [6] Соболев Г.А. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 15. С. 1387;
- [7] Сребров Б.А., Дишкова Л.П., Кузманова Ф.И. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 66.
- [8] Картужанский А.Л. и др. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 63. В. 6. С. 1196.
- [9] Картужанский А.Л. и др. // Оптика и спектроскопия. 1990. Т. 69. В. 6. С. 1323.
- [10] Резников В.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 1. С. 44.

Поступило в Редакцию
9 июня 1991 г.