

11

Полевой электронный эмиттер на основе пленки химического соединения цезия с золотом

© Д.П. Бернацкий, В.Г. Павлов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
E-mail: bernatskii@ms.ioffe.rssi.ru, vpavlov@ms.ioffe.rssi.ru

Поступило в Редакцию 9 февраля 2006 г.

Обнаружены и исследованы процессы образования и трансформации локальных эмиссионных центров при полевой электронной эмиссии пленки соединения золота с цезием на вольфрамовом острие. Стабильная электронная эмиссия с одного центра достигает плотности тока 10^8 А/см². Свойства центра изменялись при отборе больших эмиссионных токов и при нагревании. Полученные данные интерпретируются на основе рассмотрения разрушения диэлектрического соединения CsAu проходящим через пленку узким пучком тока с образованием столбика золота диаметром несколько нанометров и обратного процесса восстановления соединения на границах столбика за счет диффузионного притока цезия.

PACS: 85.45.Db

В последнее время большое внимание уделяется исследованию полевых электронных эмиттеров, содержащих диэлектрические и проводящие участки. Проводящие включения нанометрового размера в диэлектрической матрице вызывают значительное усиление локального электрического поля и позволяют получать полевую электронную эмиссию при сравнительно невысоких напряжениях. Наличие таких проводящих включений является возможным объяснением „низкополевой“ эмиссии из аморфного или алмазоподобного углерода [1,2]. Образование подобной структуры возможно и в пленках соединений золота со щелочными металлами, так как эти соединения являются полупроводниками с шириной запрещенной зоны 2.6–2.8 eV (т.е. практически диэлектриками). В данной работе предпринята попытка получения таких включений в пленке соединения AuCs на вольфрамовом острие и исследования их эмиссионных свойств.

Опыты проводились в полевом эмиссионном микроскопе с детектором из двух микроканальных пластин и люминесцентного экрана. Использовались методики полевой электронной микроскопии, полевой ионной микроскопии с аргоном в качестве изображающего газа, полевой десорбционной микроскопии непрерывного режима с цезием в качестве изображающего адсорбата и измерения вольт-амперных характеристик полевой электронной эмиссии. Для отбора больших эмиссионных токов и получения вольт-амперных характеристик острие отворачивалось от микроканальных пластин.

Пленка соединения CsAu создавалась на вольфрамовом острие напылением золота и цезия и последующим нагревом. После бомбардировки острия ионами аргона, которые получались в газовом разряде при давлении аргона 10^{-3} mmHg, на полевом электронном изображении появлялись одно (рис. 1, *a*) или несколько (рис. 1, *b*) ярких пятен (точечных эмиссионных центров). Поперечный размер эмиссионных центров на поверхности пленки составлял несколько нанометров. Свойства центра изменялись при отборе больших эмиссионных токов, при нагревании острия и других воздействиях.

Отбор эмиссионного тока более $10\ \mu\text{A}$ с одного центра приводил сначала к увеличению эмиссии при данном приложенном напряжении, затем ток стабилизировался. В этом состоянии центр давал стабильную эмиссию до $20\ \mu\text{A}$, что соответствовало плотности эмиссионного тока $\sim 10^8$ A/cm², вольт-амперные характеристики были прямыми линиями в координатах Фаулера–Нордгейма.

Нагревание острия с эмиссионным центром в отсутствие избытка цезия на поверхности пленки приводило первоначально к понижению напряжения, необходимого для получения эмиссионного тока, уменьшению размеров эмиссионного центра и увеличению наклона характеристики Фаулера–Нордгейма. При более интенсивном нагреве эмиссионный центр исчезал, однако его можно было восстановить приложением к острию, находящемуся при комнатной температуре, потенциала, приводящего к отбору тока полевой электронной эмиссии $10\text{--}20\ \mu\text{A}$.

Нагревание острия при наличии адсорбированного цезия на поверхности пленки вызывало уменьшение эмиссии и появление колебаний эмиссионного тока. Эмиссионное изображение центра то практически пропадало (рис. 1, *c*), то постепенно усиливалось и вспыхивало на некоторое время, возвращаясь примерно к состоянию до прогрева (рис. 1, *d*). Длительный прогрев при наличии адсорбированного цезия

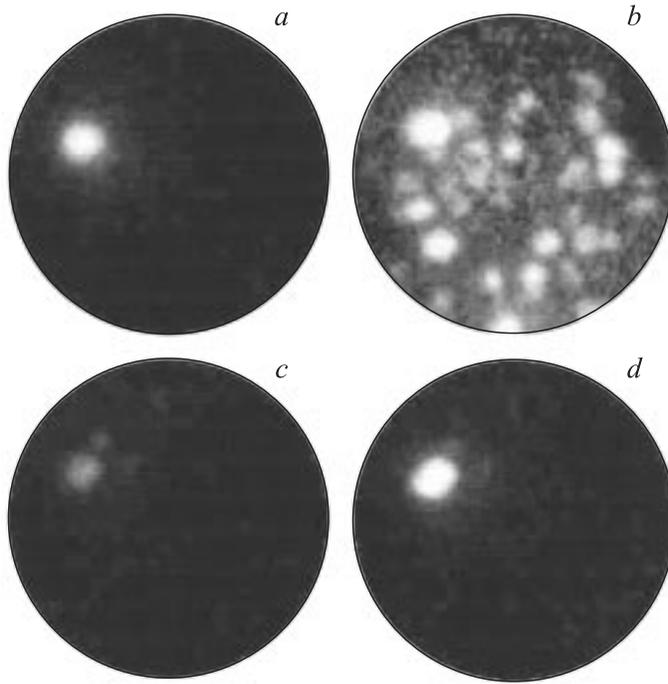


Рис. 1. Полевые электронные изображения вольфрамового острья с нанесенной пленкой соединения цезия с золотом: *a* — единственный центр после отбора тока $20\ \mu\text{A}$, *b* — множество центров после газового разряда в аргоне, *c* и *d* — колебания тока после прогрева с адсорбированным на пленке цезием.

также приводил к исчезновению эмиссии, а отбор большого эмиссионного тока восстанавливал эмиссию.

В случае многих центров (рис. 1, *b*) стабильная эмиссия наблюдалась вплоть до полного тока с острья $100\text{--}150\ \mu\text{A}$. При этом часть центров эмитировали стабильно, на других происходили колебания эмиссии, подобные наблюдавшимся на единичном центре после прогрева при наличии адсорбированного цезия. После длительного (десять минут) отбора тока $\sim 100\ \mu\text{A}$ эмиссия всех центров стабилизировалась, и при дальнейшем отборе тока число, положение и свойства центров не изменялись. Попытка получения тока больше $150\ \mu\text{A}$ привела к разрушению острья.

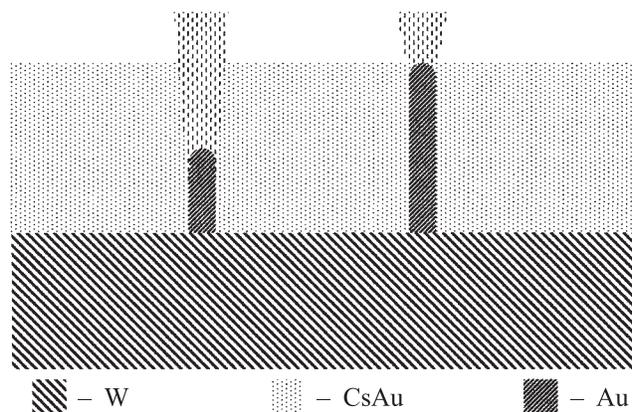


Рис. 2. Схема, поясняющая структуру эмиссионного центра, рост и изменения столбика золота при полевой электронной эмиссии.

Нагревание острия со многими эмиссионными центрами без отбора эмиссии приводило к постепенному пропаданию центров вплоть до их полного исчезновения. Приложение напряжения, вызывающего эмиссию в десятки μA , восстанавливало эмиссионные центры. При длительном отборе эмиссии возобновлялись все прежние центры на том же месте, что и были до прогрева.

Полевые ионные и десорбционные изображения не выявили особенностей в области эмиссионного центра. Это говорит о том, что факторами, вызывающими эмиссию, не являются локальные выступы на поверхности или локальное понижение работы выхода.

Наблюдаемые изменения свойств эмиссионных центров можно объяснить в предположении, что центрами эмиссии являются нанометровые включения золота в диэлектрической пленке соединения CsAu, трансформация которых происходит в процессе разрушения и восстановления соединения [3] под воздействием проходящего через пленку электрического тока и повышенной температуры. Проходящий через пленку эмиссионный ток вызывает локальный разогрев и разрушение соединения CsAu с высвобождением золота, которое присоединяется к первоначальному включению. Таким образом, образуется проводящий металлический канал, растущий вдоль потока электронов через пленку (рис. 2).

Нагревание пленки (в отсутствие эмиссии) до температур, не приводящих к разрушению соединения, стимулирует диффузию цезия и восстановление соединения по границам столбика. Если на поверхности пленки присутствует адсорбированный цезий, то приток цезия к столбику происходит преимущественно к его верхнему концу. Столбик укорачивается, а его ширина изменяется мало. Это приводит к наблюдаемому в эксперименте уменьшению эмиссии и к появлению колебаний эмиссионного тока, связанных с периодическими накоплениями заряда над столбиком, пробоями диэлектрика и восстановлениями его диэлектрических свойств. В отсутствие адсорбированного цезия приток цезия к столбику идет однородно со всех сторон. Происходит более быстрое уменьшение ширины столбика по отношению к высоте. Усиление поля у верхнего края столбика растет, что приводит к увеличению эмиссии и угла наклона характеристики Фаулера–Нордгейма. В обоих случаях нагревание пленки приводит к исчезновению столбика и соответственно эмиссионного центра. Последующее приложение высокого отрицательного потенциала вызывает эмиссию и восстановление столбика по описанному выше механизму.

Подобные процессы возникновения и изменения эмиссионных центров, связанных с проводящими включениями, возможны и в других диэлектрических пленках.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 05-08-18047-а).

Список литературы

- [1] *Forbes R.G.* // *Solid-States Electronics*. 2001. V. 45. P. 779–808.
- [2] *Bernatskii D.P., Chernyshev A.V., Ivanov-Omskii V.I.* // *Appl. Surf. Sci.* 2003. V. 215. P. 222–227.
- [3] *Бернацкий Д.П., Павлов В.Г.* // *ФТТ*. 2004. Т. 46. В. 8. С. 1494–1497.