

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Труды XXIV Международного
симпозиума**

10–13 марта 2020 г., Нижний Новгород

Том 1

Секции 1, 2, 4

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского
2020

Анализ эмиссии электронов с одиночного кремниевого катода в квазивакуумную (воздушную) среду на различном наномасштабе методом атомно-силовой микроскопии

И.Д. Евсиков^{1,*}, С.В. Митько¹, Г.Д. Демин^{1,§}

¹ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», пл. Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498.

*evsikov.ilija@yandex.ru, §gddemin@gmail.com

В данной работе обсуждается методика анализа эмиссии электронов с одиночного катода в воздушную среду методами атомно-силовой микроскопии. Получены вольт-амперные характеристики одиночного нанокатода, снятые при расстоянии 10 нм между вершиной нанокатода и вершиной измерительного зонда. Полученные результаты указывают на необходимость учета квантово-механических эффектов вблизи поверхности эмиттера, в частности искажения потенциального барьера из-за проникновения электрического поля в поверхностную область эмиттера при расчете тока эмиссии.

Введение

В настоящее время более широкое развитие в мире приобретает разработка устройств вакуумной нанопэлектроники, что связано с их хорошей радиационной стойкостью, возможностью работы при высокой температуре, а также высоким быстродействием (в ТГц диапазоне) вследствие практически полного отсутствия столкновений электронов при их баллистическом транспорте через вакуумный канал проводимости. В свою очередь, рассеяние носителей заряда на кристаллической решетке полупроводников при протекании по ним тока приводит к нежелательному разогреву структуры и возникновению дополнительных дефектов в канале проводимости. Эти паразитные эффекты становятся особенно критичными при переходе к нормам проектирования за пределы 10 нм, а их существование препятствует дальнейшему масштабированию полупроводниковой электроники и требует поиска принципиально новых подходов [1].

Одним из возможных решений обозначенной проблемы является интеграция устройств, принцип работы которых основан на эффекте полевой (автоэлектронной) эмиссии в наноразмерном вакуумном канале с устройствами, созданными с применением кремниевой КМОП технологии. Возможность такой интеграции была продемонстрирована на примере создания прототипов нового класса наноразмерных вакуумных транзисторов с длиной канала 50-100 нм и рабочим напряжением ниже 20 В [2, 3].

Однако, несмотря на все достигнутые успехи, физика полевой эмиссии на наноразмерном масштабе при длине канала от 10 нм и ниже все еще остается слабо изученной, что создает определенные проблемы для точного проектирования устройств вакуумной нанопэлектроники.

Методика и результаты проведения эксперимента

Методами атомно-силовой микроскопии нами было проведено исследование полевой эмиссии с одиночного кремниевого нанокатода (рисунок 1).

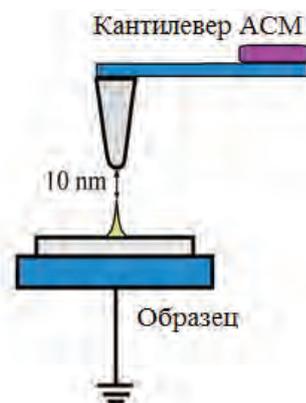


Рис. 1. Схема проведения эксперимента для анализа эмиссии электронов с одиночного нанокатода методом атомно-силовой микроскопии

В качестве образца была взята кремниевая пластина с имеющимся на ней массивом полевых нанокато-

дов острийного типа размером 300x300 эмиттеров. Методика создания массива острийных нанокатодов описана в [2]. Измерения проводились с помощью атомно-силового микроскопа SmartSPM (AIST-NT). При измерениях применялся кантилевер К-ТЕК Nano DCP20 с алмазным покрытием. Расстояние между вершиной катода и вершиной измерительного зонда при проведении эксперимента составляло менее 20 нм.

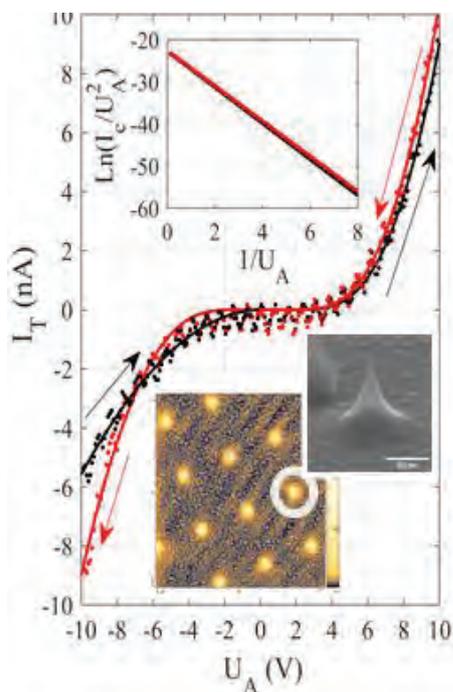


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики одиночного кремниевго нанокатода

На рисунке 2 приведены вольт-амперные характеристики одиночного катода, полученные в результате пятиразовой вариации напряжения подаваемого на кантилевер атомно-силового микроскопа в диапазоне от -10 до 10 В (черные и красные точки). Приборный столик с образцом при проведении эксперимента заземлялся. Расстояние между нанокатодом и вершиной измерительного зонда фиксировалось на величине 10 нм. Черная и красная кривые являются аппроксимациями вольт-амперных характеристик при увеличении и уменьшении напряжения на кантилевере. На вставке в верхней части рисунка приведены аппроксимации вольт-амперных характеристик нанокатода, построенные в координатах Фаулера-Нордгейма, для проведения анализа процесса протекания полевой эмиссии и расчёта фактора усиления поля. На вставке в нижней части рисунка приведено изображение рельефа

фрагмента поверхности исследуемой пластины (также на рисунке 3), полученное при помощи атомно-силового микроскопа, и изображение одиночного нанокатода, полученное с использованием растрового электронного микроскопа.

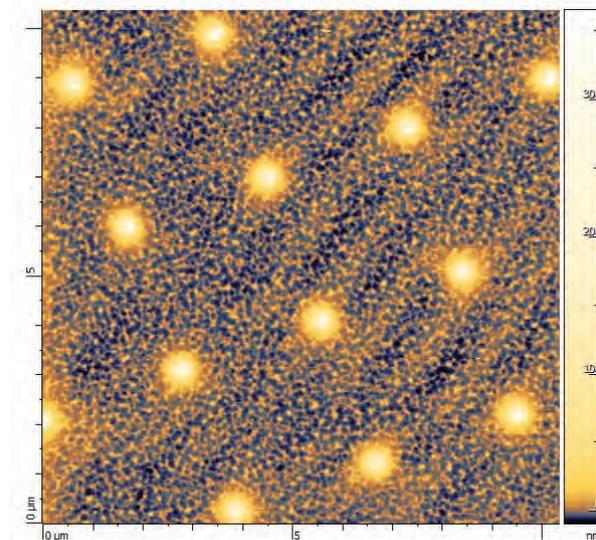


Рис. 3. Карта высот фрагмента поверхности образца

В результате проведения эксперимента было получено, что при достижении максимального напряжения на кантилевере, эмиссионный ток с одиночного кремниевго нанокатода достиг величины 10 нА. Рассчитанное из наклона вольт-амперной характеристики в координатах Фаулера-Нордгейма значение фактора усиления поля составило 13.27 , что вполне достаточно для возникновения процесса полевой эмиссии с острия катода.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 14.578.21.0250, RFMEFI57817X0250) с использованием оборудования ЦКП "Микросистемная техника и электронная компонентная база", поддержанного Минобрнауки России.

Литература

1. J.-W. Han, *et al.* // Nano Lett. Vol. 17. P. 2146-2151 (2017).
2. G. D. Demin, *et al.* // JVST B. Vol. 37. P. 022903 (2019).
3. B. Lepetit // J. Appl. Phys. Vol. 122. P. 215105 (2017).