

Рисунок 3 – Электростатическое изображение распределения РВЭ оксидированной поверхности сплава АМГ-2, предварительно обработанной по технологии алмазного наноточения

Таким образом, при наноразмерной обработке металлической поверхности РВЭ и изменение ее распределения по поверхности, характеризуют физико-химическое состояние и геометрические характеристики, прежде всего шероховатость, и позволяет в полной мере контролировать дости-

жение заданных эксплуатационных параметров обрабатываемых изделий и, тем самым, задавать и оптимизировать технологические режимы процесса обработки.

1. Zharin A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – М.14. – Р. 687-720
2. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследовании свойств перспективных материалов // Перспективные материалы и технологии: монография. В 2 т. / А.Л. Жарин [и др.]; Витебск: УО «ВГТУ». – Т. 1. – 2015.– 398 с.
3. Шаронов Г.В., Гусев В.С. Наноразмерная обработка поверхности из цветных металлов и сплавов для изделий оптоэлектронной техники // Сборн. докл. 5-ой междунар. научн.-техн. конфер. «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2012»; г. Минск. – 2012. – С. 394-395.

УДК 51-73

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОЛЕВЫХ КАТОДОВ НА ИХ АВТОЭЛЕКТРОННУЮ ЭМИССИЮ

Шелухин К.А.¹, Козлова Т.А.¹, Горох Г.Г.², Хатько В.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет радиоэлектроники и информатики

Минск, Республика Беларусь

Автоэмиссионные свойства катода из графита определяются в основном параметрами микровыступов на его эмитирующей поверхности. Поэтому при изучении эмиссионных свойств автокатодов различных типов сопоставляются автоэмиссионные свойства и структура поверхности. Под шероховатостью понимается величина, обратная среднему радиусу закругления микровыступа, формирующего поверхность авто-катада. Кроме этого, эффективным методом улучшения эмиссионных свойств является тренировка (формовка) автокатада. Отмечено, что после формовки микроструктура рабочей поверхности, а следовательно, и стабильность эмиссионного тока релаксирует к некоторому оптимальному значению, которое определяется микроструктурой исходного материала, рабочей площадью, требуемым токоотбором и расстоянием анод-катод.

Дальнейшее развитие тонкопленочных катодов связано прежде всего с уменьшением их геометрических размеров и увеличением плотности упаковки, что позволяет достигнуть сразу нескольких целей. Уменьшение расстояния

острие – управляющий электрод и радиуса острия понижает рабочее напряжение. Одновременно снижаются требования к вакууму, поскольку уменьшается вероятность ионизации и энергия ионов, бомбардирующих катод. Увеличение плотности упаковки эмиттеров увеличивает среднюю плотность тока, которую способен обеспечить автоэмиссионный катод. Увеличивается также предельная рабочая частота приборов, созданных на основе технологии тонкопленочных катодов.

Эмиттером в случае исследования и применений ПЭЭ обычно является острие и эмиссия идет с близкой по форме к полусфере вершины острия. Поэтому кажутся логически оправданным применение модели сферического диода и использование сферической симметрии при решении задач о ПЭЭ.

Процесс полевой электронной эмиссии электронов из металла в вакуум достаточно хорошо описывается уравнением Фаулера-Нордгейма

$$j(E) = \frac{AE^2}{\Phi t^2(y)} \exp\left(-B \frac{\Phi^{3/2}}{E} v(y)\right)$$

где j – плотность тока эмиссии, A и B – постоянные, связанные с фундаментальными физическими величинами согласно соотношениям $A=e^3/(8\pi h)$, $B=8\pi\sqrt{2m}/(3eh)$, h – постоянная Планка, e – заряд электрона, m – масса покоя свободного электрона, $t(y)$, $v(y)$ – эллиптические функции Нордгейма аргумента $y = \sqrt{e^3 E / (4\pi\epsilon_0 \Phi^2)}$ для которых используются аппроксимации $t^2(y) \approx 1,11619$, $v(y) \approx 0,95 - y^2$, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная, E – величина напряженности внешнего электрического поля, Φ – работа выхода материала, являющаяся мерой энергии связи электронов с твердым телом.

Важнейшими параметрами автоэмиссионных катодов являются коэффициент усиления поля на поверхности острия и эффективная площадь эмиссии. Коэффициент усиления поля β связывает напряженность электростатического поля на поверхности острия с приложенным напряжением:

$$E = \beta V.$$

Если пренебречь влиянием пространственного заряда эмитированных электронов, то такая связь должна быть линейной, поэтому коэффициент β зависит от геометрии системы и от положения точки наблюдения на поверхности острия. Для расчета β можно использовать приближенные аналитические формулы или численные методы.

Знание точной формы эмитирующей части острия является необходимым для правильного определения величины поля у поверхности эмиттера и величины эмитирующей площади, без чего невозможно сравнение эксперимента с теорией.

Определение поля в реальных условиях, является нелёгкой задачей. Обычно пользуются аппроксимациями, заменяющими истинную форму острия какой-либо правильной формой, позволяющей найти распределение поля из теории потенциала.

В настоящее время наиболее распространёнными являются следующие виды аппроксимаций:

1. Гиперболическая аппроксимация, где острие представляется в виде гиперboloида вращения, а анод — в виде плоского диска.

2. Параболическая аппроксимация, в этой аппроксимации острие и анод представлены в виде двух конфокальных парабол до вращения.

3. Эквипотенциальная аппроксимация, где форма эмиттера близка к форме одной из эквипотенциальных поверхностей электрического поля, которое создано заряженным ортогональным конусом со сферой на вершине.

4. Цилиндрическая аппроксимация, где форма сетри и анода представлена в виде системы коаксиальных цилиндров.

Также существуют различные аппроксимации для эмиттеров в виде лезвия или плёнки.

В настоящей работе было промоделировано распределение напряженности электрического поля при различных формах острия катода: плоская, закругленная, конусная. Радиус кривизны и высота конуса не превышали 10% от высоты столбика (катода).

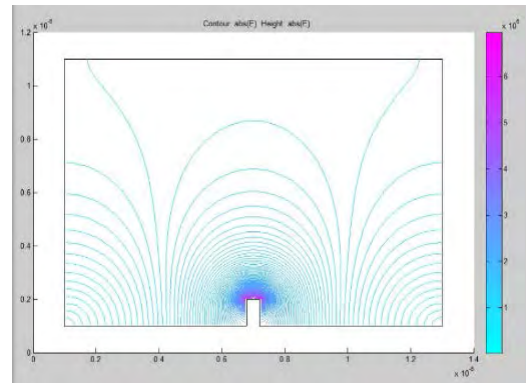


Рисунок 1 – Модель с высотой столбика 100 нм при $V=1В$.

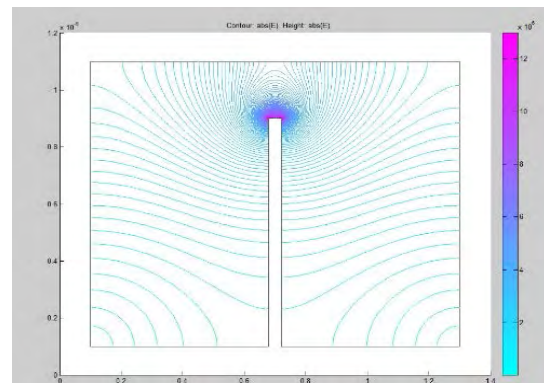


Рисунок 2 – Модель с высотой столбика 800 нм при $V=1В$.

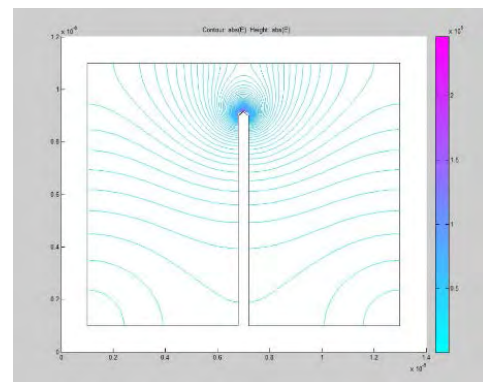


Рисунок 3 – Модель с заостренным(в виде конуса) острием высотой 15 нм

Если рассматривать модель с плоским острием, то наблюдается скин-эффект; при этом при изменении высоты столбика изменяется и максимальная напряженность на острие при одинаковом подаче потенциала на анод (рисунки

1, 2).

При этом можно заметить, что распределения силовых линий электрического поля между катодом и анодом плотнее при высоте столбика в 800 нм.

Если сравнивать по виду острия, то заостренное острие на своем кончике концентрирует наибольшую напряженность, тем самым является участком, где происходит интенсивная эмиссия электронов. На рисунке 3 представлена модель при высоте столбика в 800 нм с заостренным (в виде конуса), при подаче 10 В.

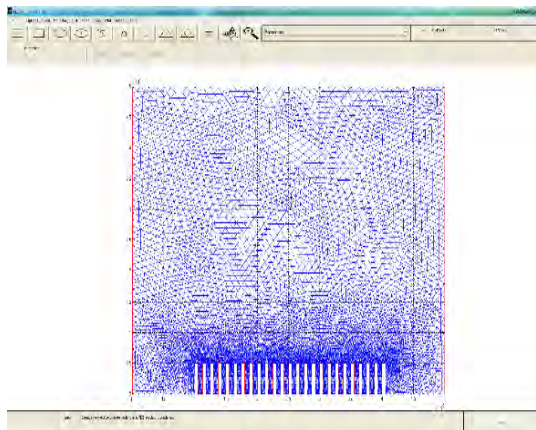


Рисунок 4 – Модель ячейки с массивом катодов

На рисунке 4 изображена модель ячейки с массивом катодов и сгенерированной сеткой. Размеры ячейки составляли 5×3 мкм. Размеры катода ($d \times h$) – 50×500 нм. Размер массива катодов в ширину составлял 3 мкм, тем самым в ширину размещались 25 катодов. На рисунок 5 и 6 представлены распределения напряженности электрического поля при подаче на такой массив

напряжения в 10 и 125 В.

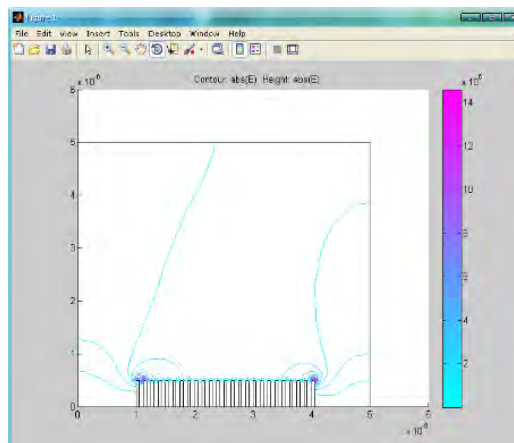


Рисунок 5 – Распределение напряженности при 10 В.

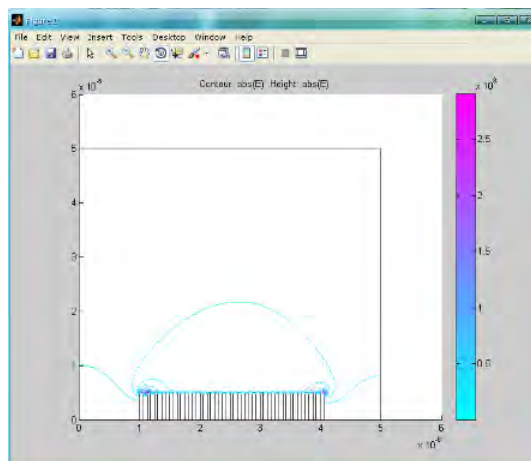


Рисунок 6 – Распределение напряженности при 10 В.

УДК 621.923.74:553.8

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ШАРОВ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ

Щетникович К.Г., Старцев Ю.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Шлифование шаров из минерального сырья осуществляется двумя вращающимися алмазными кольцевыми инструментами, оси которых пересекаются в центре шара. В процессе обработки необходимо обеспечить непрерывность вращения заготовки с постоянной сменой положения мгновенной оси вращения шара. Однако переориентация заготовки происходит случайным образом и в процессе шлифования возможны резкие изменения кинематики шара. Инструмент контактирует с шаром практически в диаметрально противоположных точках, по-

этому при резком изменении натяга в технологической системе возникают большие динамические нагрузки. Жесткий кон-такт шара с кольцевым инструментом, торцевые поверхности которого одновременно являются базирующими, может вызвать появление сколов и трещин в поверхностном слое заготовки. Не исключаются также кратковременные остановки вращения заготовки, имеющей грубые отклонения от сферической формы. Последний фактор может привести к местному врезанию кольцевого алмазного инструмента вглубь заготовки и резкому