

**Отзыв научного руководителя**  
на магистерскую диссертационную работу  
студентки кафедры Моделирования электромеханических и компьютерных систем  
факультета ПМ-ПУ  
Санкт-Петербургского государственного университета  
*Грибковой Илги Михайловны*  
«Математическое моделирование работы выхода полевого эмиссионного катода»

Электронные источники на основе полевых эмиссионных катодов обладают целым рядом характеристик, которые выгодно выделяют их на фоне, скажем, термоэмиссионных или фотоэмиссионных аналогов. Небольшая полуширина энергетического спектра электронов и малое время отклика систем, работающих в режиме полевой эмиссии, делают их прекрасным средством для создания всевозможных систем управления. К сожалению, плотность эмиссионного тока, получаемого таким методом, сильно зависит от состояния поверхности катода. В частности, эмиссионная способность вещества определяется величиной работы выхода электрона  $\Phi$  — мерой связи электрона с источником. Существует целый ряд способов экспериментального измерения работы выхода для моно- и поликристаллов. Результаты таких опытов выявляют зависимость  $\Phi$  от примесей, адсорбатов, температуры, индексов кристаллической грани. Можно легко убедиться, что даже для определённой грани определённого кристалла существует разброс в значениях работы выхода, полученных в ходе эксперимента. И трактовка таких расхождений часто бывает различной. Что касается области математического моделирования, то здесь положение дел выглядит довольно мрачно — простого ответа на вопрос о связи электрона с кристаллом просто не существует. А в квантовомеханической постановке даже современные компьютерные мощности не позволяют решить такую задачу (здесь необходимо учесть и объёмные свойства и свести к минимуму краевые эффекты, т. е. оперировать очень большим числом атомов). В современной литературе существует несколько полуэмпирических моделей, которые справедливы в основном для простых веществ и не всегда освобождают теоретика от непосредственного рассмотрения кристаллической структуры вещества.

В диссертационной работе рассматриваются принципы построения распределения работы выхода по поверхности монокристаллического образца. В качестве примера рассмотрено остриё, выполненное в форме полости двуполостного гиперболоида вращения. Оригинальный и быстрый алгоритм сопоставления нормали к поверхности и индексов Миллера грани позволяет применить его для катода произвольной формы. Данный алгоритм предполагает различные способы сопоставления, варианты отсеивания высокоиндексных граней и возможность внесения случайной составляющей, моделируя, тем самым, шероховатости реальной поверхности.

Для того, чтобы элементу площади поверхности поставить в соответствие значение работы выхода, была создана база данных. Илгой Михайловной проведён большой труд по заполнению данной базы на основе литературных источников экспериментального и справочного характера. В качестве альтернативы опытным данным рассмотрена однофакторная регрессионная модель Сурмы зависимости работы выхода от параметра кристаллической решётки, которая может быть предложена для металлов<sup>1</sup>. Была осуществлена статистическая проверка гипотез о справедливости модели Сурмы. На проверку выносилась однородность остатков регрессии для различных материалов, их нормальная распределённость, статистическая значимость коэффициентов регрессии.

<sup>1</sup>Surma S. A. Correlation of electron work function and surface-atomic structure of some transition metals // Physica Status Solidi A, Vol. 183, №2, 2001, pp. 307–322.

Были построены доверительные интервалы для прогнозируемых значений работы выхода, параметров регрессионной модели и коэффициента корреляции. Для успешного прохождения критериев проверки потребовалось построить алгоритм цензурирования данных, что позволило придать результатам более высокую надёжность.

Работоспособность и функциональность предлагаемого студенткой подхода к достижению поставленной цели проиллюстрирована картами работы выхода при различной ориентации монокристалла и эмиссионными изображениями. В рамках математического моделирования это несомненное достижение.

В процессе обучения Илга Михайловна проявила целеустремлённость при решении поставленных задач. Большая самостоятельность была продемонстрирована в процессе подготовки базы данных и составлении руководства пользования ей. При программировании алгоритмов был использован язык C++ и кроссплатформенная среда разработки. Некоторые результаты работы были опубликованы и прошли апробацию на семинарах кафедры и научных конференциях.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Грибковой И. М. заслуживает **отличной** оценки, а сама студентка присуждения ей академической степени магистра.

К.ф.-м.н., доцент



Антонов А. Ю.