

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Константина Константиновича Забелло «Исследование влияния магнитных полей различной ориентации на характеристики катодного пятна вакуумной дуги и генерируемой пятном плазменной струи», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Интерес к исследованию катодных пятен вакуумного дугового разряда обусловлен применением такого разряда в ряде задач физической электроники, из которых наиболее важными представляются коммутация электрического тока в вакуумных промежутках, генерация пучков заряженных частиц, формирование потоков плазмы для ионно-плазменного нанесения пленочных структур на поверхность. Вместе с тем, несмотря на многолетнюю историю изучения катодного пятна, детальная физическая картина процессов в нем далека от завершения. Это связано с методическими трудностями, возникающими при изучении катодного пятна: перемещение его по поверхности катода со скоростью единицы - десятки метров в секунду, микронные размеры пятна и высокая концентрация плазмы вблизи него. Именно широкое применение вакуумных дуговых разрядов для задач практики с одной стороны, и отсутствие полного понимания физических процессов в самом катодном пятне с другой, делают диссертационные исследования К.К. Забелло актуальными.

Главной отличительной чертой диссертации К.К. Забелло, определяющей ее научную новизну, является исследование автором поведения катодного пятна и плазменного потока, эмитированного им, в новых условиях – в магнитных полях, силовые линии которых были направлены под углом к оси разрядной системы. Это, в совокупности с используемой для решения задач работы оригинальной экспериментальной методикой, позволило диссертанту получить ряд принципиально новых научных результатов, среди которых наиболее важными являются:

1. На основании исследований вакуумного дугового разряда с катодами, выполненными из Cu, $Cu_{0.7}Cr_{0.3}$, Mo и W, показано, что количество катодных пятен, функционирующих в каждый момент времени на катоде, подчиняется нормальному распределению и зависит от угла направления силовых линий магнитного поля относительно оси разрядной системы. Превышение этого угла

свыше критического значения, составляющего 30° для катода из Cu и 45° для $\text{Cu}_{0,7}\text{Cr}_{0,3}$, приводит к резкому увеличению среднего тока на катодное пятно. Средний ток на катодное пятно зависит от протяженности разрядного промежутка, а, при углах близких к 90° , и от величины магнитного поля. Аналогичные критические углы направления силовых линий определяют форму V-образных зависимостей напряжения горения разряда от осевой составляющей поля, которые при малых углах асимптотически сходятся к известной зависимости напряжения горения от величины аксиального поля.

2. Соотношение между углом Робсона, определяющим направление ретроградного движения катодных пятен, и углом направления силовых линий магнитного поля зависит, в том числе, от протяженности разрядного промежутка, а зависимости скорости катодного пятна от перпендикулярной составляющей магнитного поля подобны для всех исследуемых в работе диапазонов тока разряда, протяженности промежутка и угла направления силовых линий - линейны при малых значениях этой составляющей поля, но выходят в насыщение при ее дальнейшем увеличении.

3. В осевом магнитном поле с индукцией 50 мТ диаметр плазменной струи из катодного пятна составляет порядка 2 мм, а в поле с направлением силовых линий, отличным от осевого, струя распространяется вдоль силовых линий, за исключением прикатодной области плазмы, размер которой составляет порядка 1 мм при индукции осевой и перпендикулярной составляющих поля 100 и 50 мТ, соответственно.

Практическая ценность диссертационной работы К.К. Забелло заключается в возможности использования полученных физических результатов для осуществления системного подхода в поиске оптимальных технических и инженерных решений при создании устройств, основанных на данном виде разряда.

Результаты диссертационной работы К.К. Забелло прошли достаточную апробацию на международных конференциях, опубликованы в 8-и статьях в авторитетных рецензируемых научных журналах. Автореферат диссертации полностью и правильно отражает ее содержание. Научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации диссертационной работы представляются обоснованными и доказанными в тексте самой диссертации.

Автор диссертации является известным специалистом по исследованию вакуумного дугового разряда. Его индекс Хирша, согласно базе цитирований Web

of Science, неожиданно высок для современных соискателей степени кандидата наук и равен 8.

Замечания по диссертационной работе:

1. Формулирование ряда научных положений в том виде, в котором они приведены в диссертации, представляется не вполне целесообразным. Положения 1 и 2, посвященные характеристикам разряда могли, бы быть объединены в одно. Это же относится к положениям 3 и 4 о движении катодного пятна, а так же 5 и 6 о распространении плазменной струи в магнитном поле.

2. В диссертации впервые определены значения критических углов направления силовых линий магнитного поля, влияющих на характеристики вакуумного дугового разряда, но не обсуждаются причины, почему эти углы имеют такие значения.

3. Использование в экспериментах катодов не только из Cu , $\text{Cu}_{0,7}\text{Cr}_{0,3}$, но и из чистого Cr позволило бы лучше понять влияние материала катода на свойства разряда.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации Константин Константинович Забелло безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Официальный оппонент,
доктор технических наук

Юшков Г.Ю.

19 января 2016 г.

Юшков Георгий Юрьевич, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук; электронная почта: GYushkov@mail.ru; тел.: (3822)491776; 634055, гор. Томск, просп. Академический 2/3.

«Подпись ведущего научного сотрудника Института сильноточной электроники СО РАН доктора технических наук Юшкова Г.Ю. удостоверяю».

Ученый секретарь Института
сильноточной электроники СО РАН
доктор физико-математических наук



Пегель И.В.