

И. Г. КЕСАЕВ

НАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ КАТОДНОГО ПЯТНА, ОБУСЛОВЛЕННОЕ АСИММЕТРИЕЙ УСЛОВИЙ У ЕГО ГРАНИЦ

(Представлено академиком Н. Н. Рыкалинным 15 VII 1971)

Среди многих явлений электрической дуги, не получивших пока достоверного объяснения, продолжает привлекать внимание аномально направленное движение катодного пятна под влиянием магнитного поля при низких давлениях. Причины этого движения обычно сводятся к отклонению эмиттируемых катодом электронов и создаваемых ими ионов под влиянием тангенциальной составляющей магнитного поля (¹⁻⁵). Однако такого рода объяснение находится в противоречии с аномальным направлением движения пятна в дугах низкого давления, не согласующимся с законами электродинамики. Это заставляет либо прибегать к противоестественным предположениям относительно характера движения зарядов в катодной области дуги, либо искать промежуточные механизмы, при участии которых электродинамическое отклонение зарядов могло бы вызвать движение катодного пятна в обратном направлении.

Автором настоящей статьи было указано (^{6, 7}), что движение катодного пятна может быть не связано непосредственно с отклоняющей заряды силой, поскольку катодная область дуги представляет не просто совокупность движущихся зарядов, а сложный самоподдерживающийся процесс. Поэтому следует учитывать возможность перемещения катодного пятна под влиянием любой асимметрии условий существования дуги в области расположения пятна, в частности, под влиянием асимметрии распределения магнитного поля (^{6, 7}). Если такого рода асимметрия сохраняется при перемещении, то причиняемое ею движение должно быть направленным, как это имеет место, например, при наложении собственного магнитного поля дуги и стороннего поля, обладающего тангенциальной составляющей напряженности по отношению к катоду.

Способность катодного пятна перемещаться под влиянием асимметрии условий в области его расположения подтверждают следующие эксперименты. Катодное пятно (рис. 1) возбуждалось на смоченной ртутью медной пластине 1, расположенной в вакууме между коническими полюсами 2 электромагнита, создававшего на поверхности пластины сильно неоднородное поле. Для возбуждения пятна был использован полупроводниковый зажиматель 3, установленный в стороне от оси симметрии поля, соединяющей вершины полюсов. Роль анода выполнял верхний полюс, изолированный от нижнего полюса и укрепленный на нем катодной пластины 1 с помощью тонкой гетинаксовой прокладки в магнитопроводе за пределами вакуумной камеры. Стенками камеры служили конические полюсные наконечники магнита 2 и зажатый между ними на уплотнениях стеклянный цилиндр 4, сквозь который траектория пятна фотографировалась с помощью пленочной камеры под углом около 45° к плоскости катода.

Расположение катодной пластины по отношению к полюсам можно было изменять без нарушения вакуума в камере при посредстве трех микрометрических винтов, на которые опиралась эта пластина. Критерием перпендикулярности катода к оси симметрии поля, расположенной

вертикально, служило равномерное растекание ртути по поверхности пластины. Расстояние поверхности ртутной пленки от вершины полюсного наконечника над ней отсчитывалось с точностью до 0,01 мм при помощи микроскопа по принципу оптического катетометра с использованием изображения полюсного наконечника в ртутном зеркале.

Наибольший интерес представляло поведение катодного пятна при центральном расположении поверхности катода, т. е. в плоскости симметрии поля (позиция I на рис. 1). В этом случае силовые линии поля направлены всюду нормально к поверхности катода, вследствие чего исключается возможность отклонения зарядов у катода тангенциальной составляющей поля.

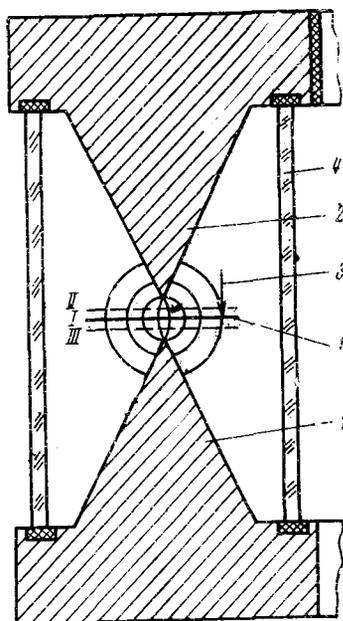


Рис. 1. Экспериментальная установка

Что же касается градиентного дрейфа зарядов, то при рассматриваемом виде неоднородности поля он не может иметь радиальной составляющей.

На рис. 2а представлен снимок дуги (позитив) при центральном расположении поверхности катода между полюсными наконечниками магнита и при напряженности поля в центре порядка 2 кэ; разрядный ток около 1,5 а. Траектория катодного пятна имеет вид светлой дробленой полоски, протянувшейся от основания полупроводникового зажигающего к оси симметрии поля. От этой полоски кверху отходит свечение столба разряда в виде плоской ширмы, на общем фоне которой выделяются более яркие полосы, следующие вдоль силовых линий поля. Они соответствуют мгновенному положению катодного пятна на катоде, что является следствием неравномерности движения и замагниченности электронов.

Как видно из снимка, катодное пятно движется вдоль радиуса к центру, т. е. в направлении градиента напряженности, в соответствии с принципом максимума поля, сформулированным в (6, 7). Радиальная форма траектории катодного пятна подтверждает отсутствие заметной радиальной составляющей поля при данном расположении опыта, а вместе с тем и правильность установки поверхности пластины в центральной плоскости промежутка между вершинами полюсов. Таким образом, источником направленного движения пятна в данном случае может служить лишь асимметрия условий в пределах катодного пятна и у его границ, обусловленная неоднородностью поля.

В данном опыте радиальный градиент напряженности магнитного поля в плоскости катода не превосходит по порядку величины 10^3 э/см, в то время как в обычно наблюдаемых условиях так называемого «обратного движения» катодного пятна образуются градиенты поля в области пятна порядка 10^6 э/см и более в результате сложения стороннего поля и собственного магнитного поля дуги. Следовательно, при объяснении обратного движения нужно принимать во внимание описанный эффект смещения пятна в направлении возрастающего поля. Более того, этот эффект может оказаться доминирующим.

При асимметричном расположении поверхности катода по отношению к полюсам магнита траектория катодного пятна оказывается более сложной вследствие появления радиальной составляющей напряженности, обуславливающей два дополнительных эффекта. Одним из них является возникновение азимутальной асимметрии магнитного поля в области пят-

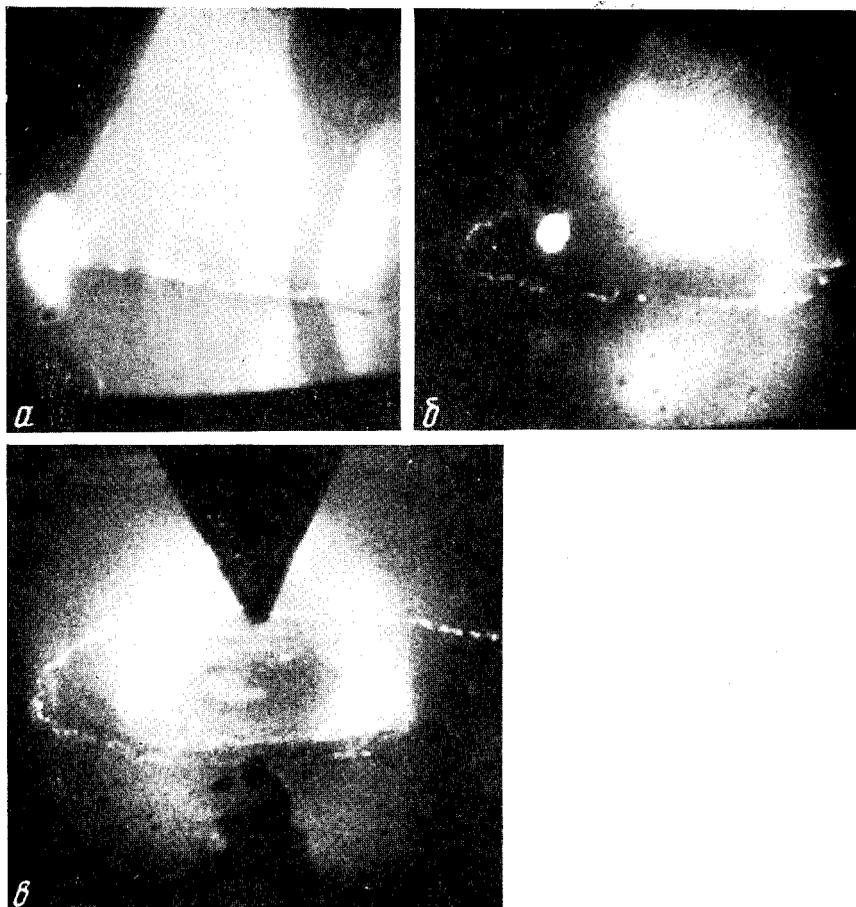


Рис. 2. Дуга с траекторией катодного пятна при установке катода в позиции I (а), II (б), III (в)

К статье Ю. А. Алексеева, Т. П. Никитиной и Н. Е. Филопенко, стр. 1051



Рис. 1. Кажущиеся грани куба на кристаллах нитрида бора; 150×

на в результате суммирования стороннего и собственного поля дуги. Под ее влиянием пятно приобретает азимутальную составляющую движения. Другим эффектом оказывается искажение собственного магнитного поля дуги, приводящее к возникновению дополнительной радиальной асимметрии. Если катод сместить к верхнему полюсу магнита (позиция II на рис. 1), то возникающая асимметрия собственного поля дуги в районе пятна усиливает радиальную неоднородность поля, следствием чего будет ускорение движения пятна к центру. Вследствие существования азимутальной составляющей движения пятно попадает в центральную область максимума напряженности поля по спиральной траектории (рис. 2б). При смещении катода к нижнему полюсу магнита (позиция III) асимметрия собственного поля дуги и асимметрия стороннего поля имеют противоположные знаки, причем под влиянием первой пятно стремится

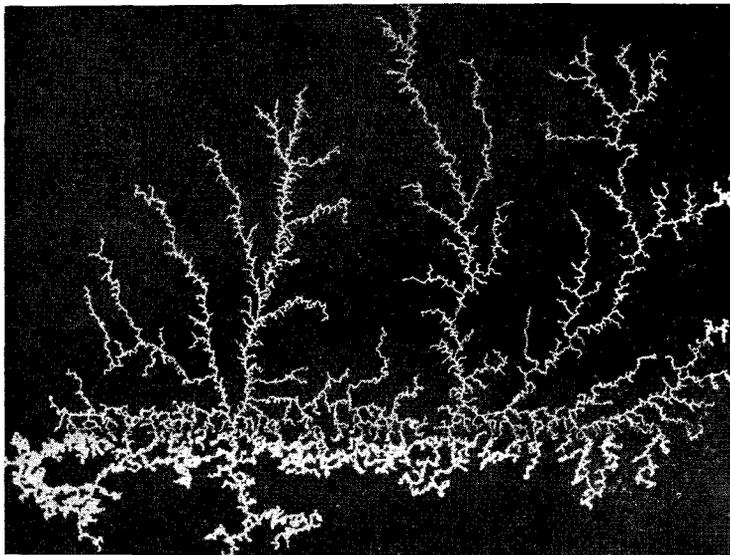


Рис. 3. Автографы катодного пятна на пленке висмута со ступенчатым изменением толщины от 1μ в нижней части снимка к $0,1 \mu$ в верхней части

двигаться от центра к периферии катода, тогда как под влиянием второй — к центру. Результатом оказывается движение по окружности радиуса r , при котором обе тенденции уравниваются (рис. 2в).

Итак, приведенный опыт и наблюдающиеся аномалии в направлении движения свидетельствуют, что при низких давлениях среды источником направленного движения катодного пятна в магнитном поле является не отклонение первичных электронов электромагнитной силой, а асимметрия суммарного магнитного поля в районе катодного пятна. Иначе говоря, катодное пятно ведет себя не как простая совокупность движущихся зарядов, а как процесс, смещающийся в направлении наиболее благоприятных условий. Одним из факторов, резко повышающих устойчивость этого процесса посредством уменьшения потерь зарядов и энергии, является магнитное поле (?). Поэтому естественно ожидать смещения пятна в направлении градиента суммарной напряженности поля*, как это и наблюдается в экспериментах. Это же может служить объяснением так называемого «обратного движения» катодного пятна.

Источником направленного движения пятна может быть не только

* Под суммарной напряженностью следует понимать результат сложения стороннего поля и собственного поля дуги в районе катодного пятна.

асимметрия магнитного поля в районе пятна, но и другого рода асимметрии, как об этом говорит появление направленной компоненты при движении пятна на пленочных катодах неоднородной толщины. На рис. 3 приведен увеличенный снимок автографов катодного пятна на нанесенной на стекло пленке висмута со ступенчатым изменением толщины от 1 м до 0,1 м. Под влиянием тангенциального к катоду магнитного поля пятно двигалось от толстого слоя к тонкому. Попав в переходную область, пятно стало дробиться на более мелкие ячейки, большая часть которых поворачивала назад к толстому слою, но распадалась, не дойдя до него. Это изменение направления движения можно связать лишь с влиянием градиента толщины пленки, принуждающего ячейки двигаться в направлении увеличения толщины, что легко объяснить уменьшением сопротивления пленки в этом направлении, а следовательно, более благоприятными условиями существования катодного пятна. Аналогичными эффектами можно также объяснить фиксацию катодного пятна на границе смачивания металлов ртутью.

Всесоюзный электротехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
23 VI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ R. L. Longini, Phys. Rev., 71, 642 (1947). ² R. Tanberg, Nature, 124, 371 (1929). ³ I. J. Himler, G. I. Cohn, Electr. Eng., 67, 1148 (1948). ⁴ R. S. John, J. G. Winans, Phys. Rev., 93, 653 (1957). ⁵ G. Ecker, K. G. Muller, Zs. Phys., 151, 577 (1958). ⁶ И. Г. Кесаев, ДАН, 112, 619 (1957). ⁷ И. Г. Кесаев, Катодные процессы электрической дуги, «Наука», 1968.