



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт Электрофизики

СТРУКТУРА ПЛАЗМЕННОГО КАНАЛА В РАЗРЯДЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ С СУБНАНОСЕКУНДНЫМ ФРОНТОМ ИМПУЛЬСА НА ПРОВОДНИКИ МИКРОННОГО РАЗМЕРА

С.В. Баракхостов, М.Б. Бочкарев, Н.Б. Волков, К.А. Нагаев,
О.Р. Тимошенкова, Е.А. Чингина

*Институт электрофизики УрО РАН, 620016, Екатеринбург,
ул. Амундсена, 106*

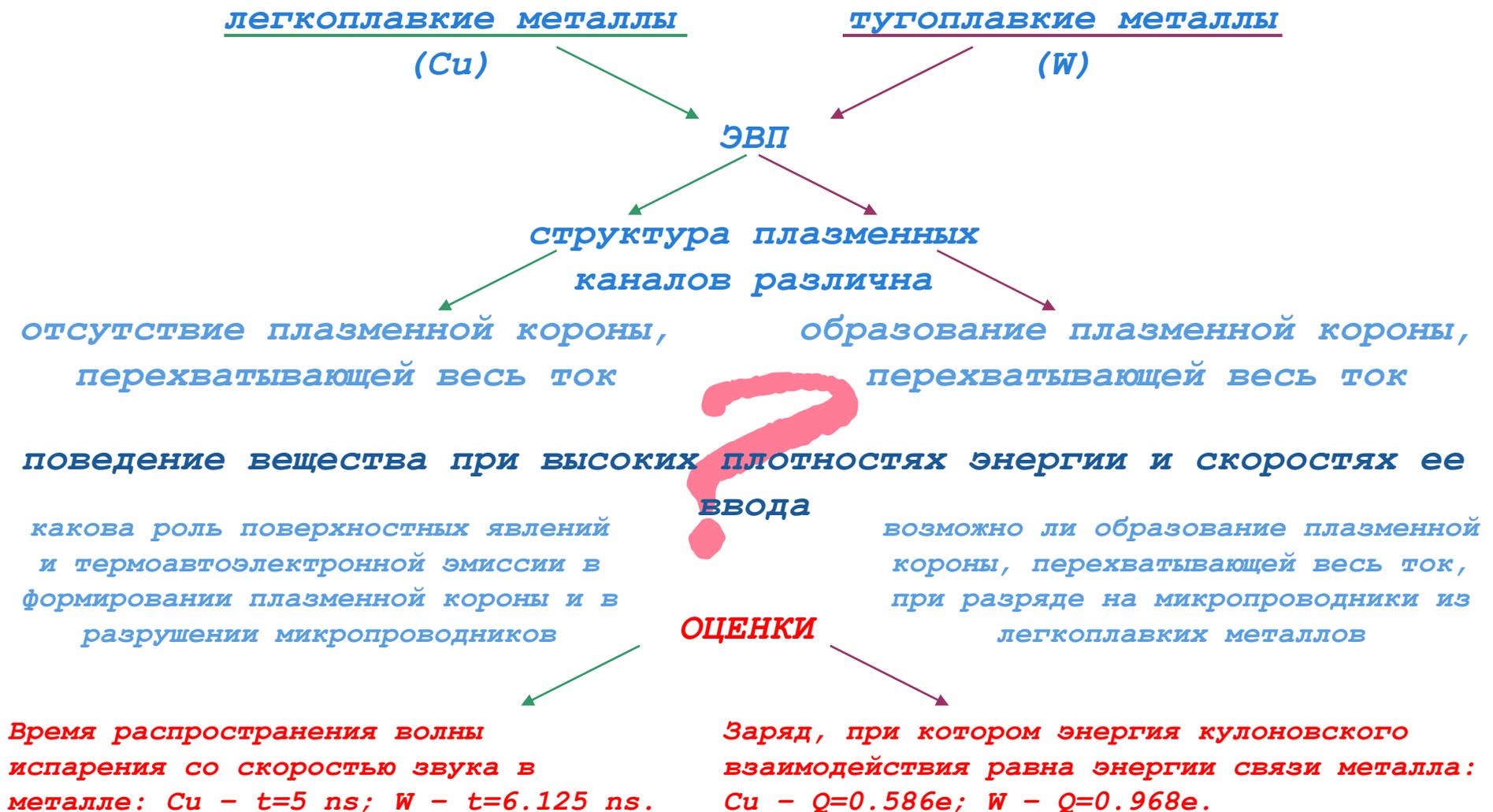
E-mail: nbv@ami.uran.ru, nbv@iep.uran.ru

Данная работа выполнена при частичной финансовой поддержке Президиума Уральского отделения РАН в рамках интеграционных проектов, выполняемых совместно учеными УрО, СО и ДВО РАН, а также в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий и физика сильно сжатого вещества».

«Физика неидеальной плазмы – 2009», Москва, 30 ноября – 1 декабря 2009.



взрывоподобное разрушение проводников электрическим током





РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт Электрофизики

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ РАДАН

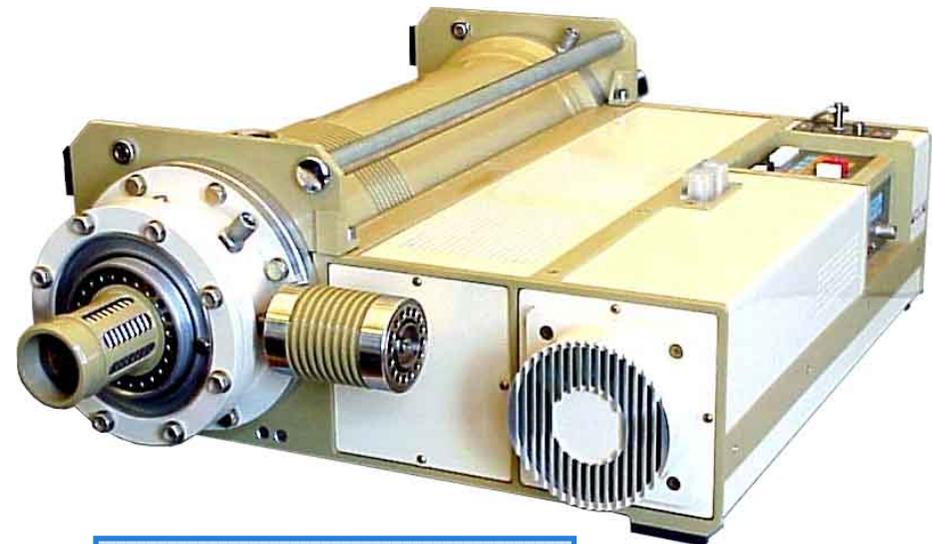
Генераторы серии
РАДАН- (150-220)



**Рентгеновские
Аппараты для
Дефектоскопии
Академии Наук**

25 лет

зарегистрированному
товарному знаку
с 30.04.1984 г.



Генератор **РАДАН-303**



параметры источника:

$$U = 220 \text{ кВ};$$

$$\tau_{U_{\max}} \sim 200-500 \text{ пс};$$

$$I = 2.2 \text{ кА};$$

$$E_{\text{зап}} = 1 \text{ Дж};$$

$$\dot{I} = 0.733-1.1 \text{ кА/нс}, Z_w = 100 \Omega.$$

**параметры исследуемых
проводников:**

Cu

W

$\varnothing 20 \text{ мкм};$

$\varnothing 24.5 \text{ мкм};$

длина проволочки 5 мм.

Оценки максимальных значений напряженности и плотности автоэмиссионного тока на гладкой поверхности медной проволочки диаметром 20 мкм:

$$E_r(r) = U / \left(r \ln(R/r_p) \right) = 2.583 \cdot 10^9 \text{ В/м} \rightarrow j_r \sim 10^7 \text{ А/м}^2.$$

Регистраторы:

осциллограф Tektronix (полоса пропускания 1ГГц);
камера Canon 450D
(с системой макрокольца);
фоторегистратор «АГАТ СФ-3М»;
спектрограф «MS 257»;
электронная микроскопия
останков проволочек

давление в камере

изменялось
от 10^{-4} до 760 мм.рт.ст.

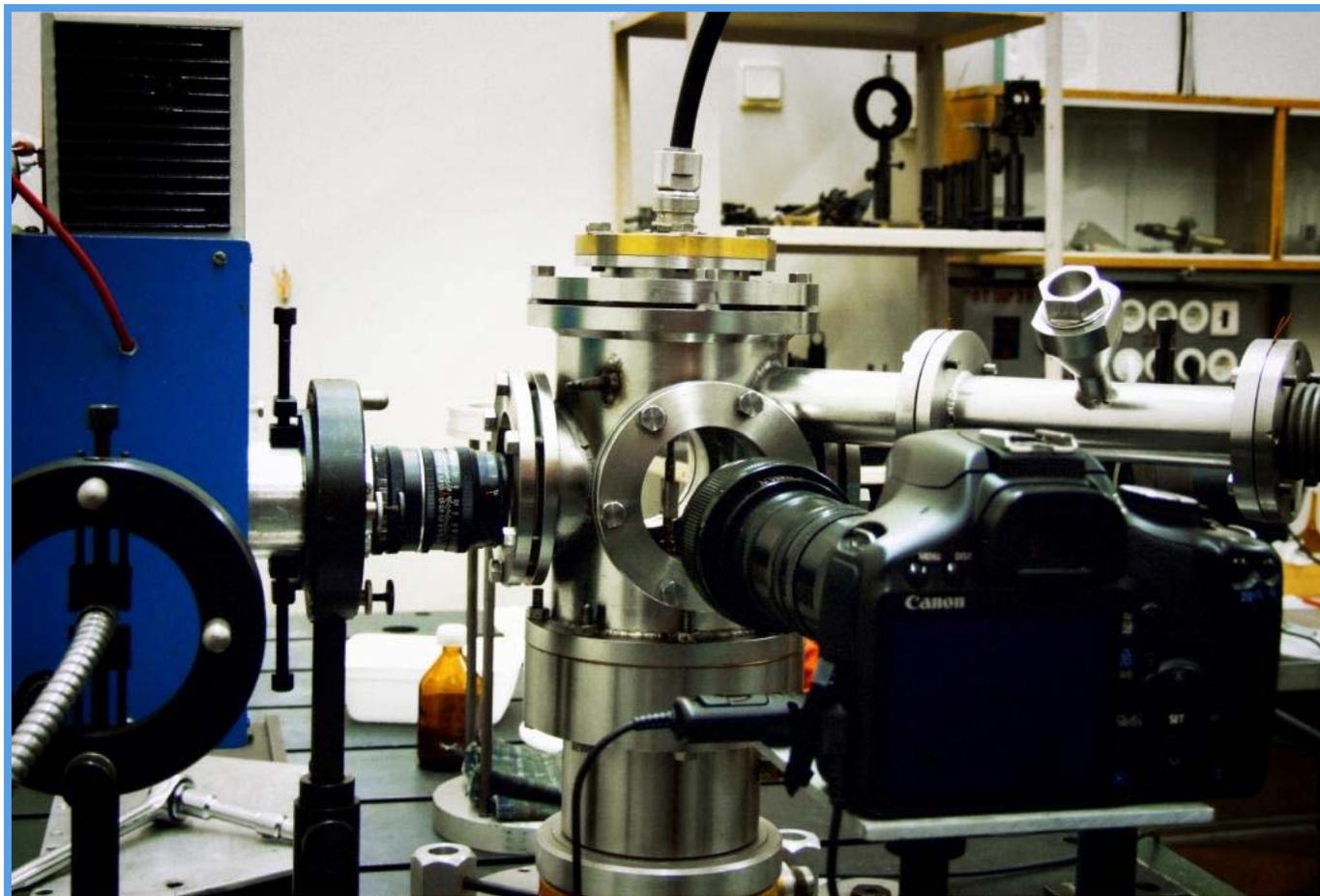
$$Z_w \gg R_{sh} = 0.4 \Omega > R_p.$$



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт Электрофизики

Экспериментальная установка для исследования механизмов разрушения микропроводников электрическим током



«Физика неидеальной плазмы – 2009», Москва, 30 ноября – 1 декабря 2009.



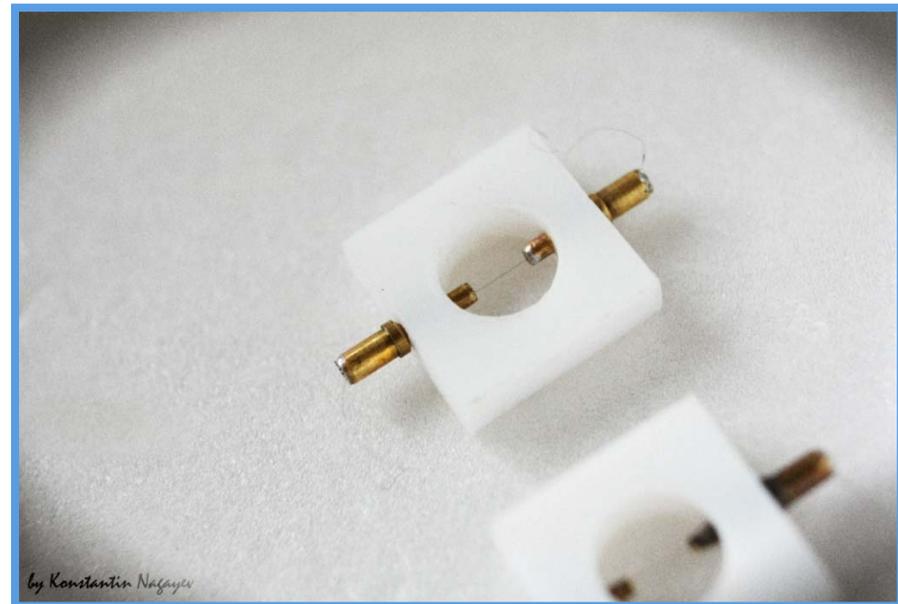
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт Электрофизики



*система для установки
образца в коаксиальную линию
внутри вакуумной камеры*

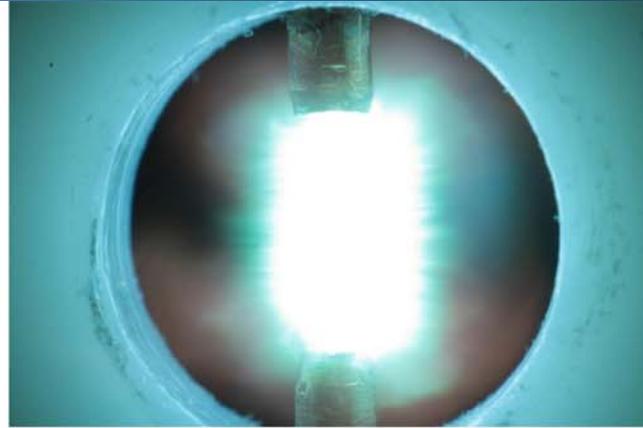
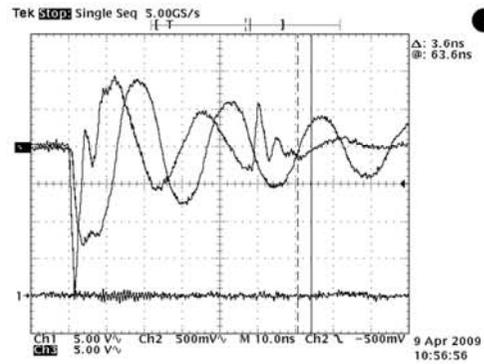
*державка с запаянной в нее
проволокой микронного диаметра*



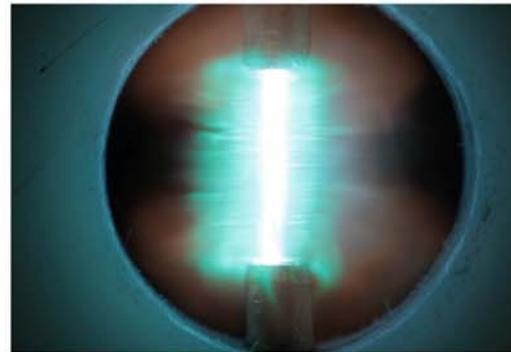
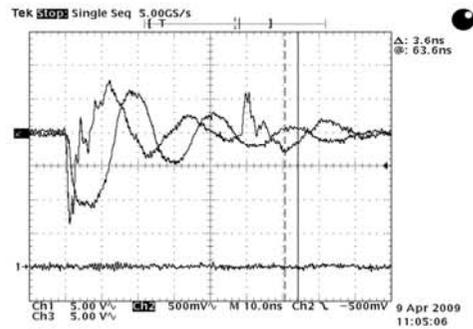


Cu

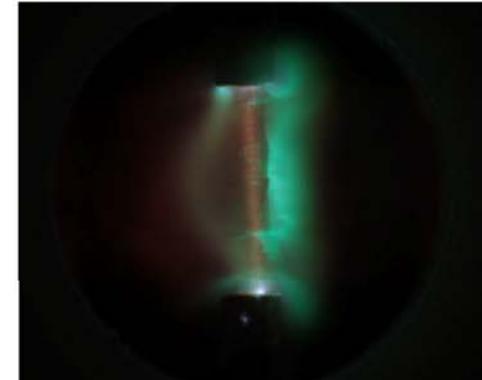
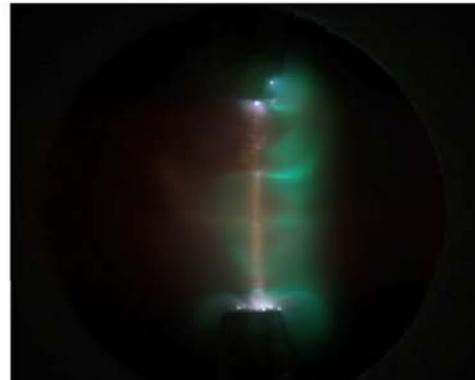
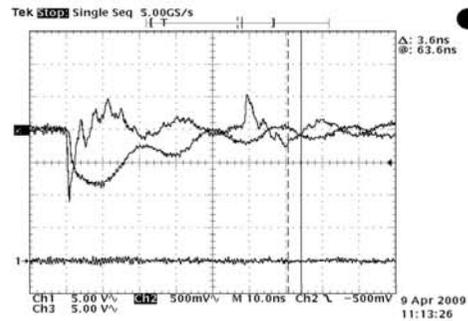
$p=0.7$ atm



$p=0.4$ atm



$p=0.1$ atm

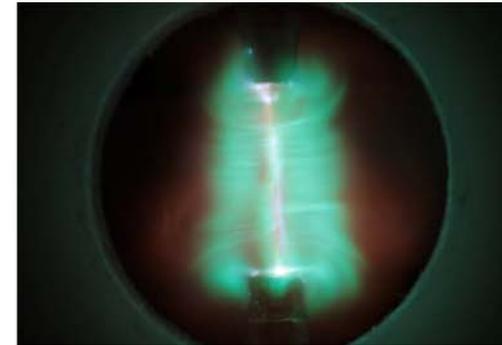
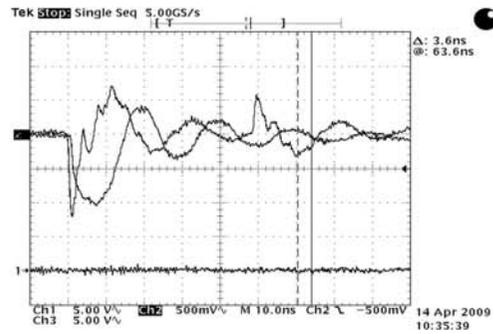


iso 400



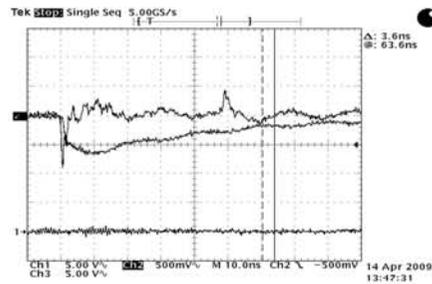
Cu

$p=3.4 \text{ mm Hg}$

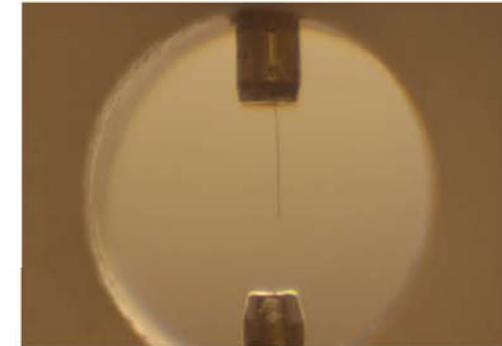
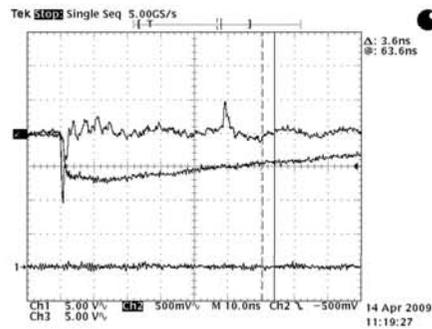


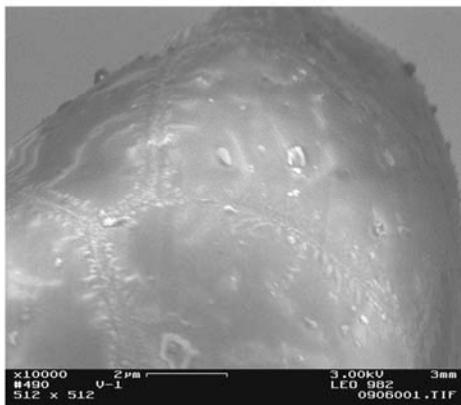
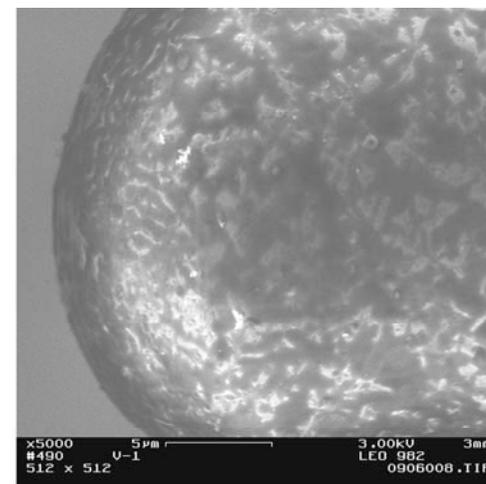
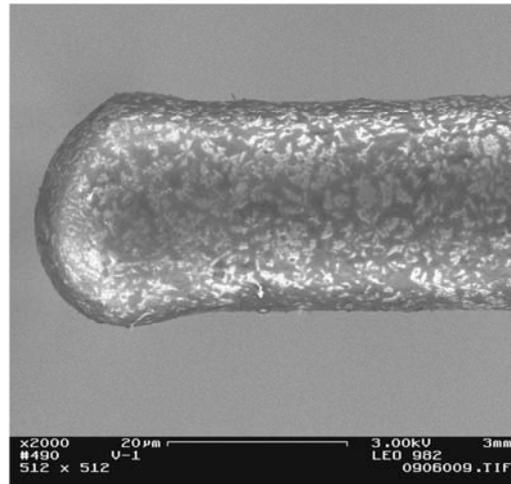
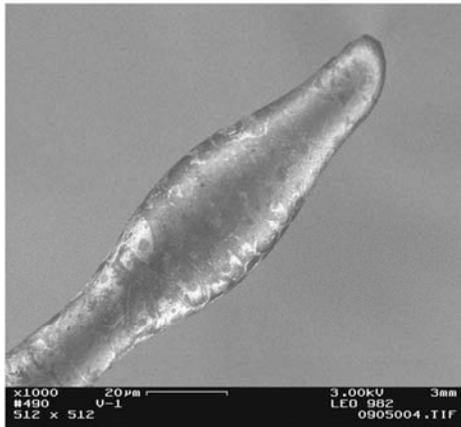
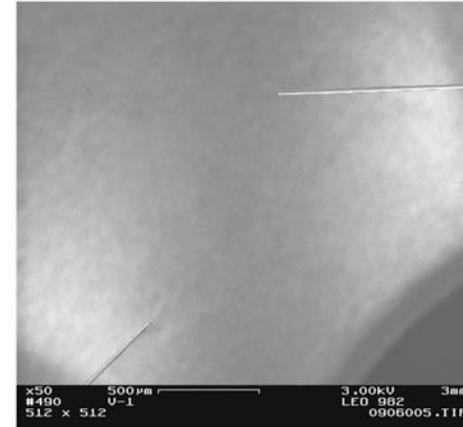
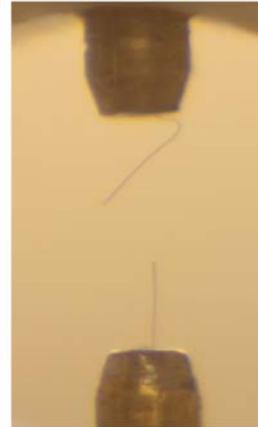
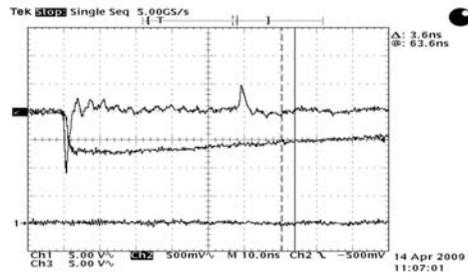
iso 400

$p=2.84 \text{ mm Hg}$



$p=2.59 \text{ mm Hg}$





Cu, $d=20 \mu\text{m}$, $p=2.17 \text{ mm Hg}$.

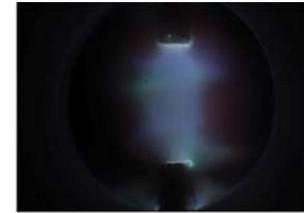
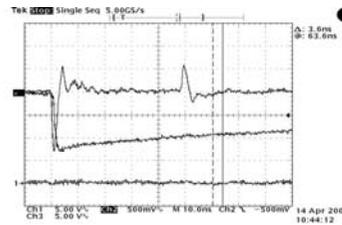


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

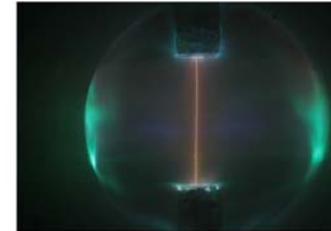
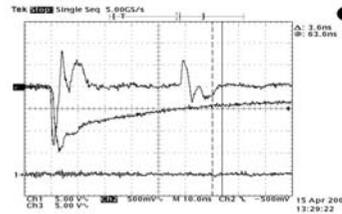
Институт Электрофизики

Cu

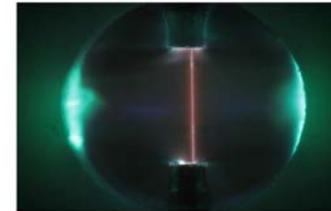
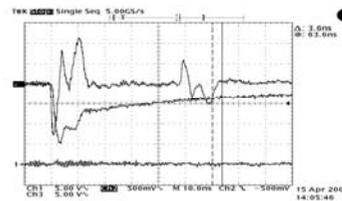
$p=0.688$ mm Hg



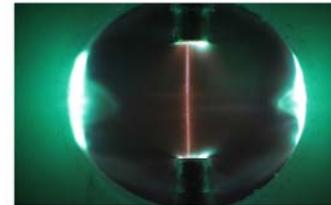
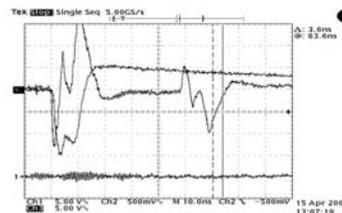
$p=0.3$ mm Hg



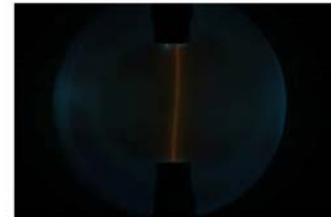
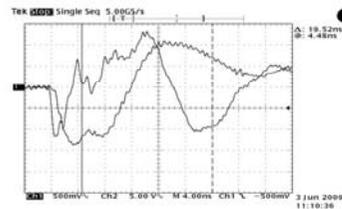
$p=0.2$ mm Hg

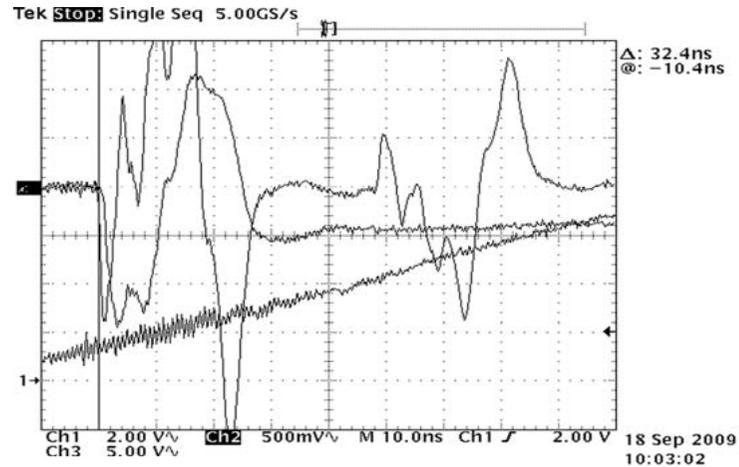


$p=0.1$ mm Hg

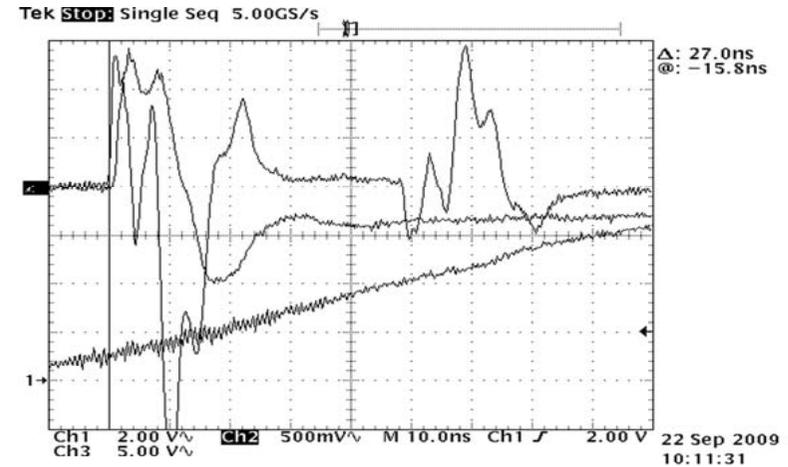


$p=2.5 \cdot 10^{-2}$ mm Hg

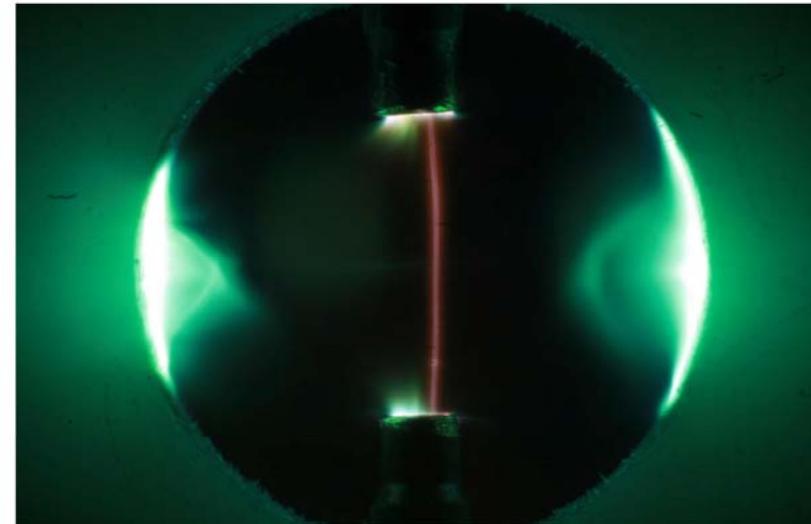
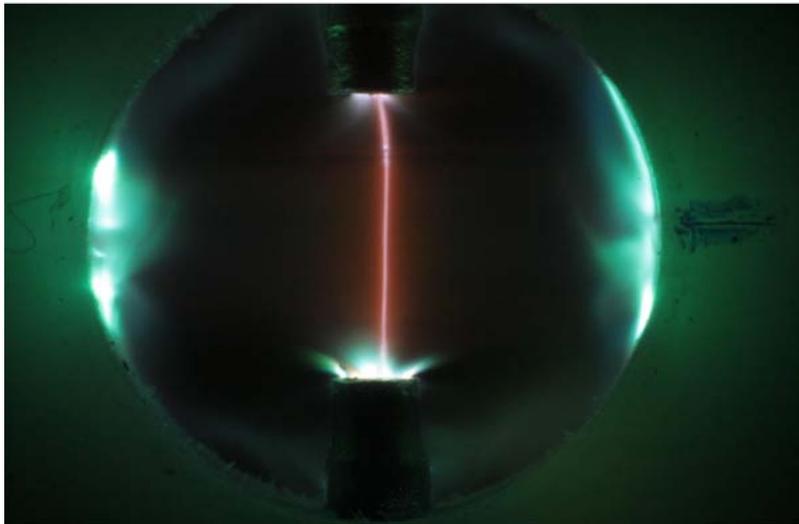




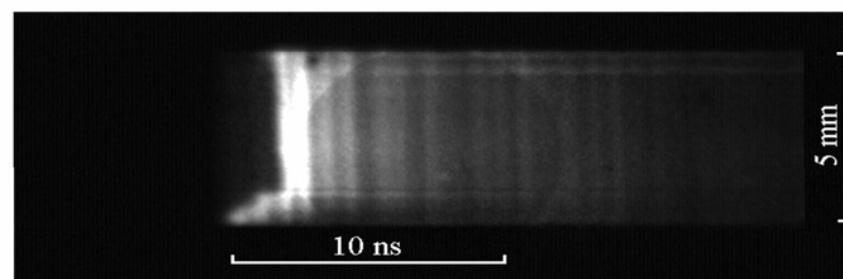
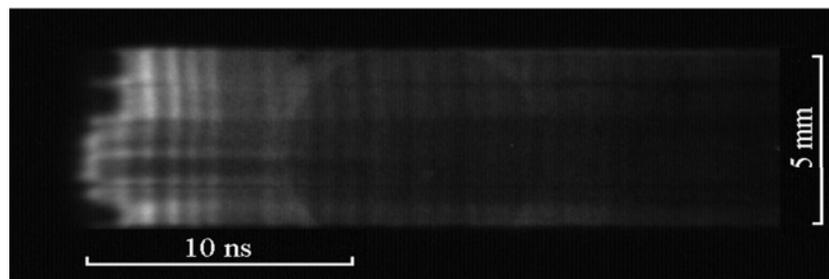
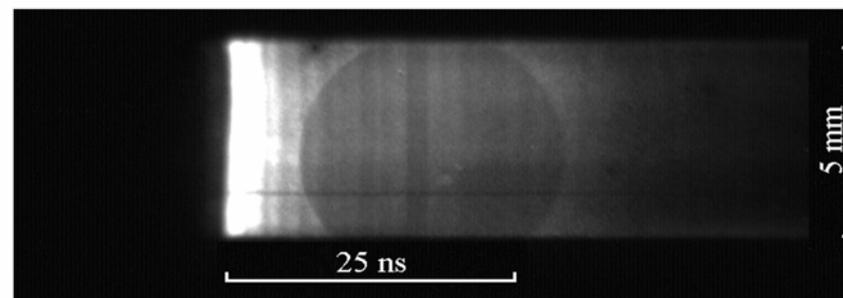
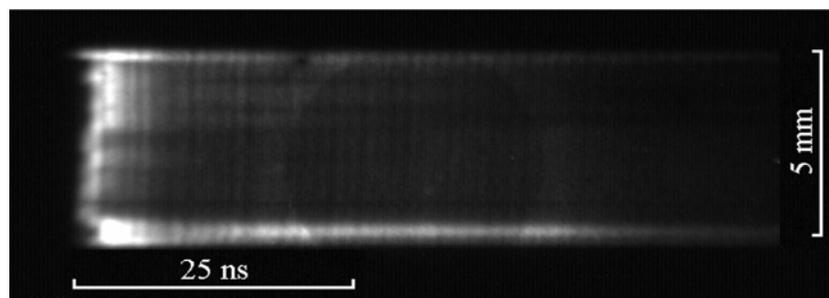
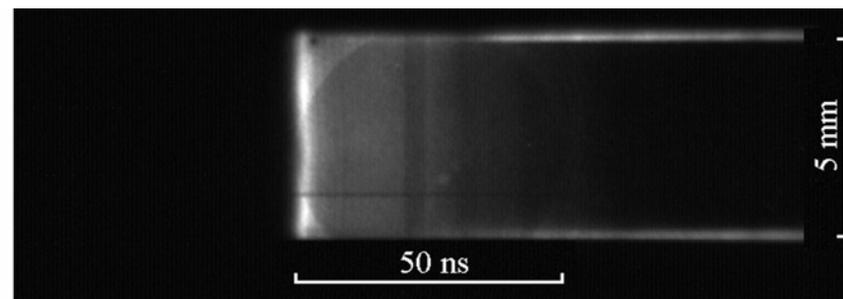
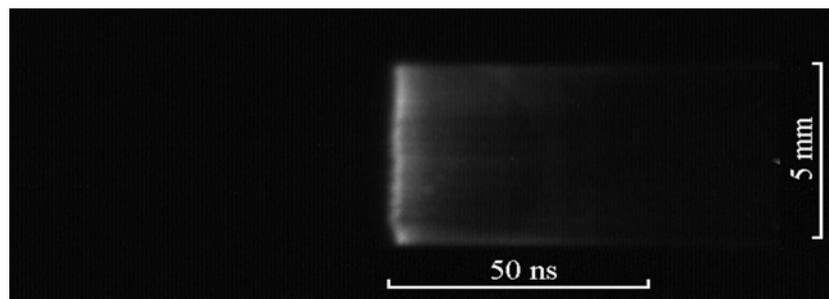
iso 800



iso 200, закрытая диафрагма



Давление 10–4 мм рт. ст.; слева – отрицательная полярность напряжения на медной проволочке, справа – положительная полярность.

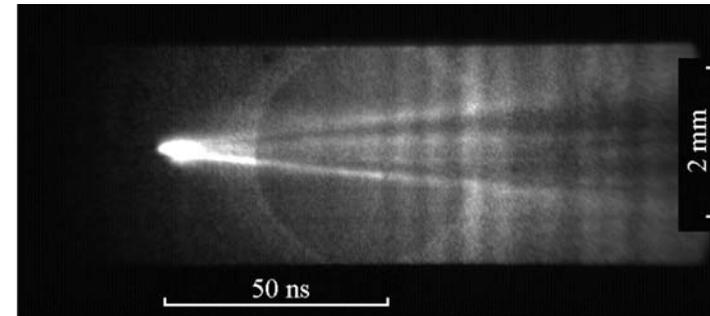
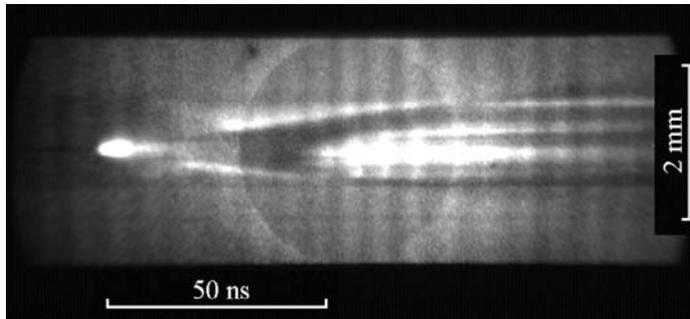


Временные развертки собственного свечения разряда, щель 0.5 мм ориентирована вдоль медной проволоочки.

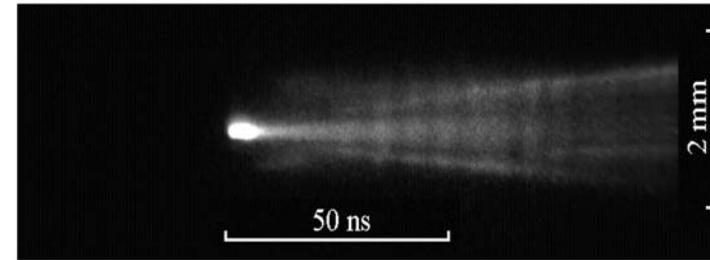
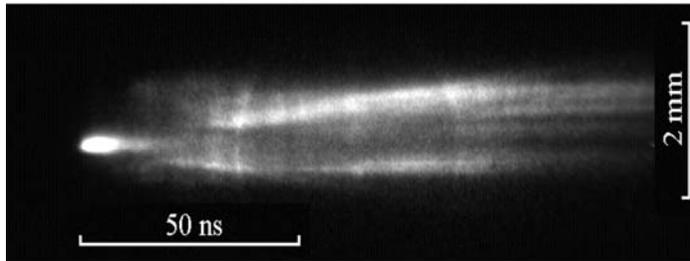
«Физика неидеальной плазмы – 2009», Москва, 30 ноября – 1 декабря 2009.



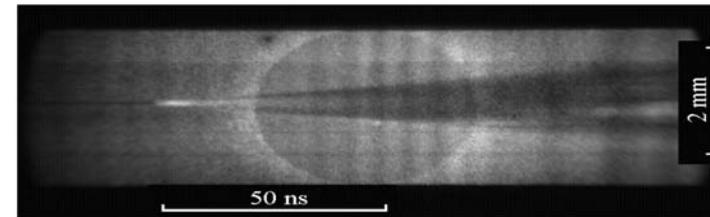
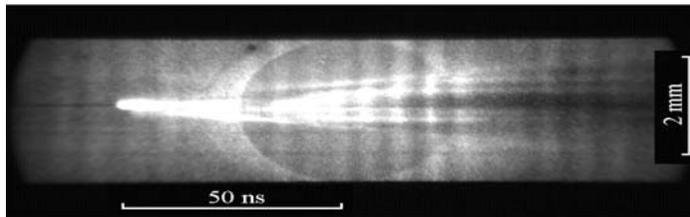
анод



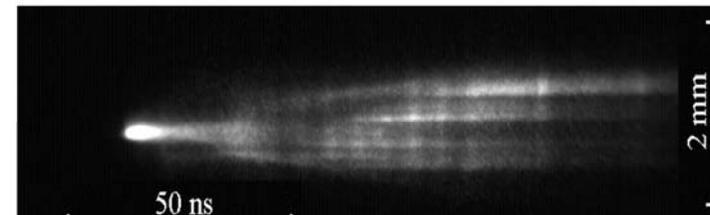
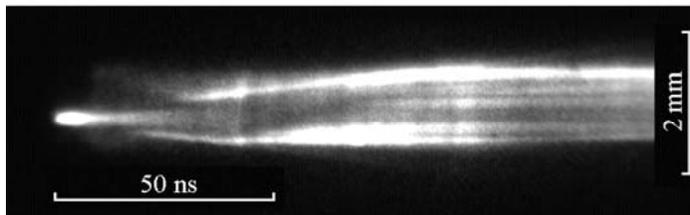
ИСШ
400



катод



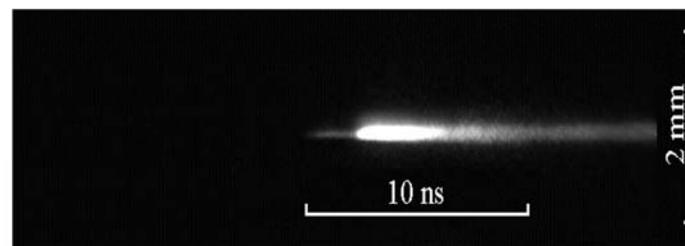
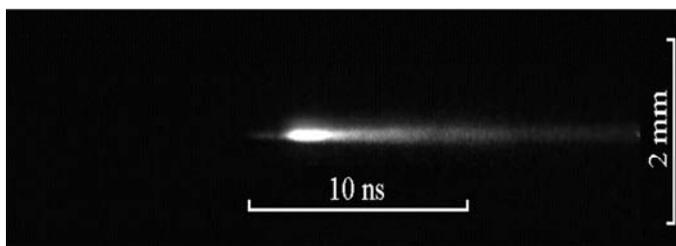
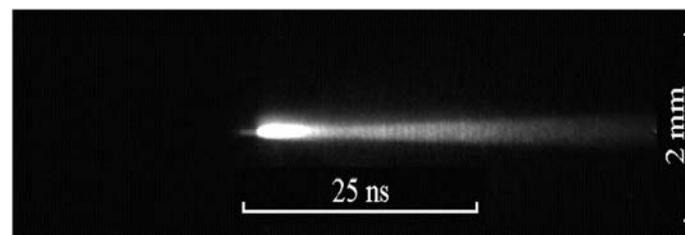
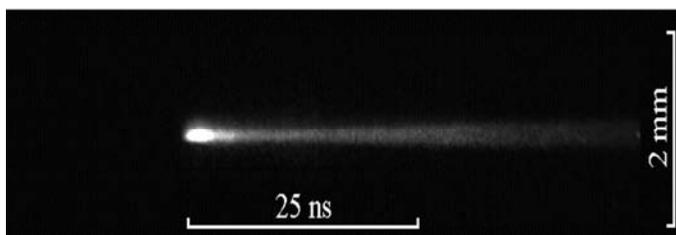
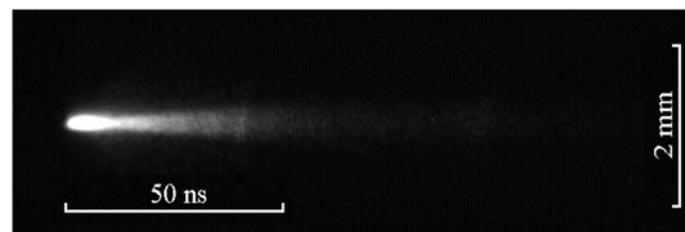
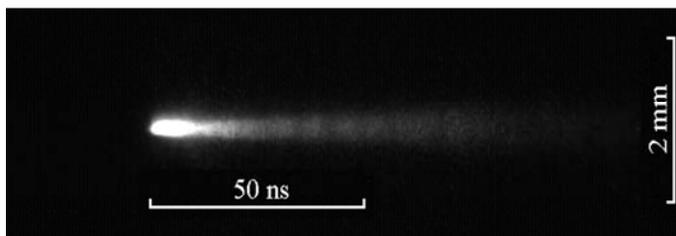
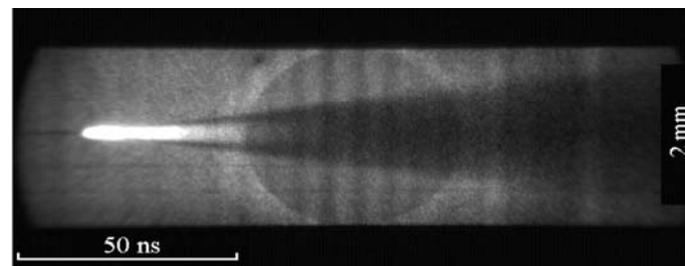
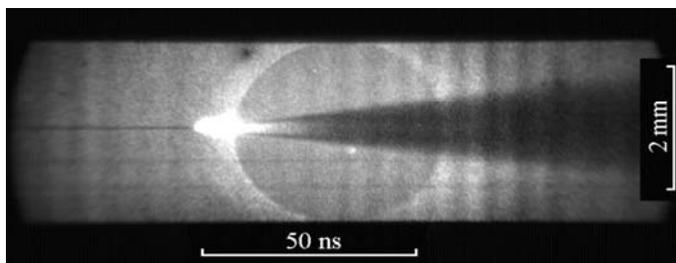
ИСШ
400



Временные развертки свечения разряда у электродов; щель 0.5 мм ориентирована поперек медной проволоочки.



ИСШ
400

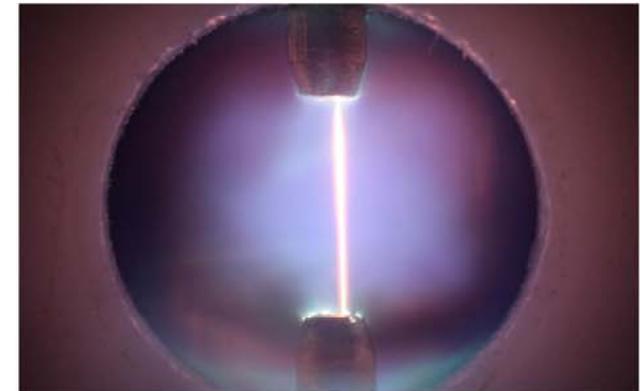
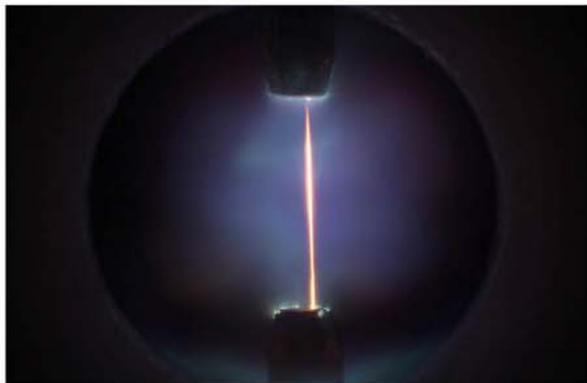
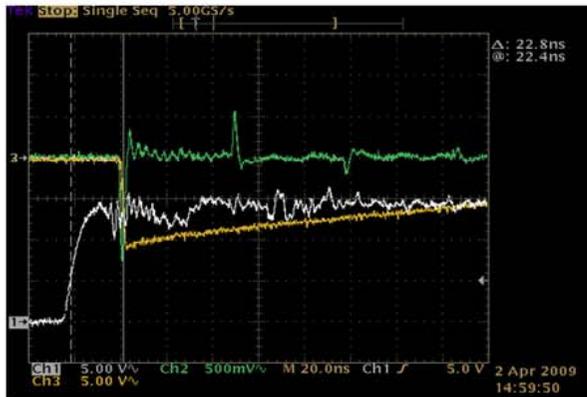


Временные развертки свечения разряда в центральной части разрядного промежутка; щель 0.5 мм ориентирована поперек медной проволоочки. Отрицательная полярность - $v \approx 4.17$ km/s; положительная - $v \approx 6.67$ km/s.



iso 100

iso 200



iso 400

iso 800

iso 1600

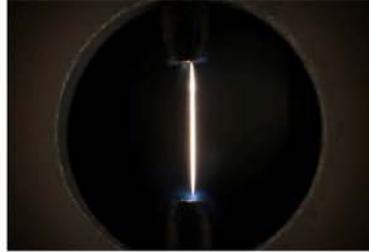
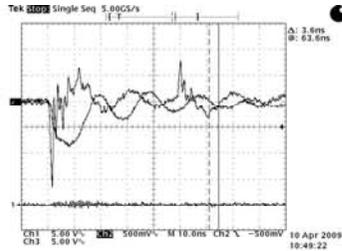
Tungsten, $p=0.57$ atm



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

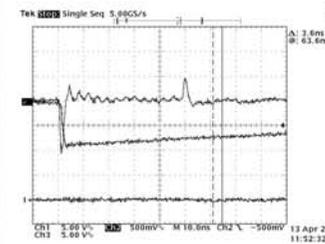
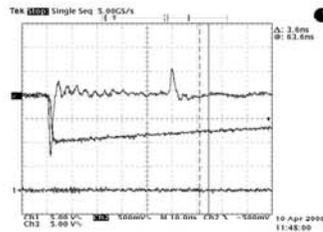
Институт Электрофизики

W
 $p=0.15 \text{ atm}$

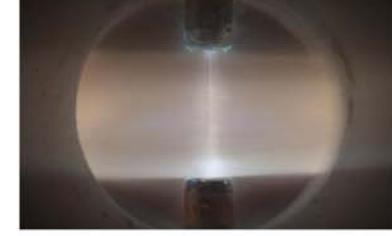
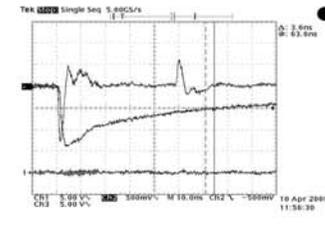
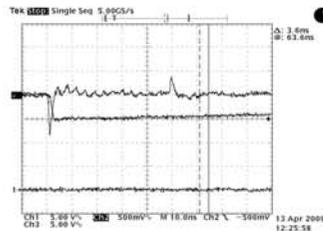


$p=0.787 \text{ mm Hg}$

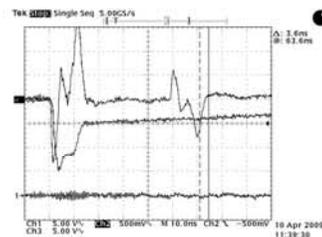
$p=1.5 \text{ mm Hg}$



$p=0.412 \text{ mm Hg}$



$p=0.12 \text{ mm Hg}$

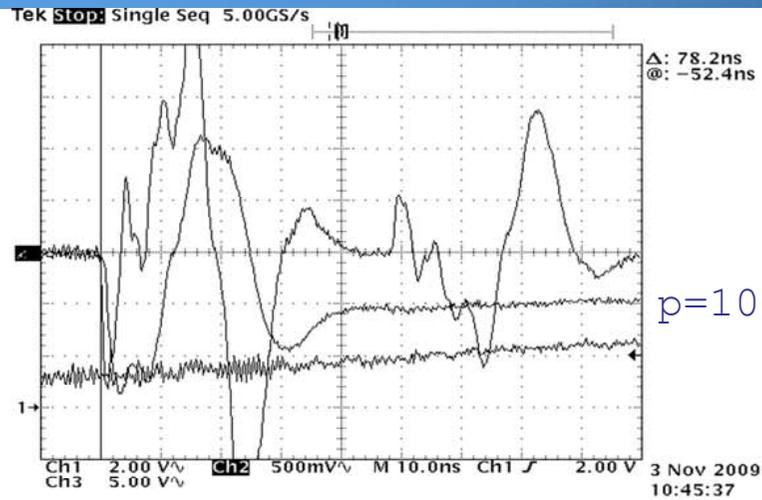


$p=0.3 \text{ mm Hg}$

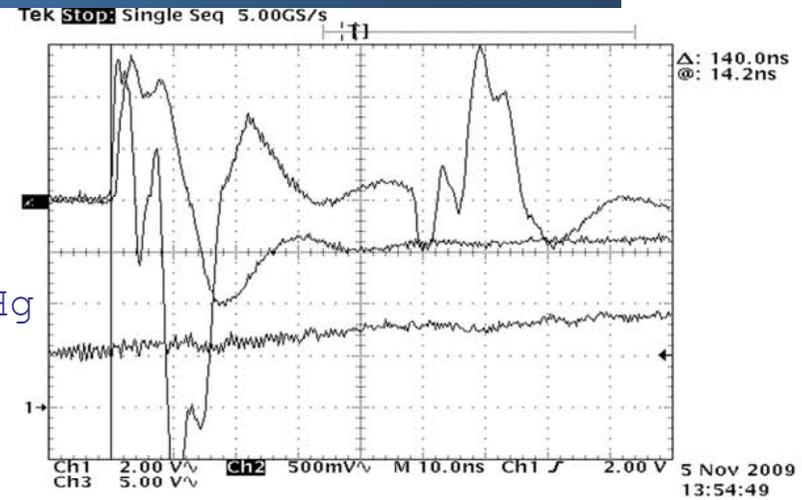
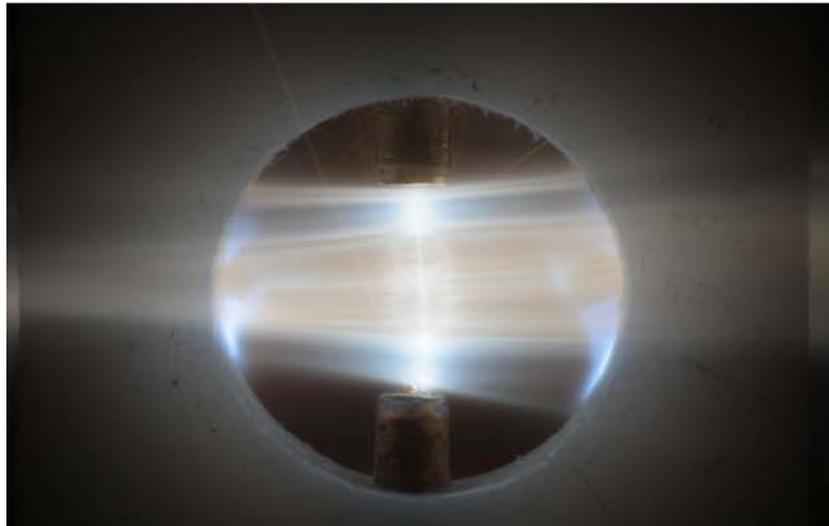


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

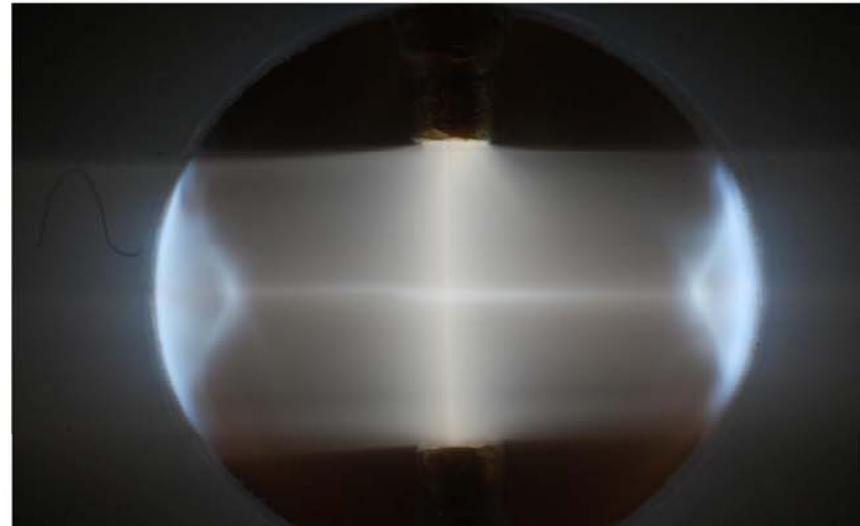
Институт Электрофизики



iso 100

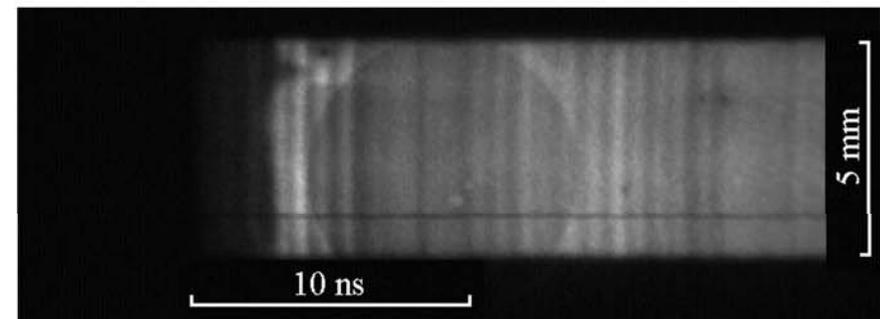
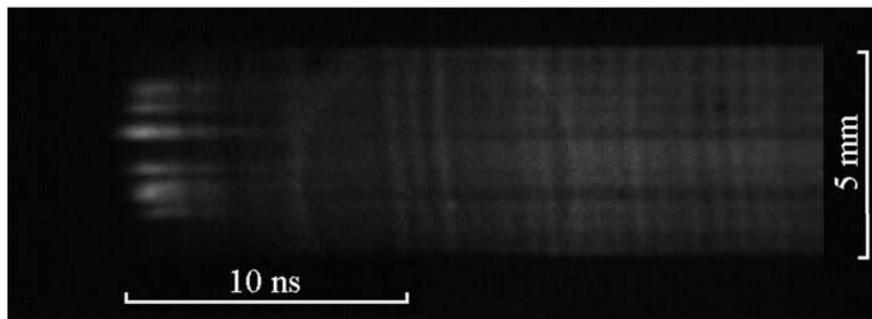
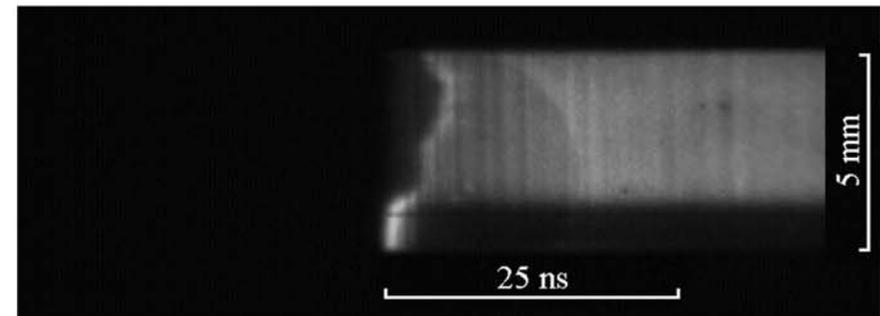
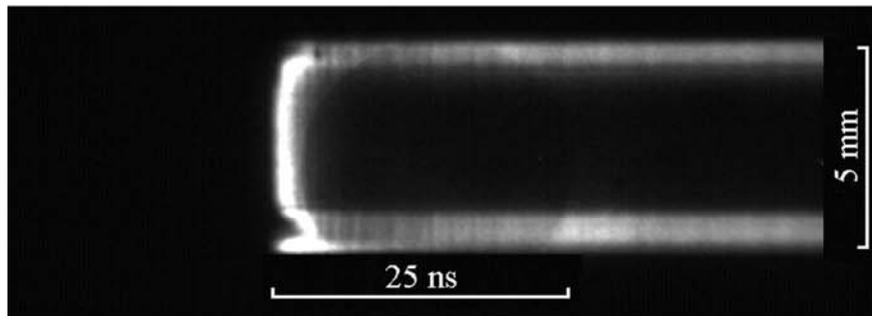
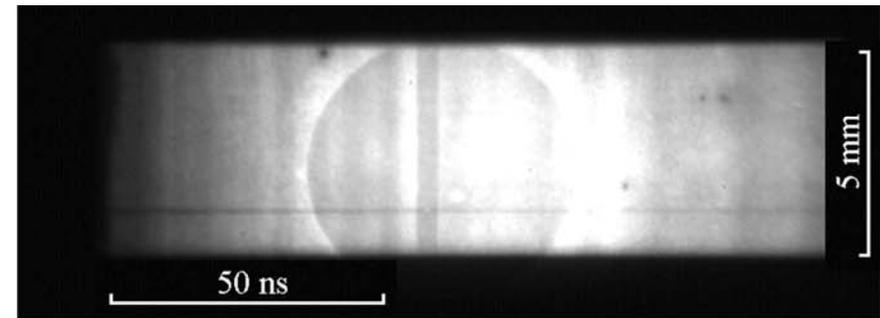
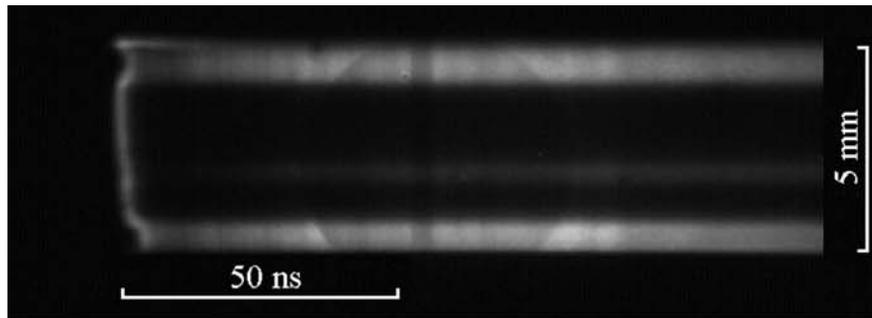


iso 100, диафрагма + HC7 D=1



Слева – отрицательная, справа – положительная полярность напряжения

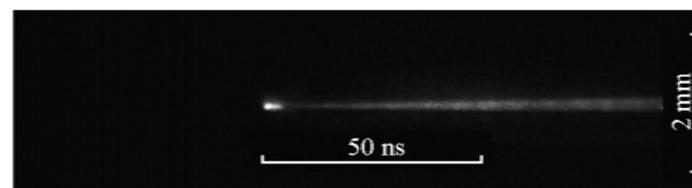
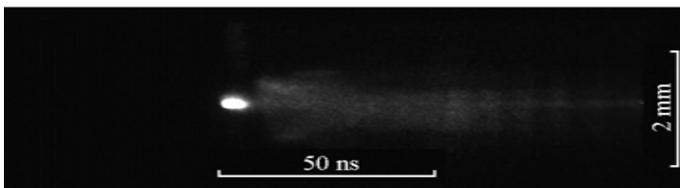
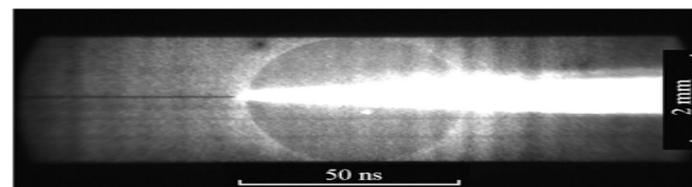
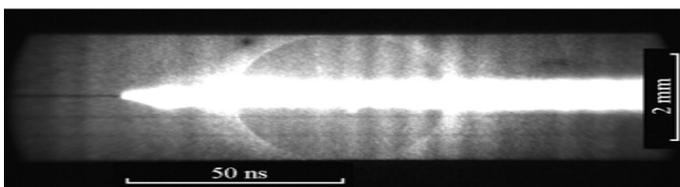
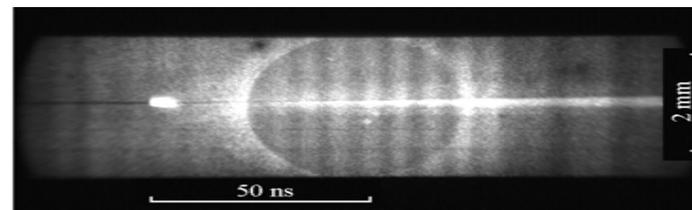
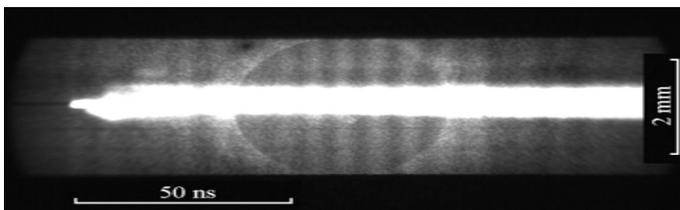
«Физика неидеальной плазмы – 2009», Москва, 30 ноября – 1 декабря 2009.



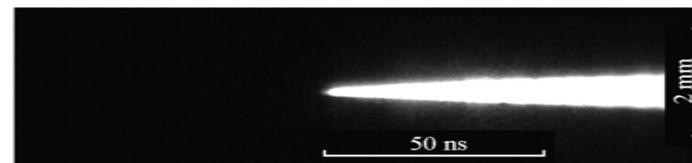
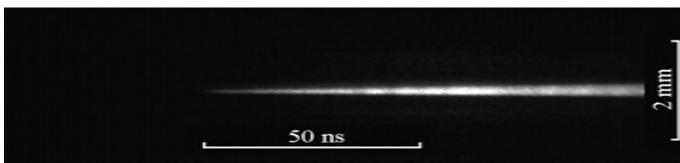
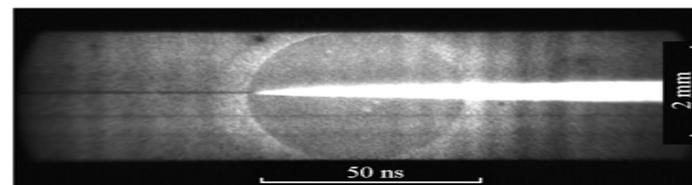
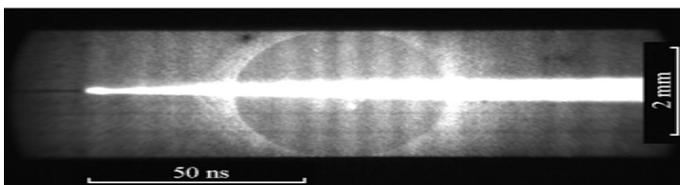
Временные развертки собственного свечения разряда, щель 0.5 мм ориентирована вдоль вольфрамовой проволоочки.



анод



катод



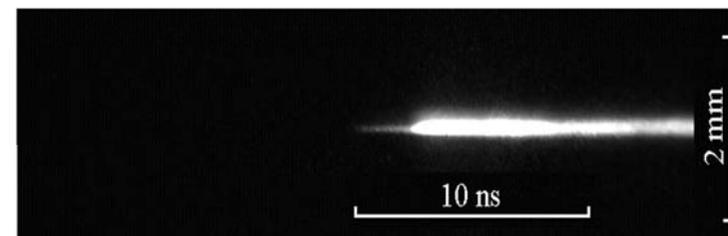
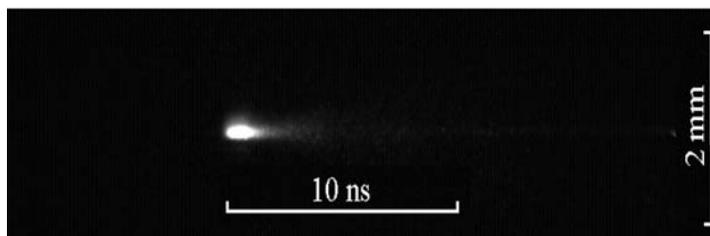
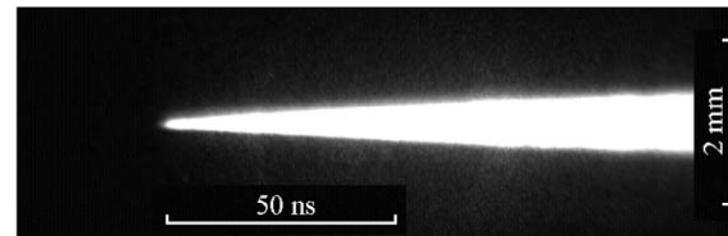
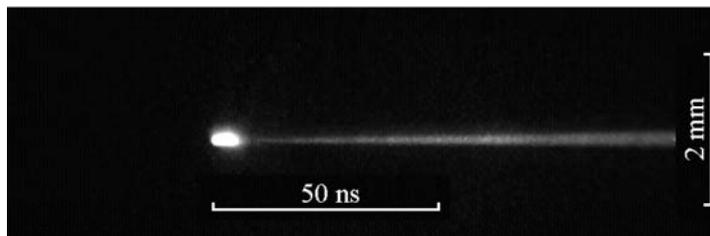
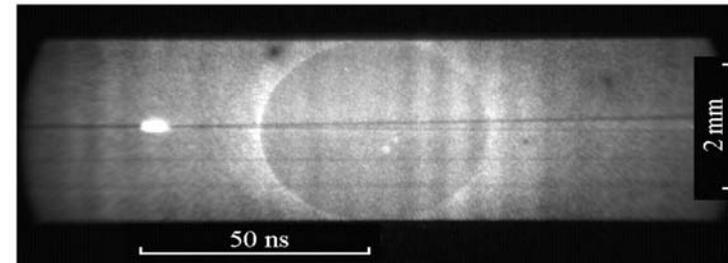
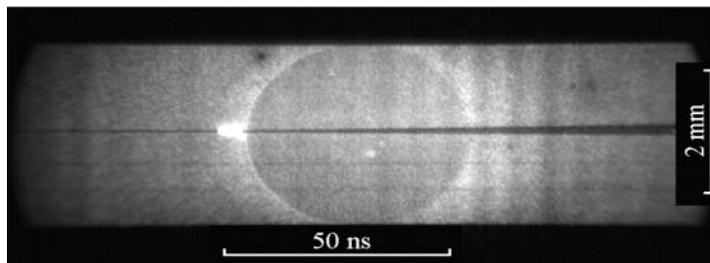
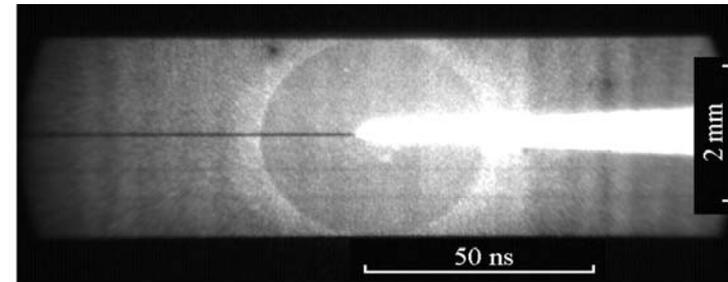
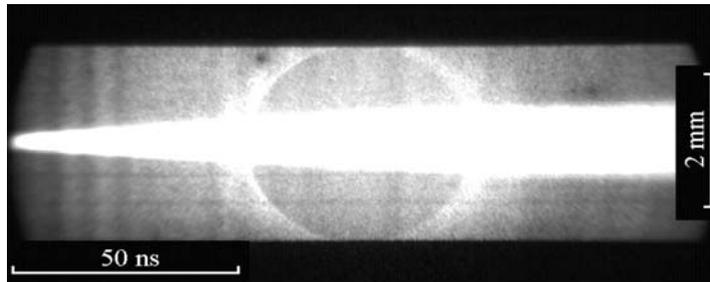
ИСШ 400

ИСШ 400

Временные развертки свечения разряда у электродов; щель 0.5 мм ориентирована поперек вольфрамовой проволоочки.



ИСШ 400



Временные развертки свечения разряда в центральной части разрядного промежутка; щель 0.5 мм ориентирована поперек вольфрамовой проволоочки.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Существенную роль в разрушении микропроводников и образовании структуры плазменного канала играют термоавтоэлектронные процессы на их поверхности.
2. Плазменная корона, перехватывающая на себя электрический ток, образуется не только в разряде на тугоплавкие, но и легкоплавкие проводники микронного размера.
3. Плазменные каналы имеют сложную, существенно трехмерную структуру, формирующуюся, по нашему мнению, в результате конвективных магнитогидродинамических неустойчивостей и термоавтоэмиссионных процессов на поверхности.
4. Яркость свечения плазменного канала в разряде на вольфрамовую проволочку существенно выше яркости плазменного канала в разряде на медную проволочку. Спектр излучения вольфрамовой плазмы в основном непрерывный, а медной – линейчатый. В спектре медной плазмы преобладают линии нейтралов и однократно заряженных ионов.
5. Скорость расширения керна продуктов взрыва вольфрамовых проволочек существенно ниже скорости расширения керна продуктов взрыва медных проволочек.



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт Электрофизики

***Спасибо за
внимание!***

«Физика неидеальной плазмы – 2009», Москва, 30 ноября – 1 декабря 2009.