

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДИЭЛЕКТРИКА НА РОСТ ЭМИССИИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

Е.Ю. Зыкова, К.Ф. Миннебаев, К.Е. Озерова, Н.Г. Орликовская, Э.И. Рау, А.А. Татаринцев
Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: tatarintsev@physics.msu.ru

Экспериментально было показано [1, 2], что если поверхность массивного диэлектрика заряжается до высокого положительного потенциала, то коэффициент ионно-ионной эмиссии значительно возрастает.

Представленные экспериментальные исследования проводились на установке, представленной на рис. 1. Пучок ионов Ar^+ с энергией 1–10 кэВ сформированный на выходе источника (дуоплазматрон Арденне 1), облучал диэлектрический образец 2, находящийся на металлической подложке 3 и изоляторе 4 внутри экранирующего заземленного корпуса 5. Часть расплывших и отраженных ионов попадала в ионный спектрометр 6, на выходе которого энергетически отфильтрованные ионы регистрировались МКП-детектором, сигнал I_s с которого поступал на персональный компьютер для запоминания и обработки. Одновременно на компьютер подводился сигнал с подложки $I_2=I_{L+d}$ характеризующий ток утечки и ток смещения. Установленная в вакуумной камере турель позволяла сдвигать спектрометр в сторону и на его место устанавливать полусферический коллектор эмитированных частиц 8, сигнал с которого $I_1=I_\sigma$ также подавался на компьютер. Остаточный вакуум в камере составлял $1 \cdot 10^{-6}$ торр.

Из рис. 2 видно значительное увеличение коэффициента ионно-ионной эмиссии для массивных диэлектрических мишеней в процессе зарядки ионными пучками. В наших экспериментах коэффициент выхода положительных ионов из диэлектрических материалов лежит в диапазоне от 0,2 до 1, что является высоким значением. Так как после установления значительного потенциала поверхности V_s , значение падающей энергии ионов $E_L=E_0-qV_s$, то есть фактическая энергия бомбардирующих ионов Ar^+ равна всего лишь нескольким сотням эВ (до 1 кэВ). То есть в процессе зарядки должно происходить уменьшение коэффициента расплывания. Однако, парадоксально, что в этой ситуации коэффициент ионно-ионной эмиссии равен достигает большого значения ($0.9 \cdot I_0$). Такая ситуация справедлива для разных образцов – SiO_2 , сапфир, тефлон и другие.

Для выяснения причины такого роста эмиссии были выдвинуты следующие предположения :

1. Измеренный ток с полусферического коллектора увеличивается, за счет вторичных электронов, выбитых из ионами. Для нивелирования этого аппаратного эффекта на коллектор подавался потенциал +40 В, а кроме того была поставлена антидинаatronная сетка, на которую подавался отрицательный запирающий потенциал -50 В.
2. Было предположено, что увеличения вероятности ионизации вышедших ионов связано с поверхностным потенциалом. Для проверки этого эффекта была изготовлена серия плёночных образцов SiO_2 на Si толщинами 50 нм, 100 нм, 250 нм, 430 нм, 760 нм, 1110 нм, 1420 нм. При этом если в процессе зарядке пробойной напряжением превысит электрическую прочность материала, то образуется пробой и потенциал на поверхности будет нулевой или значительно уменьшиться за счет утечки через толщину образца. Таким образом, получается, что происходит расплывание одного и того же материала образца, но под разными поверхностными потенциалами. Это позволяет оценить влияние поверхностного потенциала на эмиссию. На этом предположении и сфокусировано данное исследование.
3. Другой возможностью является увеличения парциального коэффициента расплывания частиц поверхности непосредственно в ионном состоянии. Это является темой отдельного исследования и не входит в представленный доклад.

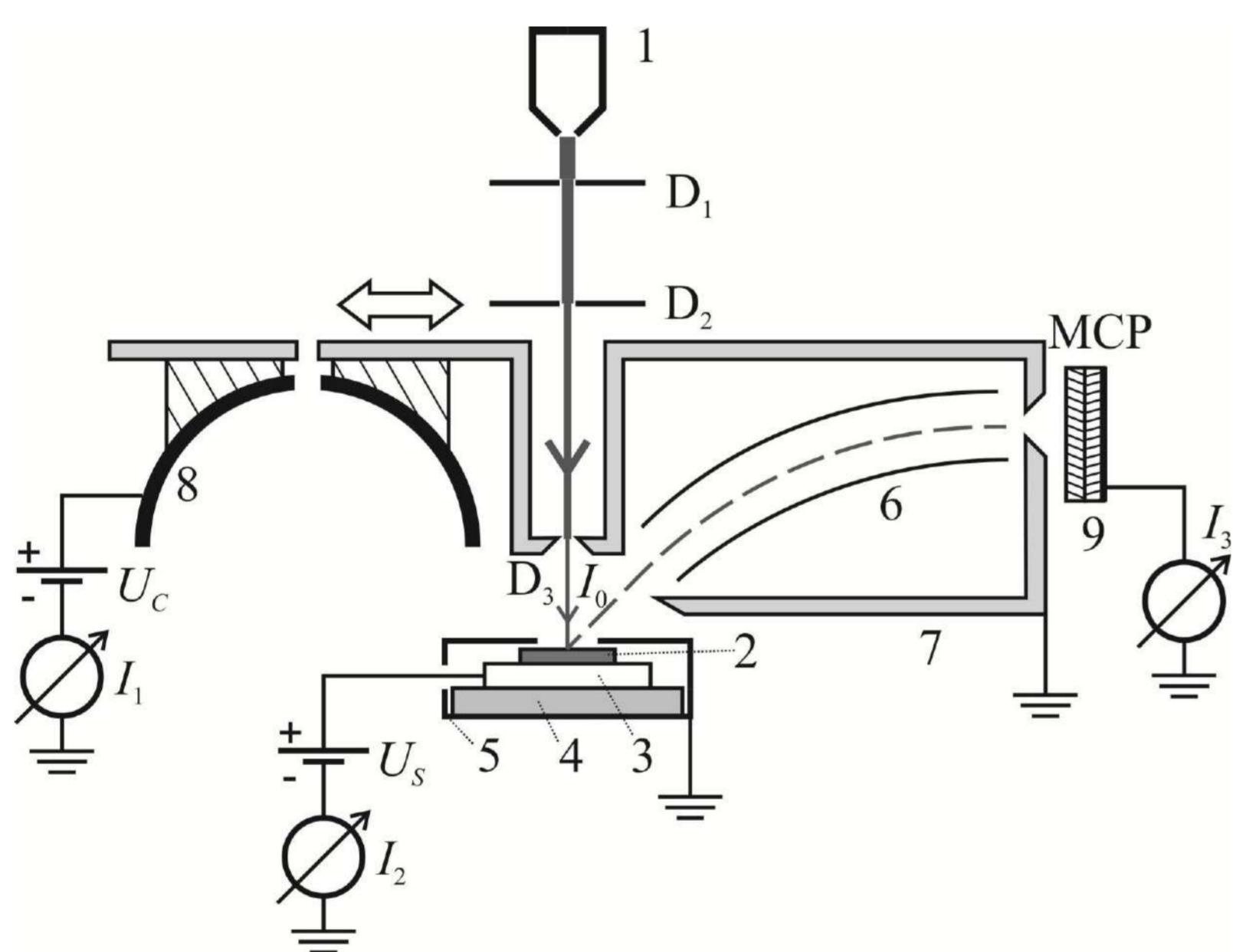


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – ионная пушка, 2 – диэлектрическая мишень, 3 – металлическая подложка, 4 – изолятор, 5 – корпус экранирующей камеры образцов, 6 – тороидальный секторный энергоанализатор заряженных частиц, 7 – корпус энергоанализатора-спектрометра, 8 – полусферический коллектор, 9 – микроканальная пластина детектор (МКП), D_1 , D_2 , D_3 – коллимирующие диафрагмы.

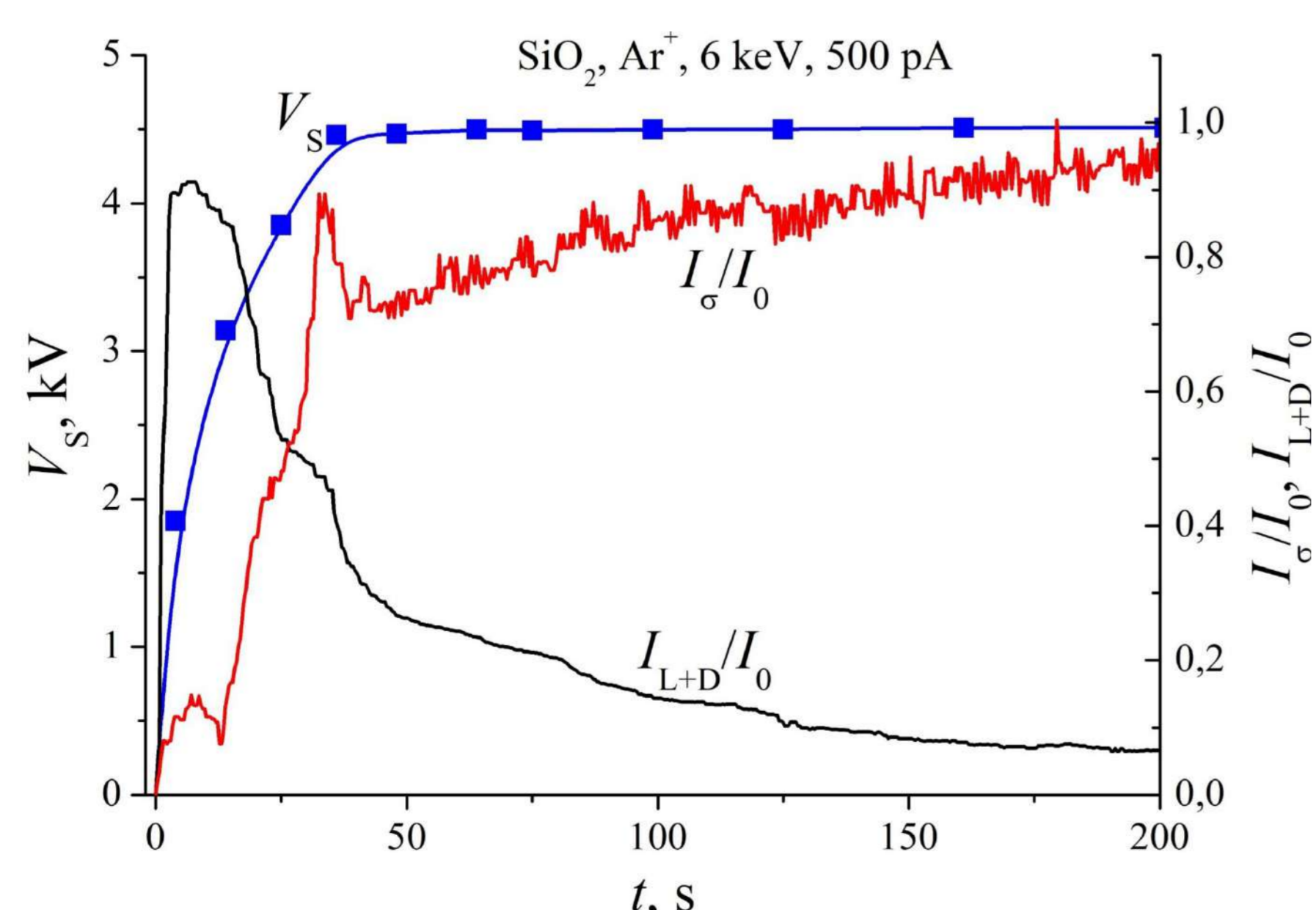


Рис. 2. Зависимости поверхностного потенциала V_s , тока с полусферического коллектора I_σ/I_0 и тока с подложки образца I_{L+d}/I_0 нормализованного на ток первичных ионов $Ar^+ I_0 = 500$ пА. Энергия ионов 6 кэВ. Образец: SiO_2 толщиной около 1 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. К.Ф. Миннебаев, А.А. Татаринцев Э.И. Рау // ФТТ, 2019, т. 61, № 6, с. 1090.
2. E.I. Rau, A.A. Tatarintsev, E.Yu. Zyкова, K.E. Ozerova, K.F. Minnebaev. // Vacuum, 2020, V. 177, 109373.

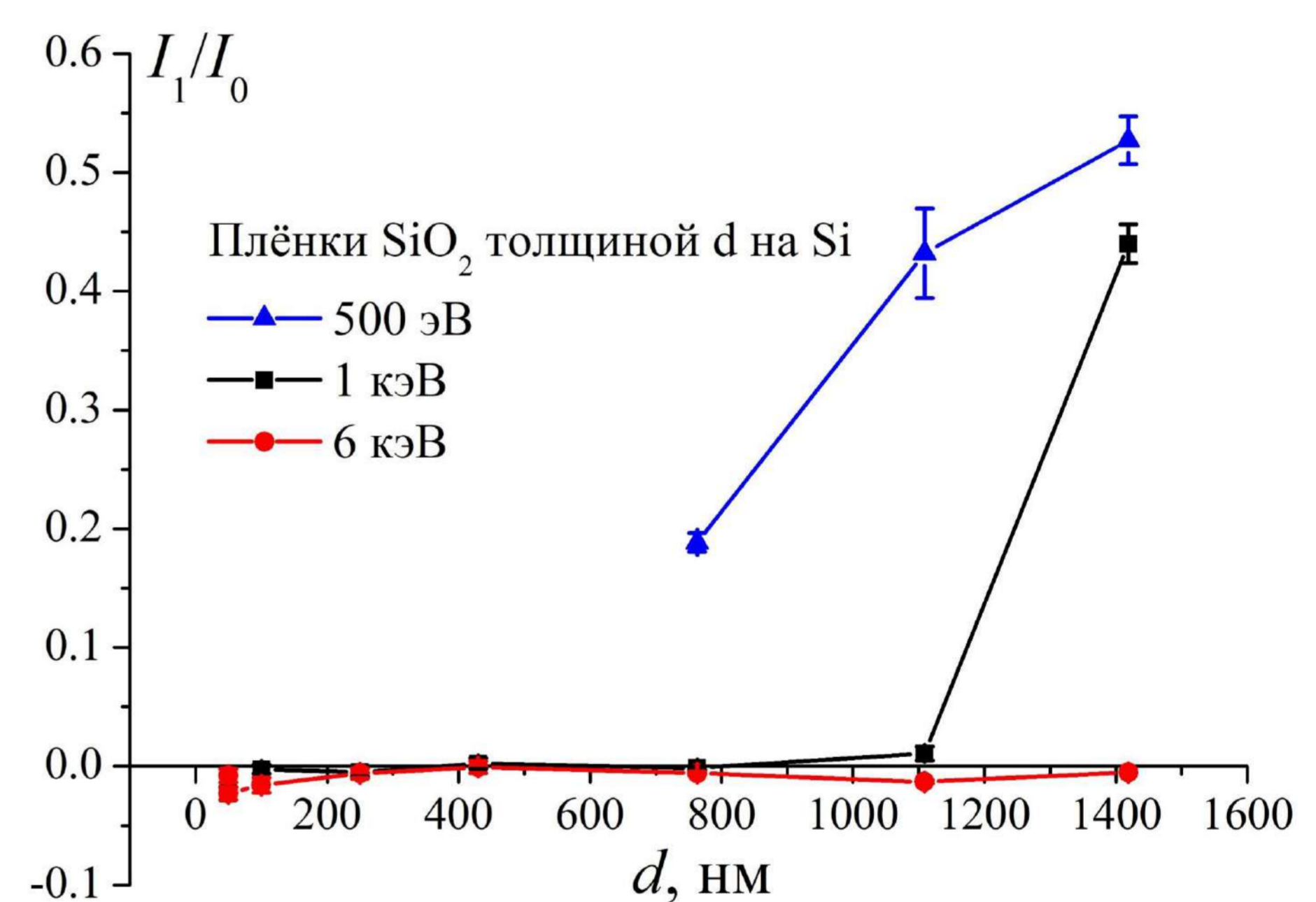


Рис. 3. Зависимость отношения тока с полусферического коллектора к падающему току I_1/I_0 от толщины плёнок SiO_2 на Si для разных энергий падающих ионов Ar^+ : 500 эВ, 1 кэВ и 6 кэВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из рис. 3, значительное увеличение отношения тока с полусферического коллектора к падающему току I_1/I_0 от толщины плёнок SiO_2 на Si происходит для энергии падающих ионов 500 эВ уже при толщине плёнки 760 нм. В то время для энергии падающих ионов 6 кэВ при плёнок даже для плёнок 1420 нм значение тока на полусферическом коллекторе отрицательно, что свидетельствует о регистрации тока электронов. При этом для таких параметров эксперимента наблюдается ток утечки с металлической подложке образца равный первичному току ионов I_0 . Это свидетельствует о пробое плёнки. В дальнейшем будут проведены непосредственные измерения поверхностных потенциалов зарядки для этих условий эксперимента.

Таким образом, уже из представленных зависимостей видно существенное влияние потенциала поверхности на ток эмиссии ионов из диэлектрика. Это может быть связано с увеличением эффективной вероятности ионизации вышедших атомов.