

А.Д.Шпорин^{1,2}, О.М.Марченко¹, А.П.Евсеев^{1,2}, Е.А.Воробьева¹, Ю.В.Балакшин^{1,2},
Д.К.Миннебаев^{1,2}, А.А.Шемухин^{1,2}

¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
²Физический факультет МГУ, Москва, Россия

Введение

Ионное облучение энергичными частицами может быть использовано для изменения структуры и свойств многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) путем создания дефектов. МУНТ обладают низким удельным сопротивлением, сопоставимым с проводящими материалами. Во время облучения ионами происходит модифицирование наноструктуры, что существенно влияет на ее проводимость.

В данной работе после облучения ионами образцов пресованных МУНТ изучалась зависимость вольт-амперных характеристик от дозы облучения, сделаны выводы об изменении удельной проводимости МУНТ. При помощи спектроскопии комбинационного рассеяния проанализировано разупорядочивание структуры МУНТ, приводящее к изменению проводимости. Из-за особенностей поверхности МУНТ изменение их проводимости также происходит в присутствии малых концентраций некоторых газов. Это делает возможной разработку чувствительных элементов, сенсоров химических веществ в окружающей газовой среде на основе МУНТ.

Материалы и методы

МУНТ, произведенные в ООО "НаноТехЦентр", г. Тамбов, были спрессованы ручным прессом в таблетки с размерами 1,6 см в диаметре и толщиной в 0,2 см. В данной работе использовались 2 типа нанотрубок: Таунит («Т») – МУНТ, имеющие внешний диаметр 20-50 нм, длиной более 2 мкм, Таунит-М («ТМ») – МУНТ, имеющие внешний диаметр 5-15 нм, длиной более 2 мкм.

Для изучения воздействия ионного облучения на структуру МУНТ на низкоэнергетическом имплантере ускорительного комплекса МГУ (рис.1) были проведены облучения ионами аргона с энергией 8 кэВ и флюенсом в размере от 10^{15} ион/см². Ускоритель ионов на энергии до 10 кэВ позволяет модифицировать приповерхностные слои образцов под действием ионного пучка. Магнитная масс-сепарация обеспечивает отсутствие примесных ионов в пучке. Давление в камере во время облучений не превышало 10^{-5} Па.

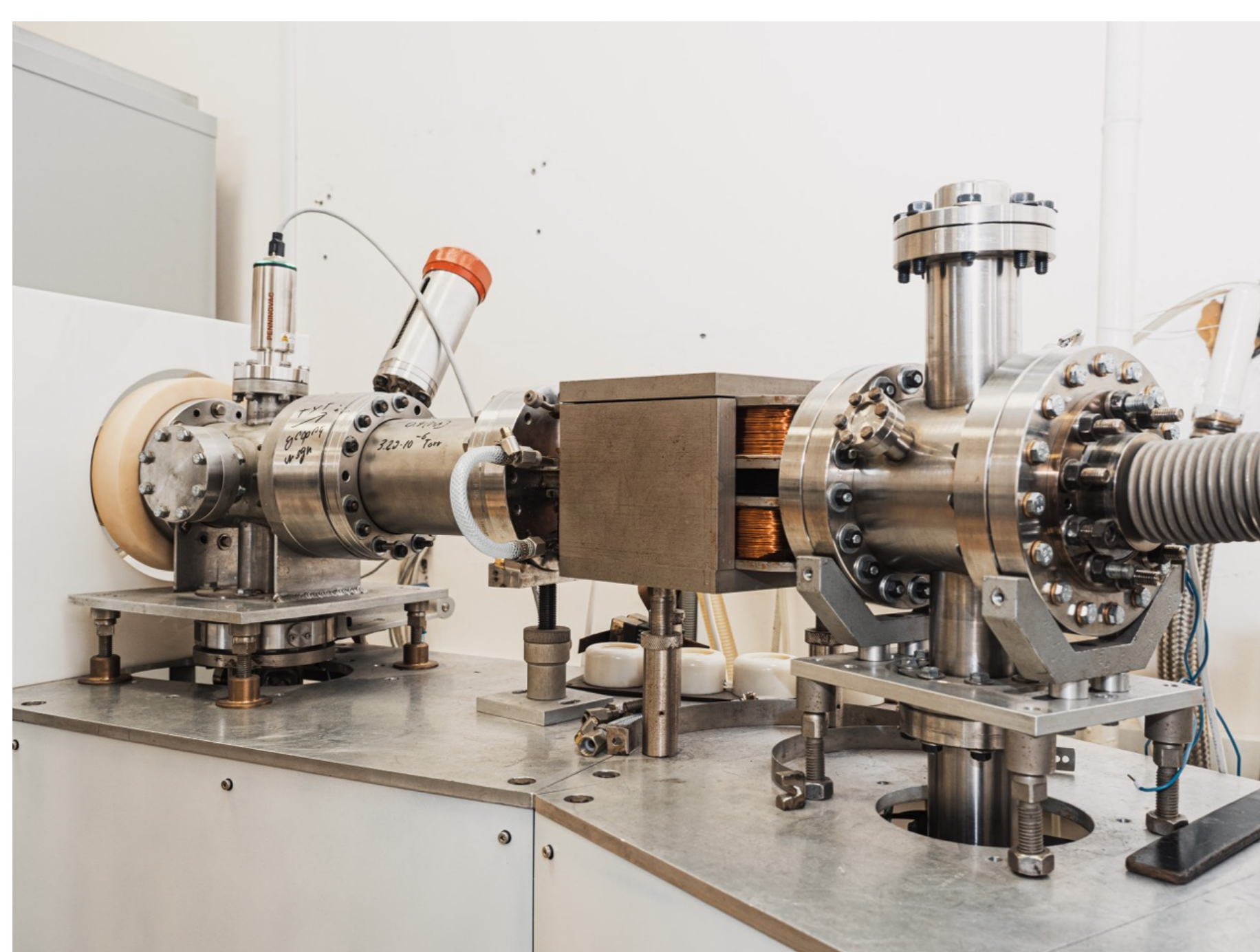


Рис. 1. Имплантер, ускорительный комплекс МГУ.

Результаты

Показано, что количество структурных дефектов в МУНТ значительно увеличилось. Установлено, что разупорядочение МУНТ серии Т после ионного облучения происходит интенсивнее ($I(D)/I(G) = 2.3604$) (рис.3), чем МУНТ серии ТМ ($I(D)/I(G) = 1.8558$) (рис.2).

С помощью моделирования экспериментов по измерению вольт-амперных характеристик образцов с помощью четырехзондового метода в COMSOL Multiphysics установлено влияние геометрии образцов-контакты (рис.4).

Получены вольт-амперные характеристики образцов углеродных трубок до и после облучения (рис.5). Показано, что после облучения МУНТ ионами аргона с энергией 8 кэВ и дозой 10^{15} ион/см² проводимость образцов Т уменьшалась с 2015 до 1780 1/(Ом м), в то же время проводимость образцов ТМ не изменилась (рис.6).

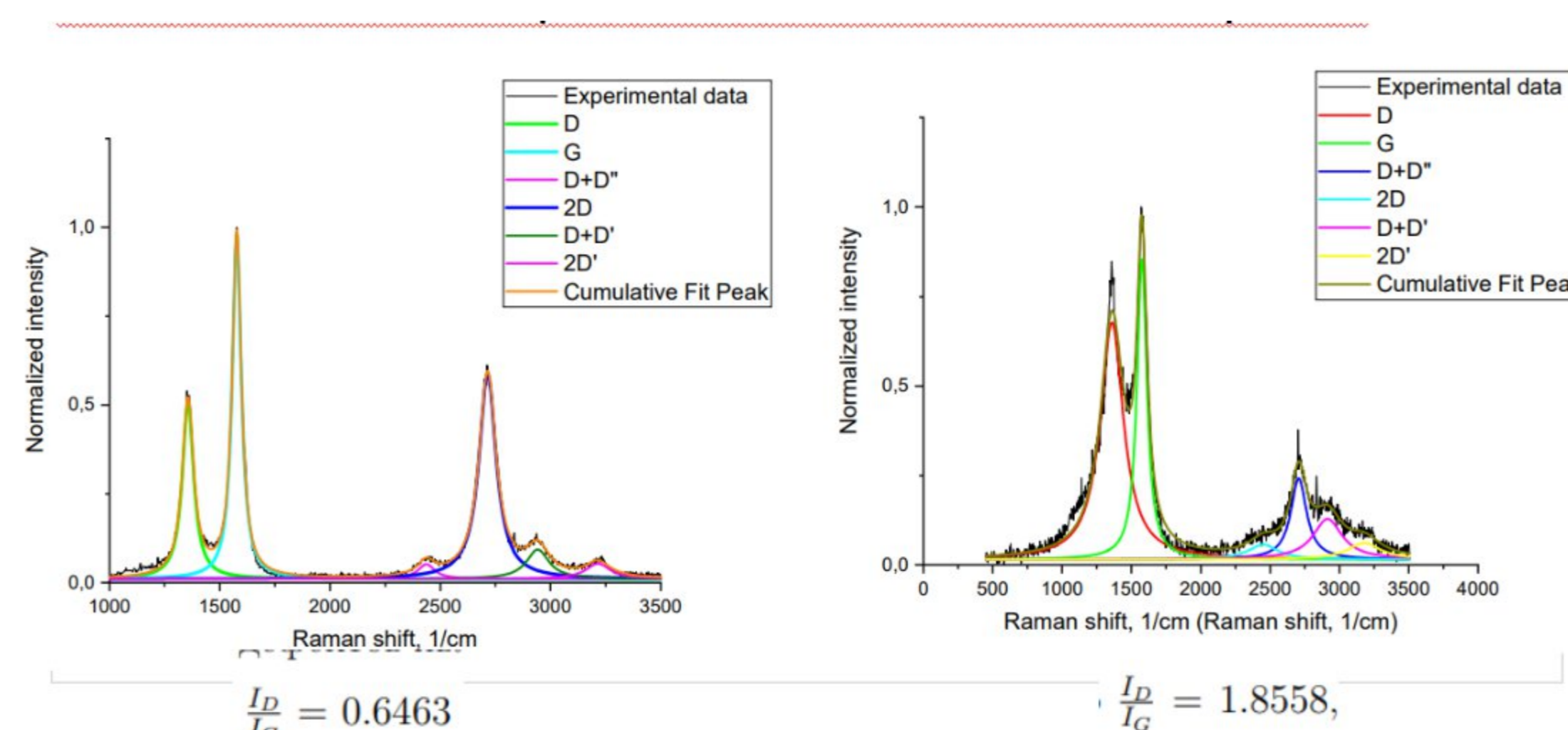


Рис. 2. Спектр комбинационного рассеяния света МУНТ серии Т.

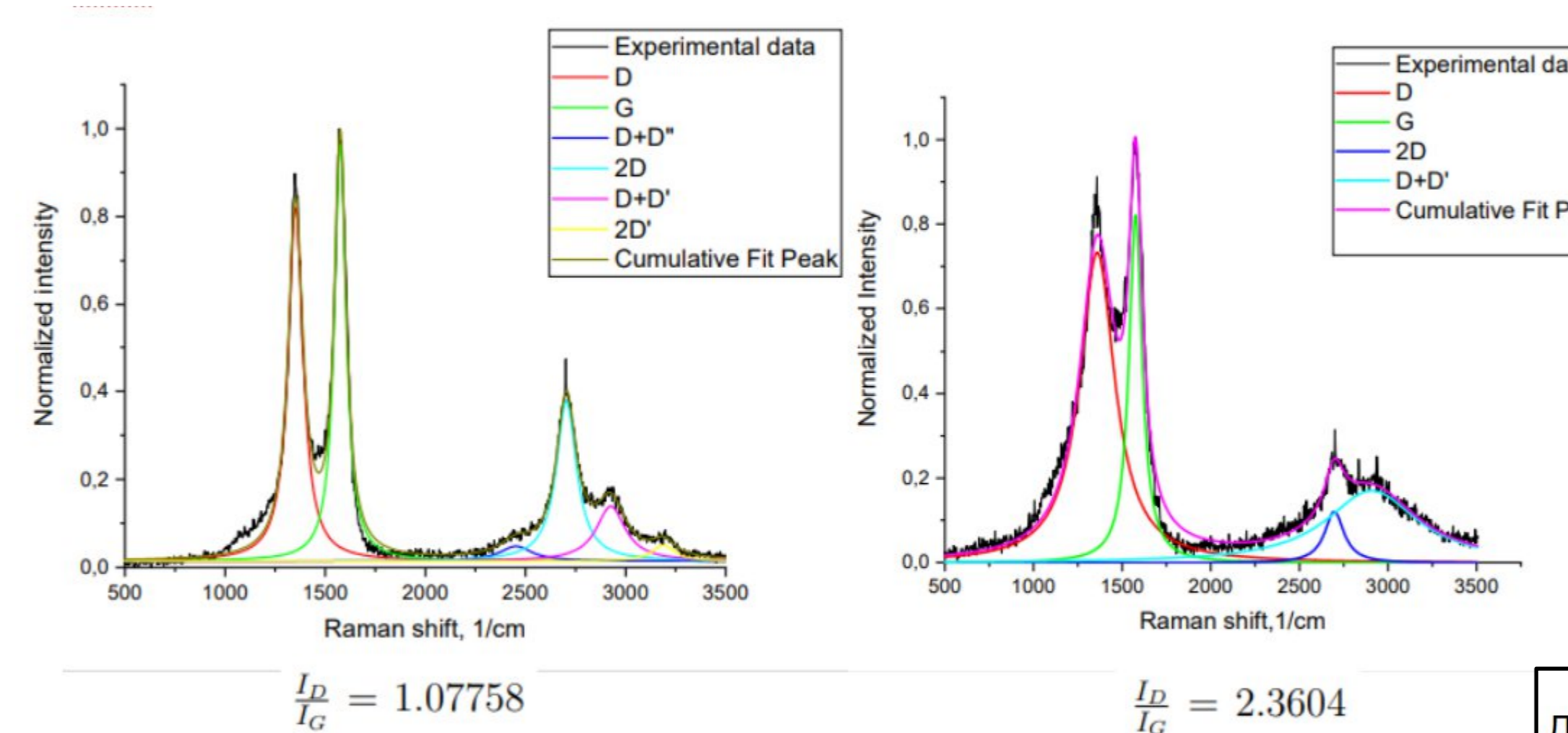


Рис. 3. Спектр комбинационного рассеяния света МУНТ серии ТМ.

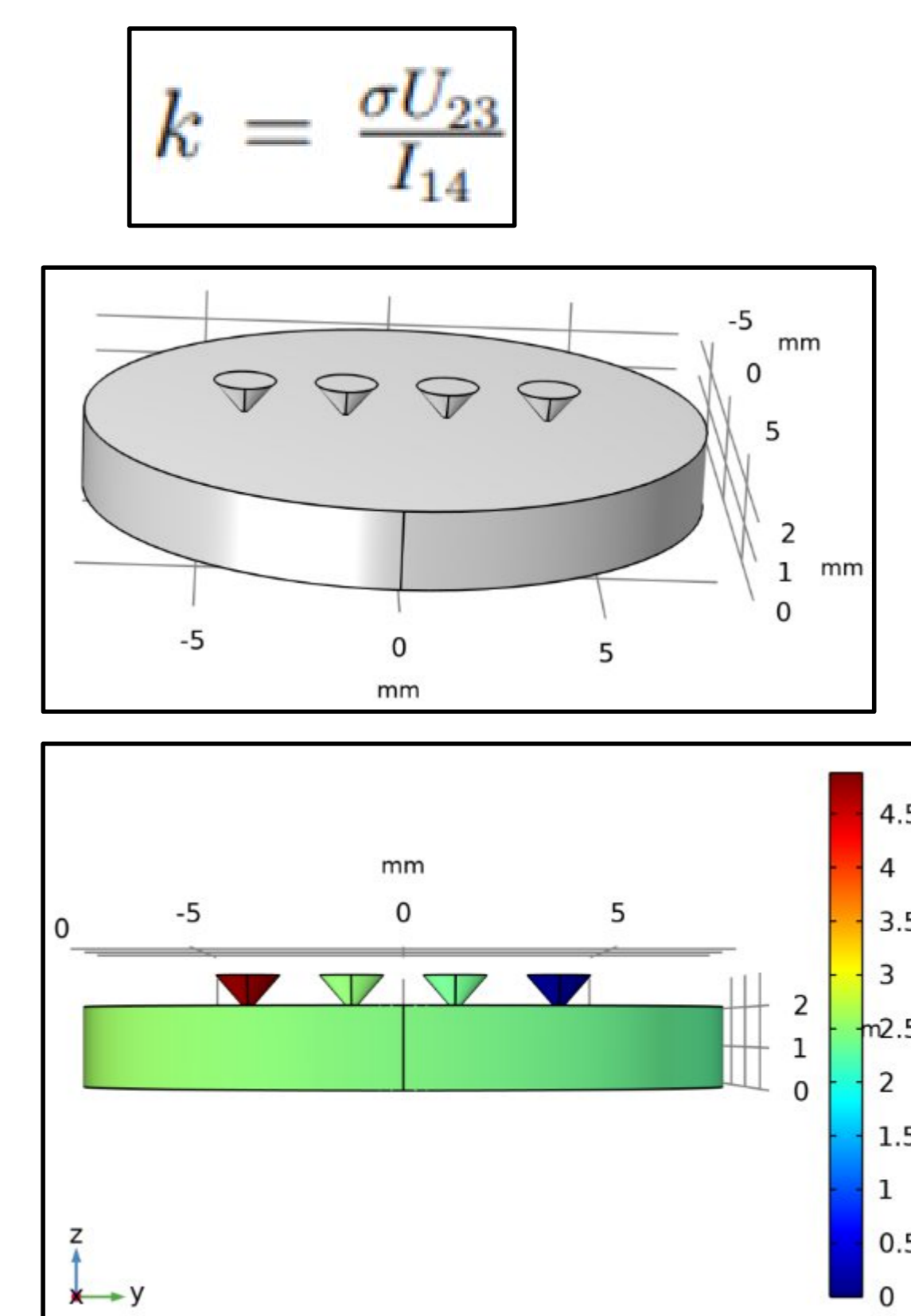


Рис.4 Моделирование с помощью Comsol Multiphysics.

$$\sigma = k/R \quad k = 138,9 \frac{1}{M}$$

До облучения	$\sigma^{TM} = 1389 \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma^T = 2015 \frac{1}{\text{Ом м}}$
После облучения	$\sigma^{TM} = 1389 \frac{1}{\text{Ом м}}$	$\sigma^T = 1780 \frac{1}{\text{Ом м}}$

Рис.6. Проводимость МУНТ до и после облучения.

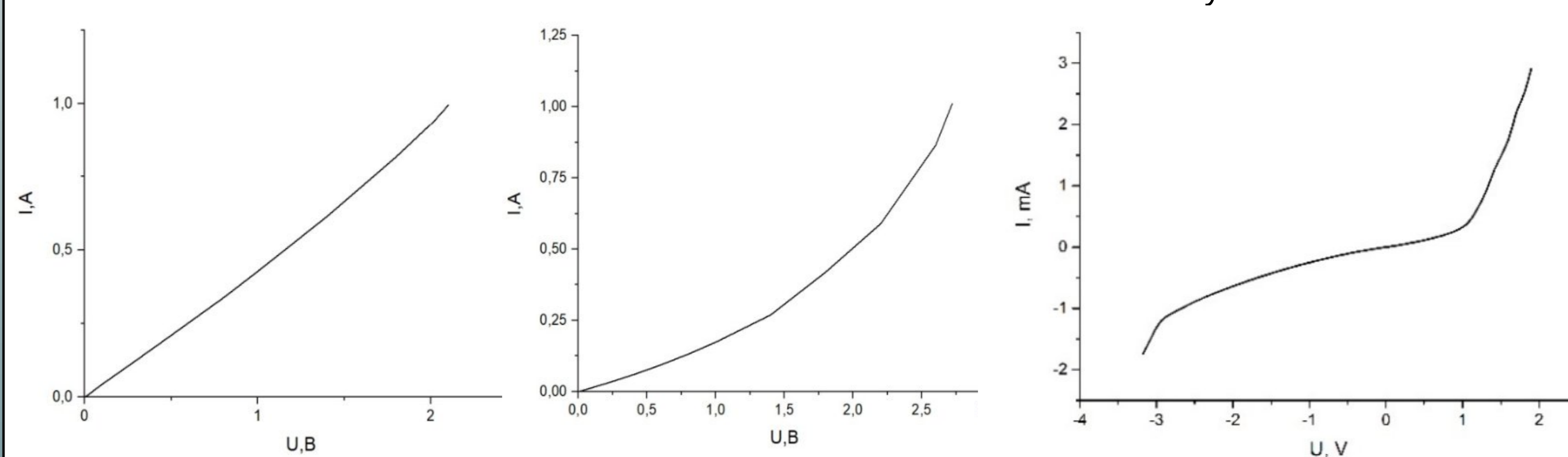
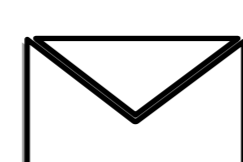


Рис.5. Вольт-амперная характеристика образца серии Т, до и после облучения.

Контакты

Шпорин Артем Дмитриевич
shporin.ad16@physics.msu.ru



МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия / MSU

Заключение

При дозе облучения аргоном 8 кэВ 10^{15} ион/см² количество дефектов в образцах «Т» выше, чем в «ТМ». Моделирование с использованием Comsol Multiphysics позволяет вычислять геометрический коэффициент образца. Экспериментально показано, что после облучения МУНТ ионами аргона с энергией 8 кэВ и дозой 10^{15} ион/см² углеродные трубки серии Т показывают характерное для стабилитрона поведение ВАХ. При этом у образцов серии ТМ осталась металлическая проводимость.