



# ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ C<sub>60</sub>

В.Е. Пуха<sup>1\*</sup>, Г.В. Нечаев<sup>1</sup>, Е.Н. Кабачков<sup>1,2</sup>, Лукина И.Н.<sup>3</sup>, Дроздова Е.И.<sup>3</sup>, Черногорова О.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ ПХФ и МХ РАН, Черноголовка Россия

<sup>2</sup> ИФТТ РАН Черноголовка, Россия

<sup>3</sup> ИМЕТ РАН, Москва, Россия

\*) e-mail: [pve@icp.ac.ru](mailto:pve@icp.ac.ru)

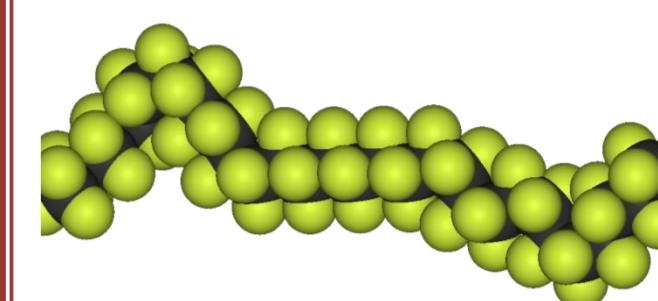
Фторсодержащие покрытия формировались облучением ионами C<sub>60</sub><sup>+</sup> с энергией 5 кэВ растущей пленки фторопласта. Показано, что облучение ионами C<sub>60</sub><sup>+</sup> позволяет получить высокий контактный угол смачивания фторуглеродных покрытий при приемлемых для трибологического применения механических свойствах.

## Материалы

Политетрафторэтилен фторопласт-4 Фторопласт марки «Флуралит» (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sub>n</sub>, с размером частиц 0,2 до 5 микрон. (ООО Флуралит синтез, Россия).

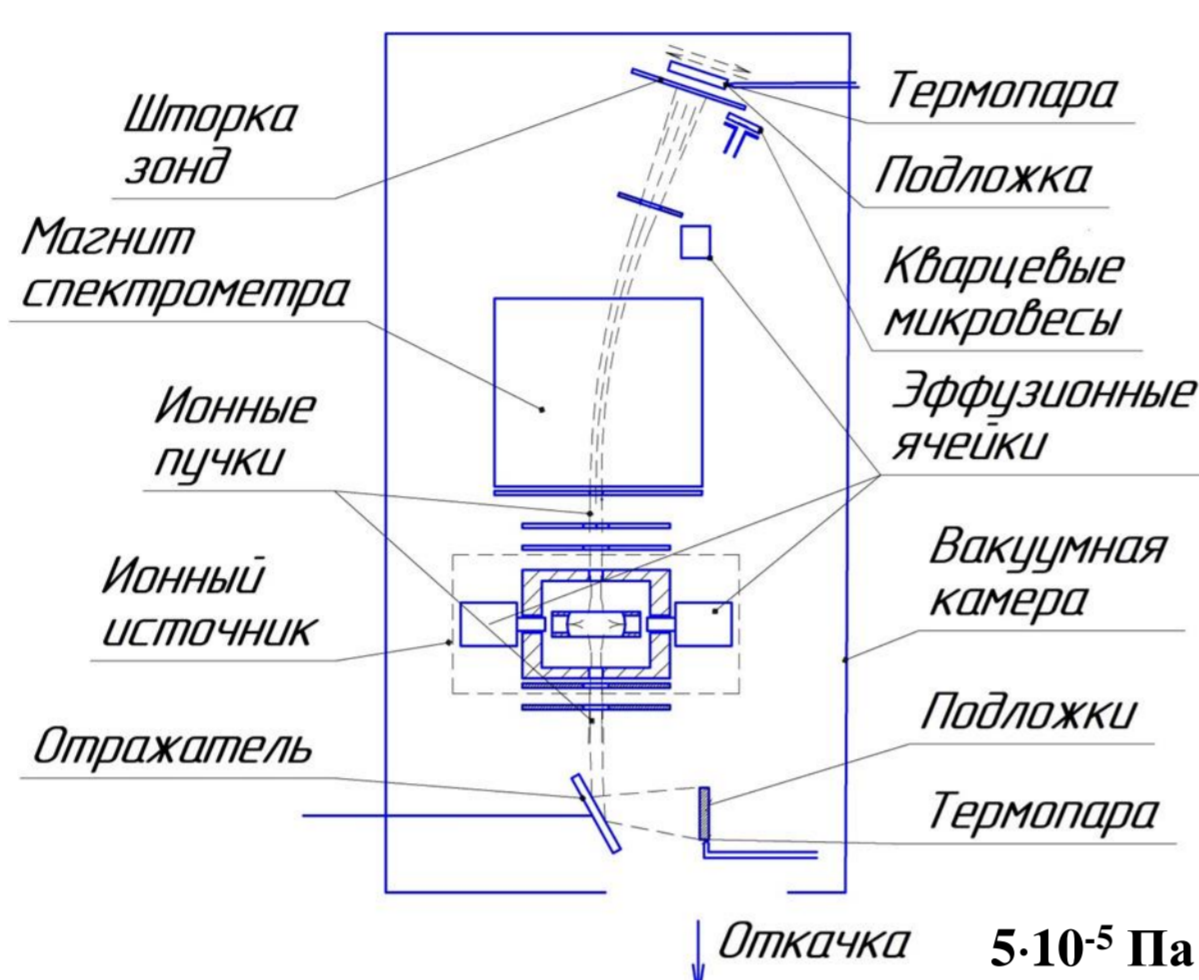
Разложения фторопласт-4 температура 415°C

Флуралит – начало испарения 140°C



## Эксперимент

Облучения ионами C<sub>60</sub><sup>+</sup> с энергией 5 кэВ растущей пленки фторопласта, которая осаждалась при испарении фторопласта марки «Флуралит» (ООО Флуралит синтез, Россия) из эффузионной ячейки



### Фуллерен C<sub>60</sub>

Пары C<sub>60</sub> из двух эффузионных ячеек подавали через отверстия в аноде непосредственно в седловидную область электрического поля.

В парах зажигался разряд, из него формировался ионный пучок который через масс-спектрометр направлялся на подложку

### Флуралит

Испарение из эффузионной ячейки. Контроль скорости испарения кварцевые микровесы.

**Соотношение** C<sub>60</sub><sup>+</sup> / (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sup>-</sup> – ионный ток (C<sub>60</sub><sup>+</sup>) и частота кварца (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sup>-</sup>. Калибровка кварца (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sup>-</sup> на Si. Толщина по ступеньке (АСМ). Начало испарения при Ts ~140°C. Неизменный ток ионов C<sub>60</sub><sup>+</sup> (3 мкА).

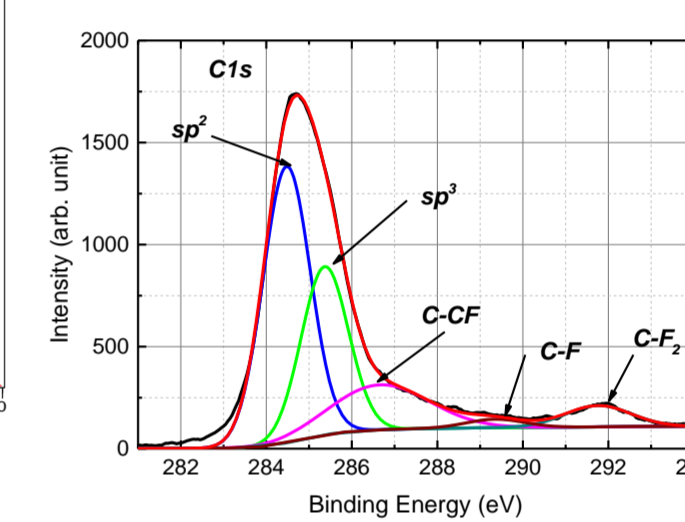
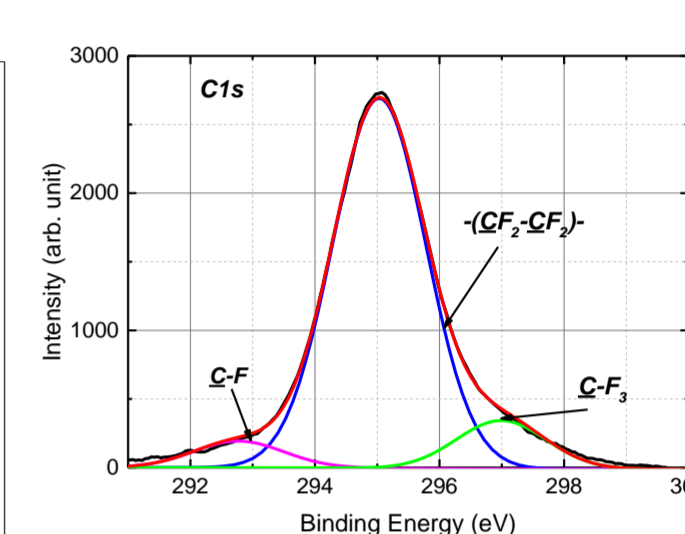
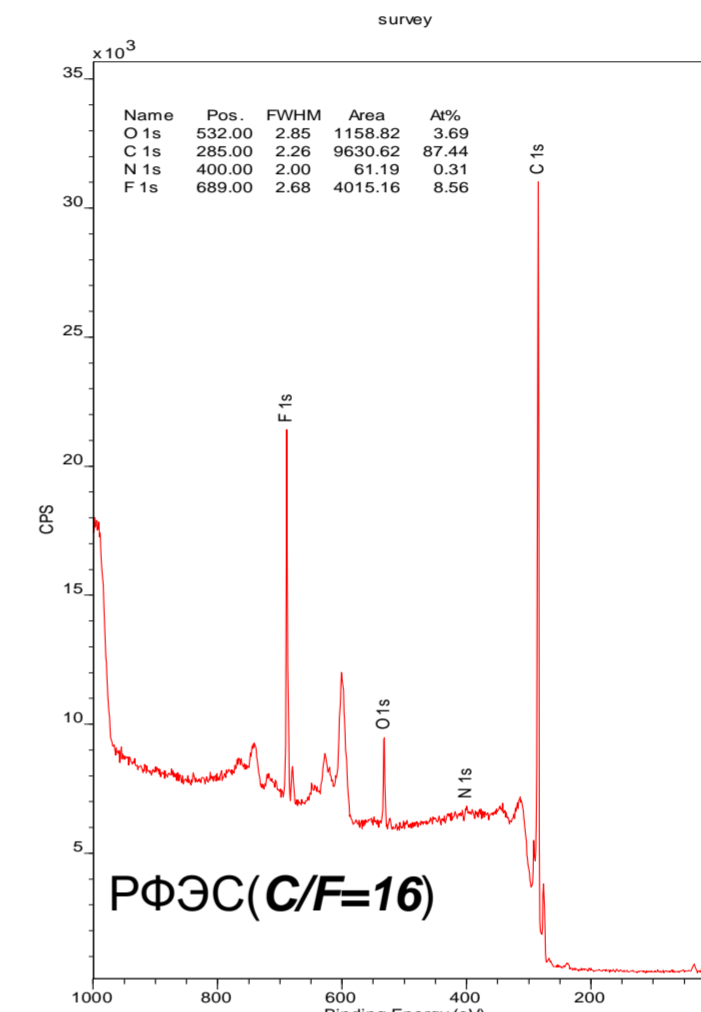
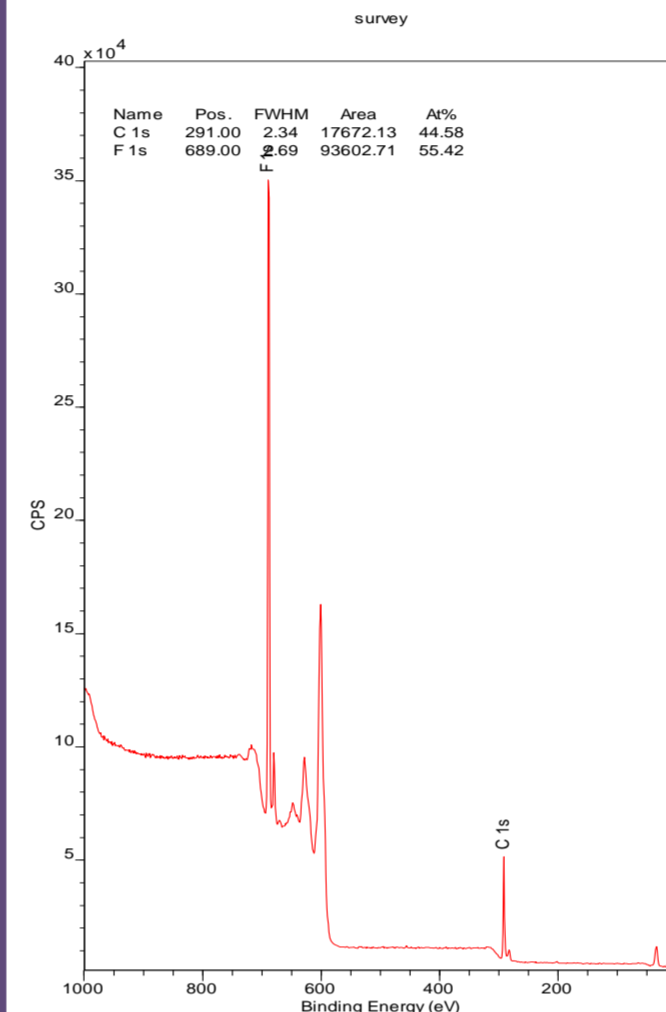
Покрyтия исследовались методами РФЭС, ПЭМ и КР. Механические свойства - индентированием.

## РФЭС

(-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)

C<sub>60</sub><sup>+</sup> / (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sup>-</sup>=1,2 (C/F=18,6)

Флуралит



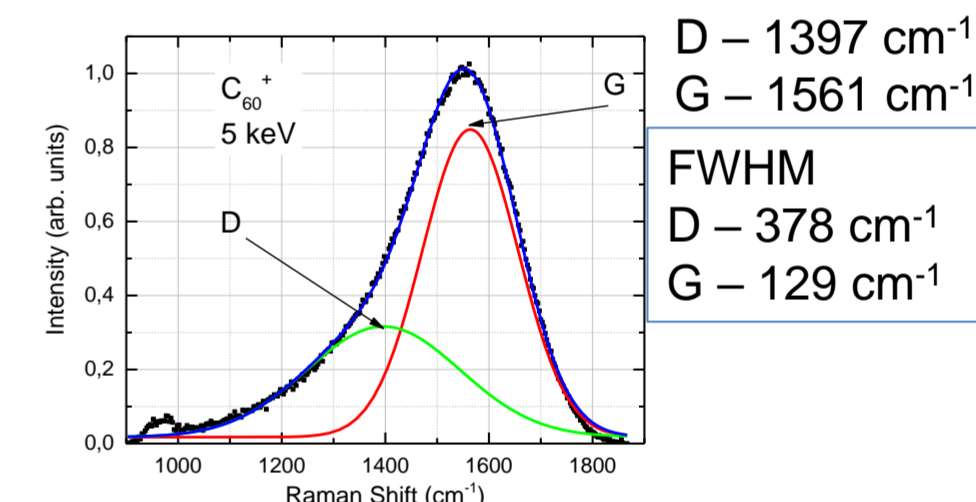
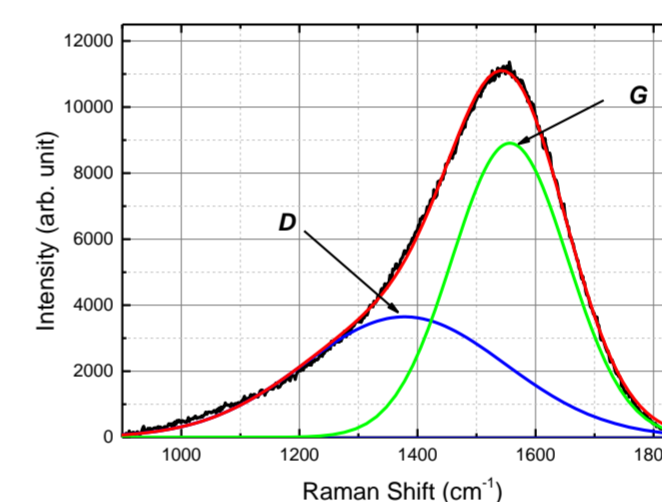
I(D)/I(G)=0,41

## Комбинационное рассеяние (КР)

I(D)/I(G)=0,37

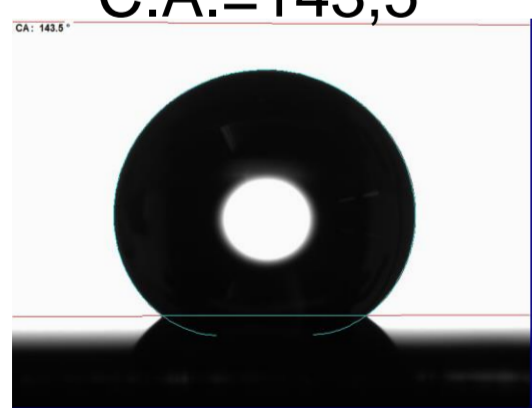
D – 1378 cm<sup>-1</sup>  
G – 1556 cm<sup>-1</sup>

FWHM  
D – 402 cm<sup>-1</sup>  
G – 230 cm<sup>-1</sup>

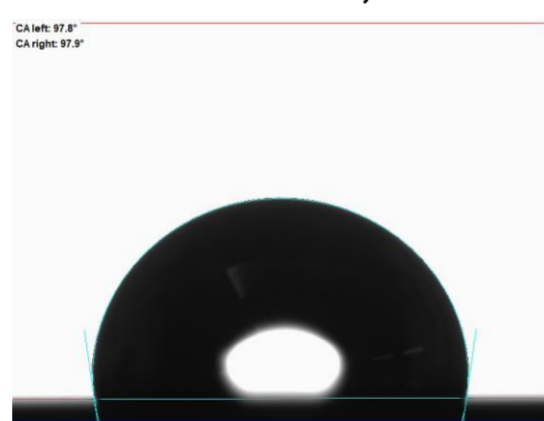


## Контактный угол смачивания

Флуралит на Si (покрытие)  
С.А.=143,5°



C<sub>60</sub><sup>+</sup> / (-C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>)<sup>-</sup>=1,2  
С.А.=97,9°



C<sub>60</sub> после MC  
С.А.=90°

C<sub>60</sub> без MC  
С.А.=87°

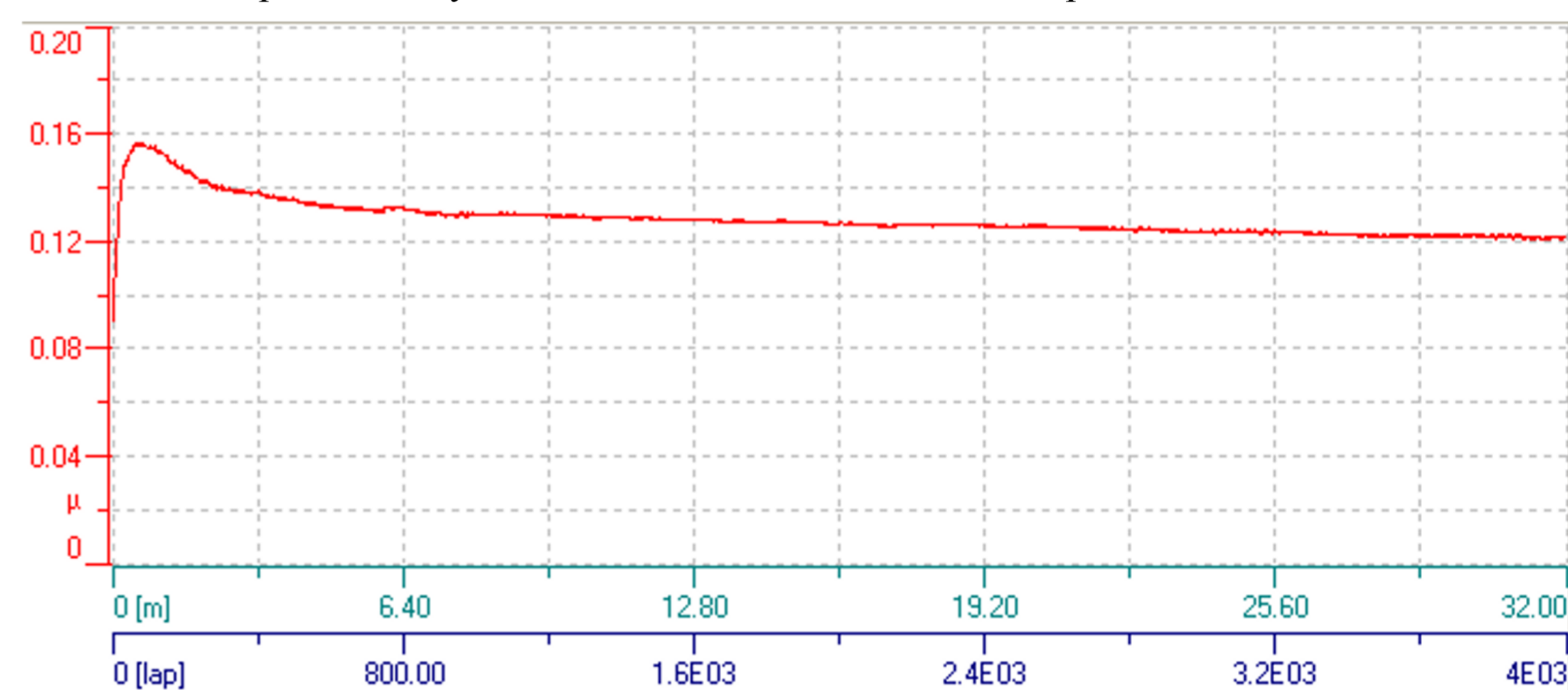
## Механические свойства

Облученные ионами C<sub>60</sub><sup>+</sup> покрытия при содержании фтора ~8% ат., имели H=32 ГПа и E= 210 ГПа.

## Свойства

## Трибология

Возвратно-поступательное движение по схеме “шарик-пластина”



Длина дорожки 4 мм  
Прикладываемая нагрузка 0,5 Н  
Максимальная скорость 0,40 см/с  
Контртело Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> D 3 мм  
Износ <10<sup>-7</sup>·мм<sup>3</sup>/Н/м  
Пробег циклов 4 000  
Среда воздух

## Заключение

1. Фторсодержащие покрытия сформированы при облучения ионами C<sub>60</sub><sup>+</sup> с энергией 5 кэВ растущей пленки фторопласта и содержат ~8 ат.% фтора.
2. В покрытиях обнаружено относительно высокое содержание sp<sup>3</sup> связей (sp<sup>3</sup>/sp<sup>2</sup> ~ 0,64), что обеспечивает высокие механические свойства (твердость H=32 ГПа и модуль Юнга E= 210 ГПа).
3. Измерение характеристик смачивания показало, что контактные углы (С.А.) сформированных из ионов C<sub>60</sub> С.А. ~90°, а для фторопластовой пленки, облученной ионами C<sub>60</sub> (8 ат. % фтора) С.А. ~98°. Необлученное фторопластовое покрытие имело контактный угол 144°.
4. Трибологические испытания показали низкий износ покрытий (< 10<sup>-7</sup>·мм<sup>3</sup>/Н/м) при коэффициенте трения близком к 0,15.