

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ И СПЕКТРОСКОПИИ

# Лазерная атомно- эмиссионная спектроскопия полимеров

Курсовая работа  
студента 4 курса 4 группы  
**Фесько С.В.**

Научный руководитель:  
кандидат физ.-мат. Наук  
доцент  
Ермалицкая К.Ф.

Минск, 2019

# Актуальность исследования

**Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия** является одним из наиболее перспективных методов малодеструктивного элементного анализа различного рода объектов, т.к. обладает целым рядом преимуществ:

- Малая деструкция поверхности образца – диаметр кратера на поверхности ~50-100 мкм, глубина – несколько десятков мкм.
- Малые количества вещества, необходимые для исследования  $\sim 10^{-10}$ - $10^{-11}$  г.
- Высокая чувствительность метода – определение концентраций элементов на уровне  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  %.
- Возможность анализа любых типов веществ (металлы, диэлектрики, проводники), находящихся как в твердой фазе, так и в виде растворов.
- Слабая зависимость процессов испарения и абляции от физико-химических свойств материалов.
- Отсутствие необходимости предварительной химической и механической подготовки образца к анализу.
- Определение концентрации элементов труднодетектируемых другими методами (углерод, бериллий).

Практически отсутствуют научные работы, посвященные ЛАЭС такого широкого класса веществ, как полимеры, в частности нет исследований по определению содержаний тяжелых металлов и радиоактивных элементов в готовых полимерных изделиях.



# Цель исследования

Целью данной работы было исследование особенностей одноимпульсной и двухимпульсной лазерной абляции полимеров, а также создание методик качественного анализа пластика, позволяющих выявить в образце микроколичества металлов, накладывающих ограничения на повторную пере-работку данных материалов.

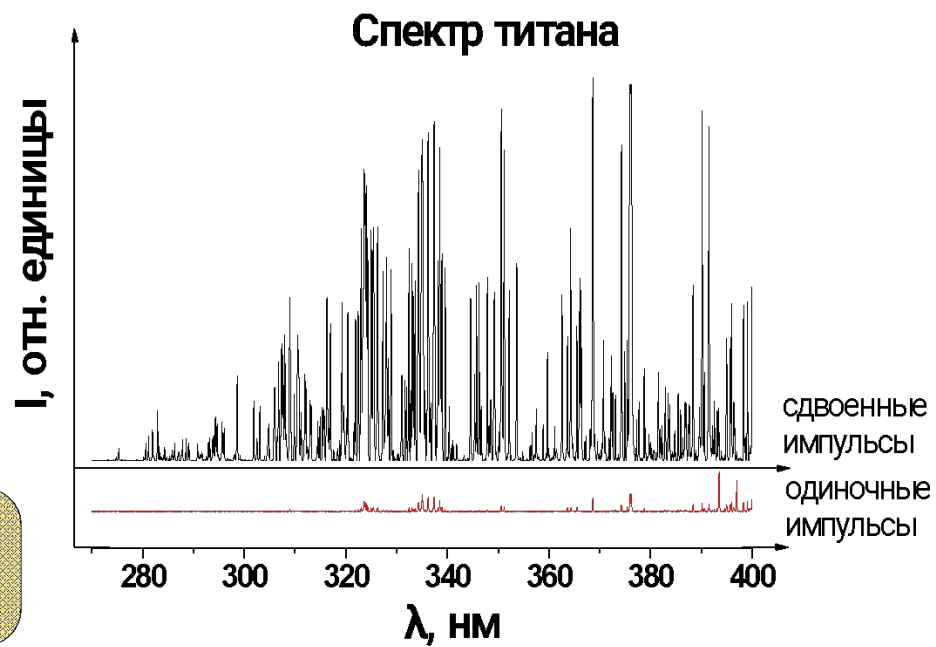
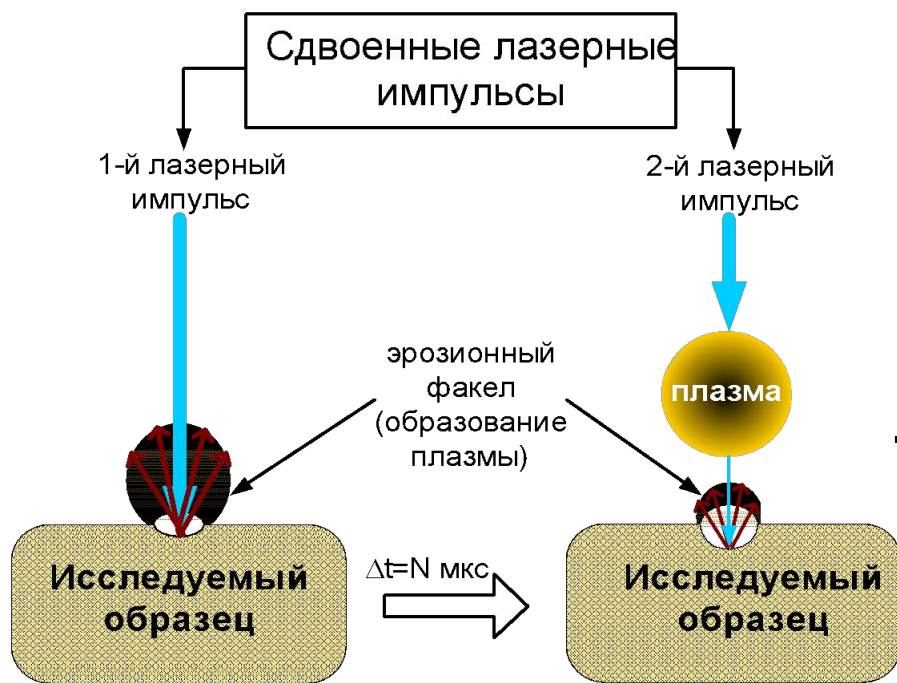
# Объекты исследования

Объектами исследования являлись образцы цветных пленок:

- белая Б, голубая Г, синяя С, зеленая З, желтая Ж, красная К, малиновая М, фиолетовая Ф, черная Ч.



# Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия



# Лазерный двухимпульсный спектрометр LSS-1 (LOTIS Tii, г. Минск)

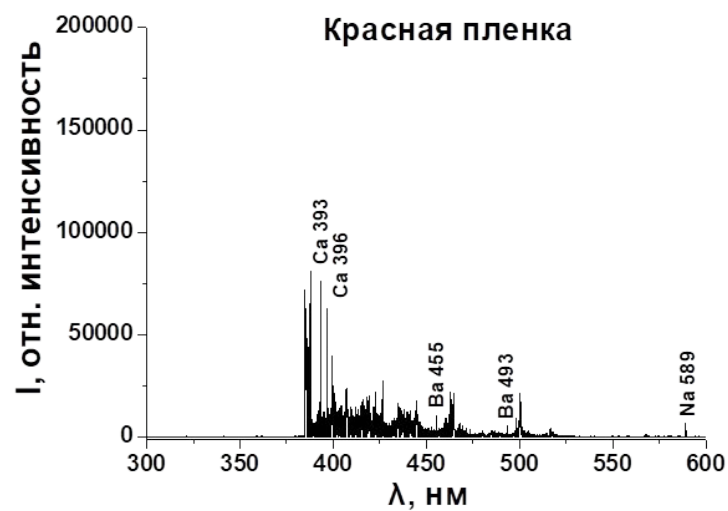
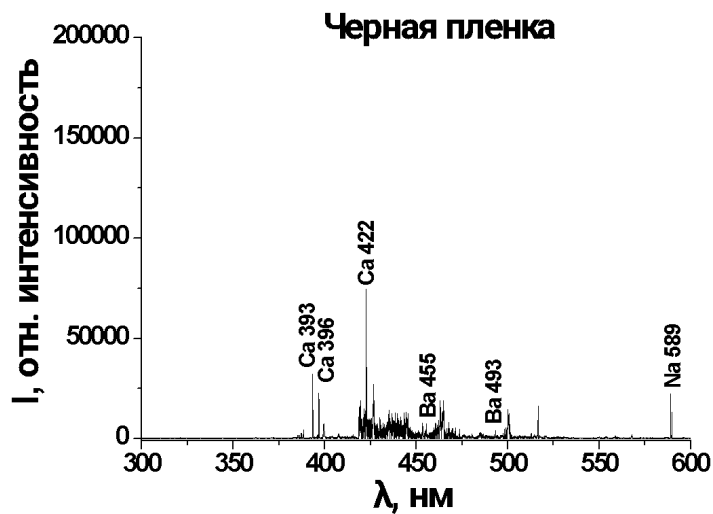
- Источник возбуждения плазмы – двухимпульсный Nd:YAG лазер, с частотой повторения импульсов до  $f_{л}=10$  Гц и длиной волны  $\lambda=1064$  нм.
- Длительность импульсов  $\tau_{л} \approx 15$  нс.
- Межимпульсный интервал  $\Delta t=0 \div 100$  мкс (шаг 1 мкс).
- Диапазон анализируемых длин волн  $\Delta \lambda=190-800$  нм.
- Минимальный размер лазерного пятна на поверхности 50 мкм.
- Энергия накачки лазера  $E_{н}=8 \div 17$  Дж.
- Энергия лазерного импульса  $E_{имп}=10 \div 100$  мДж.



# Параметры лазерного излучения при проведении ЛАЭС полимеров:

- Энергия накачки – 16 Дж,
- энергия сдвоенных лазерных импульсов – 60 мДж,
- временной интервал между сдвоенными лазерными импульсами – 10 мкс,
- число импульсов в точку – 10.
- Аналитический сигнал суммировался при регистрации спектров в 5 точках (50 импульсов).
- Измерение проводилось в атмосфере воздуха при нормальном давлении.

# Фрагменты спектров полимеров, зарегистрированная с помощью ЛАЭС

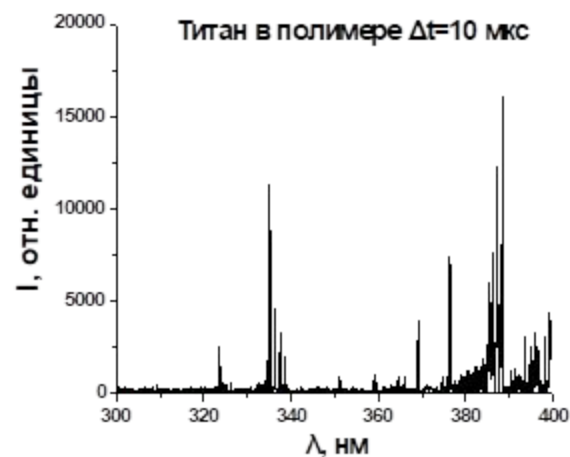
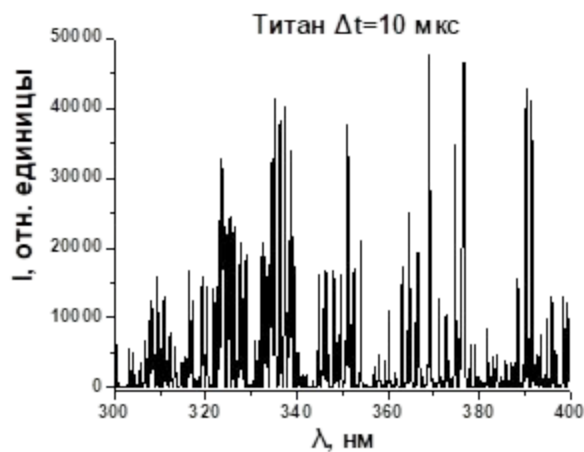




# Количественный анализ

| Пленка  | Б    | Г    | С    | З    | Ж    | К    | М    | Ф    | Ч    |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Na С, % | 0,54 | 0,15 | 0,22 | 0,08 | 0,08 | 0,32 | 0,73 | 0,23 | 1,00 |
| Ba С, % | 0,93 | 0    | 0,04 | 0,10 | 1,00 | 0,11 | 0,07 | 0    | 0,09 |
| Ti С, % | 1,00 | 0,10 | 0,10 | 0,07 | 0,12 | 0,14 | 0,22 | 0,31 | 0,39 |
| Ca С, % | 0,73 | 0,39 | 0,39 | 0,31 | 1,00 | 0,41 | 0,84 | 0,69 | 0,20 |

# ЛАЭС чистого титана и титана в полимерной пленке



# Определение температуры плазмы чистого титана и металла, находящегося в полимерной матрице

$$N_e = N_0 \frac{g_e}{g_0} e^{-\frac{E_e}{kT}}$$

$$I = N_e A_{ei} h\nu_{ei}$$

$$I = A_{ei} h\nu_{ei} N_0 \frac{g_e}{g_0} e^{-\frac{E_e}{kT}}$$

$$T = \frac{0,625(E_1 - E_2)}{\ln \frac{g_1 A_1}{g_2 A_2} - \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - \ln \frac{I_1}{I_2}}$$

| $\lambda$ , нм | A                | g | E, эВ  |
|----------------|------------------|---|--------|
| 335,5          | $6,9 \cdot 10^7$ | 9 | 29 971 |
| 337,4          | $1,6 \cdot 10^7$ | 4 | 39 602 |

| абляции<br>Образец         | Режим          |                |
|----------------------------|----------------|----------------|
|                            | Одноимпульсная | Двухимпульсная |
| Титан                      | 5 150          | 7 600          |
| Титан в полимерной матрице | 1 700          | 1 850          |

# Выводы:

1. Переход от одноимпульсной к двухимпульсной лазерной абляции при неизменной энергии и мощности лазерного излучения приводит к увеличению температуры плазмы титана в 1,5 раза, а плазмы полимерной матрицы легированной титаном только в 1,1 раза, что указывает на значительно более высокую плотность плазмы чистого металла, и непрозрачность ее для второго импульса.
2. Сопоставление результатов спектральных исследований и измерений степени деструкции поверхности образцов, показало, что основной причиной увеличения аналитического сигнала плазмы титана при воздействии сдвоенных лазерных импульсов является дополнительное возбуждение первичной плазмы излучением вторым импульсом. В случае полимера, легированного титаном увеличение интенсивности спектральных линий преимущественно вызвано увеличением испаренного вещества при переходе к двухимпульсной абляции.
3. Разработаны методики выявления микроколичеств примесей (натрия, барий, титан, кальций) в полимерах методом двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии.