



## Информация за изпълнение на етап на проект

<b>Наименование на конкурса:</b>
Конкурс за финансиране на научни изследвания – 2017 г.
<b>Основна научна област:</b>
Физически науки
<b>№ на договор:</b>
ДН 18/7 от 10.12.2017г. на ФНИ с ИФТТ – БАН
<b>Начална и крайна дата на проекта:</b>
10.12.2017г.
<b>Заглавие на проекта:</b>
“Експериментално и теоретично изследване на свръхбърза динамика на процеси, индуцирани при субпикосекундна лазерна нанообработка на полупроводници с широка забранена зона”
<b>Базова организация:</b>
Институт по физика на твърдото тяло - БАН
<b>Партньорски организации:</b>
Институт по минералогия и кристалография “Акад. Ив. Костов” – БАН Нов Български Университет
<b>Ръководител на научния колектив (академична длъжност, научна степен, име):</b>
доц. д-р Тодор Стефанов Петров
<b>Общ размер на отпуснатото финансиране за първи етап:</b>
60 000 лв.
<b>Интернет страница на проекта (ако има такава):</b>
няма
<b>Научни публикации по проекта:</b>
T. Apostolova, B. Obreshkov, "High harmonic Generation from Bulk Diamond driven by Intense femtosecond laser pulse", Diamond and Related Materials, 82, 165, 2018
T. Apostolova, B. Obreshkov, "Ultrafast Photoionization and Energy Absorption in Bulk Silicon and Germanium", ICQNM, 17, 2018
Apostolova, T. and Obreshkov, B., "Sub-cycle dynamics of electron-hole pairs and high-harmonic generation in bulk diamond subjected to intense femtosecond laser pulse", Opt Quant Electron (2018) 50: 408. <a href="https://doi.org/10.1007/s11082-018-1666-y">https://doi.org/10.1007/s11082-018-1666-y</a>



**Описание на очакваните резултати по проекта (до 1 стр. в рамките на полето по-долу):**

Използването на фемтосекундните и субпикосекундните лазери в областта на микро- и нанотехнологиите, науката, медицината и биологията е незаменимо поради: пренебрежимо ниското топлинно въздействие на обработваната област; възможността за многофотонно поглъщане, позволяваща обработка под повърхността на "прозрачни" среди; постигане на размера на обработваната зона по-малка от дифракционно ограничената; отсъствието на плазмен факел в областта на аблация, което повишава коефициента на полезно действие. Въпреки все по-широкото приложение на този тип лазери, голяма част от физиката на фундаменталните процеси, протичащи при взаимодействието на свръхкъсите лазерни импулси с различни среди не са изяснени.

Един от основните параметри, които характеризират взаимодействието на субпикосекунден импулс с диелектрици и полупроводници е плазмената честота  $\omega_p$ . При известна  $\omega_p$  за дадена среда е възможно да се определи оптималната дължина на вълната  $\lambda_L$  на лазерният източник, за обработването на даден материал. Целите на предложеният проект са: 1) измерване на плазмените честоти на използвани в микро- и нано- индустрията диелектрици и полупроводници, облъчени със субпикосекундни лазерни импулси 2) разработване на теоретичен модел за описание на възбуждането на електроните в облъчените материали, чрез който да бъде пресметната плътността на генерираната електрон-дупчеста плазма и плътността на енергията депозирана в електронната система; 3) сравнение на експерименталните резултати с теоретичния модел.

Ще бъдат направени реалистични симулации, обхващащи няколко времеви и пространствени скали отвъд пертурбативната трактовка с отчитане на реалистична зонна структура и включващи разпространението на импулса в плътна среда. На микроскопична скала ще бъде използван метод, базиращ се на първи принципи, който описва ранния стадий на фотойонизация, посредством кохерентното поглъщане на фотони от облъчващото лазерно поле в допълнение на който ще бъде прибавен мезоскопичен квантово кинетичен подход, включващ некохерентно вътрешнозонно и междוזонно кулоново разсейване. Като алтернатива ще бъде използван стандартния подход, основаващ се на уравненията на Болцман-Блох за много зони, в който плътността на заредените носители и поляризацията се третират като отделни променливи. Като резултат от пресмятанията ще бъде описан свърхбързият отклик на материала, който пряко зависи от параметрите на лазерния импулс и който включва лазерно индуцираните времезависещи (преходни) нелинейни оптични свойства, времезависеща плътност на генерираната електрон-дупчестата плазма ( времезависещата плазмена честота), времезависещата плътност на енергията депозирана в електронната система и др. Колективният екраниран отклик на фотовъзбудените носители ще бъде описан посредством моделна времезависеща диелектрична. Експерименталните резултати ще бъдат сравнени с теоретичните пресмятания.

Предложените изследвания ще позволят: изясняване на физиката на процеса на взаимодействие на диелектрици със субпикосекундни импулси; повишаване на качеството и ефективността на микро- и нано-обработката на диелектрични материали със субпикосекундни и фемтосекундни импулси; повишаване на качеството на обучение на докторанти и млади специалисти в областта на ултрабързите взаимодействия на лазерното лъчение с материалите.



## Членове на научния колектив

<b>Организации/участници<sup>1</sup></b>	<b>Бележка<sup>2</sup></b>
<b>Базова организация:</b>	
Институт по физика на твърдото тяло - БАН	
<b>Ръководител на научния колектив</b>	
доц. д-р Тодор Стефанов Петров	
<b>Участници:</b>	
физ. д-р Стефан Илиев Каратодоров	МУ
гл. ас. Красимир Димитров Димитров	
Проф. Хитоки Йонедра (Институт за Лазерни Науки, Университета по Електро-Комуникация, Токио)	УЧ
<b>Партньорска организация:</b>	
Нов Български Университет	
<b>Участници:</b>	
доц. д-р Цвета Тихомирова Апостолова	
д-р Стоян Райков Мишев	
доц. к.ф.-м.н., Сергей Иванович Кудряшов (Физически Институт П.Н. Лебедев, Руска Академия на науките)	УЧ
д-р Едуардо Олива Гозало (Политехнически Университет, Мадрид)	УЧ, МУ
<b>Партньорска организация:</b>	
Институт по минералогия и кристалография "Акад. Ив. Костов" – БАН	
<b>Участници:</b>	
Проф. д-р Борис Любомиров Шивачев	
<b>Партньорска организация:</b>	
<b>Участници:</b>	

<sup>1</sup> Отбележете академичната длъжност, научната степен, име и фамилия на всеки участник като включите и участниците, които са работили по проекта не през целия период за изпълнение на проекта

<sup>2</sup> Отбележете дали участникът в колектива е млад учен (МУ), постдокторант (ПД), докторанти (ДО) или студенти (СТ), или учен от чужбина (УЧ).



**Постигнати резултати от изпълнението на проекта и кратък анализ на тяхната приложимост (до 1 стр. в рамките на полето по-долу)**

Проведени бяха z-скан измервания на един от фемтосекундните лазери в научният комплекс на синхротрона в Триест – Италия. Наблюдавано е поведението на монокристални образци от GaN и AlN при различни стойности на импулсната енергия на лазерното лъчение. Интензитетът на импулса бе увеличаван до стойности близки до праговете на аблация за различните материали. Наблюдавано е поведението на същите образци и при различна продължителност на импулса. Стойностите бяха променяни от 50fs до 300fs.

По-късно аналогични експерименти бяха реализирани в София, в Лаборатория лазери с Метални Пари на Института по Физика на Твърдото Тяло – БАН. Използван бе влакнест фемтосекунден лазер генериращ импулси с продължителност 300fs и енергии до 2μJ. В допълнение са направени z-скан измервания и за монокристален диамант.

Предстои определяне на нелинейният коефициент на пречупване на трите широкозонни полупроводника. Ще бъде охарактеризирано поведението на взаимодействие между предвидените за изучавани среди и лазерното лъчение при поток на фемтосекундните лазерни импулси близки до стойностите на прага на аблация.

Направени са модели на базата на времезависещото уравнение на Шрьодингер за пресмятане на погълнатата енергия в обема на силиций и германий в зависимост от дължината на вълната и интензивността на 30 фс лазерно лъчение. За дължини на вълната в близката инфрачервена област и интензивности по-ниски от 1TW/cm<sup>2</sup> енергията, погълната в електронната система на материалите зависи пертурбативно от големината на лазерната интензивност поради протичането на мулти-фотонни процеси на възбуждане. За дължини на вълната в средната инфрачервена област, пресмятанията показват, че доминира тунелна йонизация. За по-високи лазерни интензивности, пресмятанията показват, че съществува праг по интензивността, над който погълнатата енергия и в двата материала не зависи от лазерната интензивност. В този режим, в който не протича оптично разрушаване на двата материала, откриваме, че енергиите на електронно възбуждане превишават температурите на топене на силиций и германий, което е предпоставка за фазов преход (нетермично топене) на техните кристални решетки.

Решен е проблема с провеждане на експерименти върху обемни моно кристални образци. Проведено е заснемане и решаване на структурите на обемни моно кристални от GaN и AlN преди третирането им с различни енергии и импулси на лазерното лъчение. Предстой да бъдат охарактеризирани монокристали GaN и AlN след взаимодействие с лазерното лъчение при различни импулси и енергии доближаващи стойностите на прага на аблация. Моно кристалният анализ ще даде експериментална, статистическа стойност, за количеството дефекти формирани в третирания обем на монокристалата.