

## Най-важни постижения от научната и научно-приложна дейност на проф. д-р Николай Недялков

Основните приноси от дейността на проф. д-р Николай Недялков са в областта на съвременната фотоника, по-специално, обработка на материали с къси- и свръхкъси лазерни импулси, фемтосекундна фотоника, оптични свойства на наноматериали и лазерно-асистирани нанотехнологии. Те се изразяват в разработване на нови идеи, предлагане и реализиране на нови методи и получаване на нови резултати в областта на лазерните технологии, тяхното приложение в получаването на нови материали и разработване на приложения на тяхна база:

- Разработва теоретичната основа на процесите на лазерна аблация на метали със свръхкъси лазерни импулси. Разработва комплексен теоретичен модел базиран на метода на молекулната динамика, който дава обяснение на редица ефекти, наблюдавани експериментално при аблационния процес. Описани са основните механизми, водещи до макроскопично изхвърляне на материал – термомеханичен, определен от термоеластичните напрежения в материала; фазова експлозия – реализираща се вследствие на бързото (в рамките на няколко пикосекунди) пренагриване на материала; фрагментация на пренагретия материал, изхвърляне на стопен материал вследствие на породеното откатно налягане. Оценен е приносът на отделните механизми в зависимост от параметрите на лазерния импулс. Описани са параметрите на ударната вълна разпространяваща се в материала след лазерна аблация, като и различните ефекти възникващи вследствие на нейното разпространение. Дефинирани са различни структурни промени в областта около аблационния отвор. На базата на това изследване може да се получи ефективна оптимизация на експерименталните условия на обработка за получаване на повърхнинни структури, отвори и срезове, като се спестят скъпо струващи експерименти. Тематиката е пренесена и в Университет Федерико II, Италия, където разработеният модел е използван и резултати от него са включени в дисертацията на един докторант. (A1, 1-5, 8, 9, 11, 20, 25)\*

- Проф. Недялков разработва теоретичната основа и реализира нов метод за наноструктуриране на повърхности с помощта на усилване на електромагнитното поле от поляритони в околност на метални наночастици. Демонстрирано е, че усилването на интензитета на полето в околност на наночастици от благородни метали може да предизвика перманентна модификация на подложката върху която са разположени частиците. Този ефект е използван за визуализация на пространственото разпределение на интензитета на полето в близката зона. На негова база, също така, е разработена теоретичната и експериментална основа на нов метод за наноструктуриране. На базата на ефекта на усилване на интензитета на полето в околност на Au частици е реализирано формиране на наноразмерни отвори в различни материали (SiO<sub>2</sub>, Si, Au, Pt) при облъчване със свръхкъс лазерен импулс. Достигнат е размер на отворите от порядъка на  $\lambda/20$  ( $\lambda$  е дължината на вълната на падащото

лъчение). Получени са нови резултати за свойствата на електромагнитното поле (ЕП) в околност на наночастици от благородни метали. Дефинирани са два ефекта на отклик при взаимодействието на наночастици с ЕП – ефект на нагриване и ефект на усилване на интензитета на полето. Разработена е теоретичната база за анализ на тези ефекти. Негови разработки по тематиката се използват в научния отдел на компанията Toshiba (A1, B1, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 29).

- На базата на теоретични и експериментални изследвания е демонстриран нов метода за формиране на наночастици от благородни метали в обем на стъкла с висока пространствена разделителна способност. Методът няма ефективна алтернатива в получаването на такъв тип композитни материали. За първи път е демонстриран такъв ефект при използване на наносекундни импулси, което има съществена роля при намаляване на разходите и изискванията към апаратурата. Демонстрирано е изцяло оптично формиране и декомпозиция на сребърни наночастици в силикатни стъкла, които имат интензивна луминесценция във видимата област. Изследванията на оптичните свойства на тези материали показват висока ефективност при реализиране на нелинейни ефекти, което е потенциал тези материали да бъдат ефективна алтернатива на скъпоструващи кристали. (33, 35, 37-40)

- Проф. Недялков има ключови приноси в обясняване на механизма на формиране и началната еволюцията на наночастици, генерирани при лазерната аблация на метали и метални слоеве със свръхкъси лазерни импулси, както и в получаването на наночастици във вакуум и течна среда при аблация на твърдотелни мишени и тънкослойни структури с фемтосекундни и наносекундни лазерни импулси. Демонстрира метод за получаване на материали с голяма свободна повърхност чрез лазерна аблация във въздух. Той е ефективна алтернатива за формиране на среди с приложения в сензори. Демонстрирани са такива на базата на резистивни елементи, като е постигната чувствителност за под 1 ppm. Предложен и реализиран е нов метод за формиране на подредени структури, съставени от нишки от наночастици от магнитни материали. Разработен е метод за ефективен контрол на разпределението по размери на наночастици, получени чрез лазерна аблация, което е от съществено значение за приложенията на тези материали. Разработен е метод основан на лазерно отгряване на метални слоеве и са получени двумерни структури от сферични биметални наночастици върху подложки. Структури с тясно разпределение по размери са получени от Au/Ni и Au/Ag. Методът е приложен и за получаване на наночастици върху гъвкави полимерни подложки, което позволява промяната на оптичните свойства на системата при механична модификация на подложката. Демонстрирана е възможността за получаване на многокомпонентни (повече от два метала) наночастици с контролируеми свойства. Методът също е приложен за получаването на композитни структури ZnO/Ag, като е демонстрирано значително усилване на фотолуминесцентния сигнал на ZnO в UV област. (3, 9, 11, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 30-32, 42, 44, 45, 47, 50, 58)

- Разработва метод, базиран на лазерна аблация със свръхкъси лазерни импулси за получаване на комплексни тримерни структури, съставени от наночастици. Демонстрира за първи път запазване на

луминесцентните свойства на стъкла при прехода им от обемен материал в наночастици реализиран чрез аблация с фемтосекундни импулси. Този ефект дава възможност за получаване на наноматериали с приложение в биофотониката, като контрастни агенти. (26, 27, 32, 39, 40, 51, 58)

- Разработва теоретичната основа на фототермична терапия на ракови клетки на базата на локално оптично нагриване на наночастици от благородни метали. В следствие на реализирани ин-витро и ин-виво експерименти по фототермична терапия на ракови клетки и образувания, с участието на златни наночастици като ефективни нагреватели, е доказан положителен ефект при човешки ракови клетки от рак на шийката на матката (HeLa). При ин-виво експериментите е демонстрирано удължаване на живота на третирани хамстери с около 1/3 в сравнение с тези от контролната група. Разработен е теоретичен модел, позволяващ оценката на максималната температура достигната в златна наночастица при взаимодействието ѝ с наносекунден лазерен импулс с различни плътности на енергията. Получени са доказателства за трансплацентарна кластогенна активност на златни наночастици при мишки, като е определен ефекта в зависимост от размера на частиците. Резултатите имат потенциал за разработване на фототермична терапия на ракови клетки. (A1, 15, 17, 18, 21, 24)

- Проф. Недялков разработва методи за получаване на наноструктури за приложение в Повърхностно Усилената Раманова Спектроскопия (SERS). Разработени са лазерни методи за получаване на високо-ефективни структури, които са по-добри по отношение на цена, сравнение с химическите и тези на базата на литография. Демонстрирано е приложение на структури от Al, получени чрез лазерна обработка на керамика AlN. Идеята е оригинална, като дава възможност за по-евтино и бързо получаване на материали с приложение в SERS.

С използването на разработените структури е демонстрирана високочувствителна детекция на пестициди и нитрати, което прави метода алтернатива на конвенционалните, които са по-бавни и по-скъпи. (A1, 28, 31, 34, 36, 41, 43, 46, 53, 56, 57)

- Разработва идеята за контролирано формиране на метални структури на повърхността на нитридни керамики, с висока пространствена разделителна способност. Разработен е модел за описание на включените процеси, като са получени и експериментални данни за оптимални условия за формиране на структури с желано електрическо съпротивление. За първи път са описани условия за получаване на периодични структури на повърхността на нитридни керамики AlN и Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, които е показано, че допринасят за ефективно приложение в SERS. Структурите, получени на базата на керамики AlN могат да се използват за нагревателни елементи и в THz оптика. През последната година е заявен патент за нагревателен елемент. На базата на Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, могат да се разработят излъчватели елементи, тъй като лазерната модификация води до формиране на силициеви наноструктури, които имат изразени луминесцентни свойства. (48, 52, 54, 55, 57)

Научните разработки на проф. д-р Николай Недялков имат съществен принос към разработването на модерни технологии в сфери с висока социална значимост, като детекция и

мониторинг на опасни за човешкото здраве, флора и фауна субстанции, методи за терапия на ракови заболявания, зелени технологии.

\*В скоби за посочени основни публикации по темите от Списъка на избрани публикации на проф. д-р Николай Недялков за участие в конкурса за член-кореспондент на БАН.