

Procedeu de decontaminare a fluidelor în regim static sau dinamic folosind acțiunea sinergică a radiației UV-C și a metamaterialelorAnita Ioana VIȘAN¹, Carmen Georgeta RISTOSCU¹, Gianina Florentina POPESCU-PELIN¹, Sînziana Andreea ANGHEL¹, Valentin Paul ARANGHEL¹, Ion N. Mihăilescu¹¹Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației, Măgurele, Romania**PROBLEMA IDENTIFICATĂ ȘI SOLUȚIA PROPUȘĂ**

Invenția se referă la o metodă nouă și eficientă de inactivare a biomoleculilor, în particular a virusilor și bacteriilor, folosind radiații UV-C (din domeniul spectral (100 – 280) nm), cu potențiale aplicații în dezinfectie și decontaminare. Radiația UV-C este deosebit de eficientă în anihilarea microorganismelor datorită lungimii de undă celei mai scurte și a energiei celei mai mari în domeniul ultraviolet, oferind un instrument valoros pentru detectarea și diagnosticarea agenților patogeni.

Problema identificată inițial se referă la: decontaminarea fluidelor pentru aplicații medicale în eliminarea riscurilor majore de transmitere a bolilor infecțioase. Metodele tradiționale de decontaminare implică adesea utilizarea de substanțe chimice dure sau/si la temperaturi ridicate, care pot fi dăunătoare mediului dar și operatorilor.

Soluția propusă pentru rezolvarea problemei este utilizarea laserelor UV-C și a metamaterialelor pentru decontaminare și dezinfectie. Lămpile UV-C au fost utilizate pe scară largă în aplicațiile medicale pentru dezinfectie datorită capacității lor semnificative de dezinfectie. Cu toate acestea, utilizarea lor este limitată de necesitatea unei supravegheri atente pentru a evita periclitarea operatorilor și/sau daunarea mediului. Utilizarea metamaterialelor pot conduce la depășirea acestor limitări oferind o modalitate de a controla și manipula lumina în moduri unice, precum focalizarea fasciculelor de lumină.

Combinarea de lasere UV-C, metamateriale ar putea permite dezvoltarea dispozitivelor care pot decontamina și dezinfecta eficient fluidele fără a se recurge la substanțe chimice toxice și/ sau temperaturi ridicate. Aceste dispozitive ar putea fi proiectate vizând anumite tipuri de microorganisme și o eficiență maximă pentru controlul aspectelor specifice legate de contaminare. Acestea s-ar putea folosi și pentru crearea de dispozitive care pot absorbi sau împrăștia substanțe active în fluide, eliminând contaminanții și îmbunătățind calitatea fluidelor investigate.

AVANTAJE. SCOPUL INVENȚIEI.

Avantajele acestei invenții presupun:

1. În combinație cu metamaterialele, laserele depășesc sensibil limitările caracteristice lămpilor UV-C. În toate situațiile însă se impune supravegherea atentă a iradierilor UV-C pentru a evita accidentarea operatorilor cat si/sau deteriorarea mediului. Se urmărește în acest scop controlul riguros al focalizării și manipulării radiației UV-C. **Natura inovatoare a acestei abordări** decurge din utilizarea laserelor pentru a asigura un tratament precis și țintit al luminii, în combinație cu proprietățile unice ale metamaterialelor de a manipula radiația coerentă UV-C în moduri care pot amplifica eficacitatea tratamentului laser.

2. Un alt avantaj important este utilizarea luminii UV-C pentru a absorbi sau împrăștia contaminanții, în vederea eliminării eficiente din fluidul supus decontaminării. Utilizarea metamaterialelor în acest context poate oferi o modalitate de a spori eficacitatea laserelor UV-C pentru decontaminarea fluidelor, devenind mai eficiente și mai puțin dăunătoare pentru mediu. Radiația laser UV-C (cu distribuție gaussiană) generată de o sursă laser cu excimer KrF* la lungimea de undă de 248 nm (în interiorul domeniului UV-C) este focalizată de-a lungul axei către zona de decontaminare. Tubul transparent la radiația UV-C poate fi umplut cu metamateriale optice, în timp ce fluidele contaminate circula liber printre ele, în interacțiune cu undele evanescente. Fluidul care circulă prin zona de decontaminare modifică aleatoriu frontierele optice dintre elementele metamateriale și fluid, în funcție de concentrația agenților patogeni și de proprietățile optice. În consecință, eficiența decontaminării depinde de suprafața de contact dintre fluidul contaminat și metamaterialul optic periodic și este proporțională cu numărul de elemente ale metamaterialului. Penetrarea radiațiilor luminoase către fluidele translucide care curg printre elementele metamaterialelor crește prin interacțiune cu câmpul optic evanescent din jurul acestora. Ca urmare, eficiența decontaminării este determinată de zona de contact dintre fluide și metamaterial, care este proporțională cu numărul de elemente din interiorul miezului tubului.

Invenția ar putea oferi mai multe avantaje, precum operare rapidă, rată mare de succes, rezultate de lungă durată și potențialul de a manipula lumina în moduri unice pentru o decontaminare mai eficientă.

Scopul invenției este cuplarea radiației UV-C prin unde evanescente cu metamaterialele pentru detectarea și anihilarea agenților patogeni.

Noutatea conceptului rezida în multiplele contacte optice dintre metamateriale (sfere, granule, elemente conice, sisteme de fibre) care contribuie la o dispersare eficientă a luminii în fluidul contaminat ce curge printre elementele cvasi-periodice ale sistemului.

APLICAȚIE PRACTICĂ

Utilizarea sinergică a radiației UV-C și a metamaterialelor pentru decontaminare și dezinfectie reprezintă o abordare de largă perspectivă care ar putea îmbunătăți în mod semnificativ siguranța și eficiența proceselor de decontaminare în diferite domenii, inclusiv în aplicații medicale și ecologie. Folosirea metamaterialelor se bucură în prezent de o mare notorietate în decontaminarea fluidelor și anihilarea agenților patogeni, prezenți frecvent în fluidele poluate (precum apă, sânge, plasmă sanguină, aer sau gaze). Se propune o schemă de împachetare a sferelor și respectiv fibrelor de metamateriale, cu scopul de a promova anihilarea eficientă a agenților patogeni (microbi și virusi). Suprafața totală a metamaterialelor în contact cu fluidele contaminate crește astfel semnificativ, cu efecte benefice asupra decontaminării.

REVENDICĂRI

1. **Procedeu de decontaminare a fluidelor în regim static sau dinamic folosind acțiunea sinergică a radiației UV-C și a metamaterialelor.**

2. **Conceptia inovativă a dispozitivului experimental de decontaminare (cilindru de cuarț cu perete dublu cu sistem de admisie și evacuarea lichidului și respectiv canal pentru introducerea metamaterialelor).**

Decontaminarea lichidelor netransparente supuse la iradiere este evaluată prin intermediul unui echipament de decontaminare UV-C (Figura 1) cu miezul tubului umplut cu metamateriale. Experimental s-au folosit diferite tipuri de metamateriale: (a) granule neordonate de cuarț (SiO₂) cu dimensiunea în domeniul (1–5) mm și spectru de transmisie în regiunea UV > 240 nm; (b) sfere de sticlă cu un diametru de ~2 mm și spectru de transmisie > 300 nm și c) Fibre de cuarț de diametru 3 mm și spectru de transmisie în regiunea UV > 240 nm.



Figura 1. Echipament de decontaminare care poate funcționa atât în regim static cât și în tratament dinamic, alcătuit dintr-un cilindru de cuarț cu lungime de 70 cm, umplut cu metamateriale optice iradiate cu radiație coerentă UV-C. În cazul regimului de tratare dinamică, tubul este conectat cu un rezervor exterior prin care circulă lichidul contaminat (aproximativ 200 mL) pompat continuu de o pompa electrică.

Principiul de funcționare al instalației poate fi descris după cum urmează: radiația UV-C coerentă este concentrată în jurul miezului de cuarț al tubului și se propagă în interiorul întregului volum printre elemente metamateriale optice transparente la UV-C. Atunci când se folosesc metamateriale de cuarț, volumul de decontaminare poate fi crescut cu zona evanescentă a radiației UV-C care se formează în jurul fiecărui element de metamaterial. Decontaminarea se produce în mod esențial în zona evanescentă, care amplifică substanțial volumul de contact dintre radiații și fluidele contaminate. Forța optică produsă de radiația electromagnetică acționează ca o pensetă, atrăgând microparticulele către regiunile cu cea mai mare intensitate a câmpului electromagnetic.

Avantajul exclusiv al tehnicii pe care o propunem este exploatarea energiei undelor evanescente care de regulă se pierde în orice altă configurație.

Se propune o schemă de împachetare a sferelor și respectiv fibrelor de metamateriale, în scopul promovării anihilării eficiente a agenților patogeni (microbi și virusi). S-a observat că suprafața totală a metamaterialelor în contact cu fluidele contaminate crește semnificativ, cu efecte benefice asupra decontaminării. Probele de metamaterial super-impachetate au fost supuse iradierii UV-C, pentru a crește și mai mult eficiența decontaminării. Ori de câte ori se atinge un bun contact între elementele de metamateriale (microsfere, fibre optice, conuri), lumina este „capturată” și dispersată în interiorul unui volum circulant extins de fluide. Abordarea propusă se bazează pe transferul superior al radiației UV-C prin unde evanescente din elementele metamateriale către fluidele contaminate. Reflexiile multiple ale radiației UV-C între elementele metamaterialelor sporesc semnificativ rata de decontaminare.

S-a efectuat în continuare un calcul al adâncimii de penetrare a soluțiilor cu patogeni și cu diferite grade de umplere ale dispozitivului cu metamateriale de 100%. A fost selectionată totodată o rată de repetiție optimă de 2 Hz. Energia laser setată a fost de 400 mJ. S-au folosit atenuatori calibrați pentru a atinge intensități de penetrare de ordinul (100, 40, 30 și respectiv 20) mJ. Soluția de patogen de o anumită densitate (suspensii din soluții de drojdie de bere și culturi fungice (o tulpină levurică de Candida albicans ATCC) care umple spațiul/volumul liber dintre metamaterialele de analizat a fost determinată ca având valoarea de ~ 200 mL. Au fost efectuate experimentele de iradiere cu o energie de 100 mJ la 5 timpi de iradiere : (10 ; 20 ; 30 ; 40 și 50)s. S-a observat că o creștere a timpului de iradiere are ca efect scăderea numărului de colonii de patogeni.

Pe durata tratamentului, fluidul supus decontaminării intră și/sau trece printr-o „zonă de tratament” în care este supus acțiunii radiației coerente generate de o sursă laser la lungimi de undă în domeniul ultraviolet. ADN-ul microorganismelor conținute în fluid (inclusiv sânge) este reactiv la lumina laser și pe măsură ce trece prin zonele de tratament fluidul devine neinfecțios.

Rezultatele experimentale menționate confirmă performanța echipamentului de decontaminare UV-C folosit și servesc drept dovadă că metodologia dezvoltată poate fi aplicată cu succes pentru distrugerea agenților patogeni (bacterii, virusi, ciuperci) prezenți în fluidele contaminate.