

НЕКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ СИСТЕМА СА ОПТИЧКИМ ВЛАКНИМА КОЈИ СЕ ПРИМЕЊУЈУ У ДИЈАГНОСТИЧКЕ И ТЕРАПЕУТСКЕ СВРХЕ

Слађана Пантелић, *Институт безбедности, Београд*
Надежда Борна, *Технолошки факултет, Београд*
Бранка Калуђеровић, *ИНН „Винча“, Београд*

Садржај – Данашње време карактерише све већа употреба ласера у медицини. У многим случајевима ласерска хирургија је супериорнија у односу на конвенционалне методе или нема еквивалент. Употреба ласера повећава и значај система са оптичким влакнима који се примењују у медицини. Њихова примена је многострука, било да се користе у дијагностичке или терапеутске сврхе. У овом раду су описани неки од ових система, као и утицај карактеристика оптичких влакана и начина њихових спрезања са изворима и детекторима светлости као елементима система, на њихов рад и ефикасност.

1. УВОД

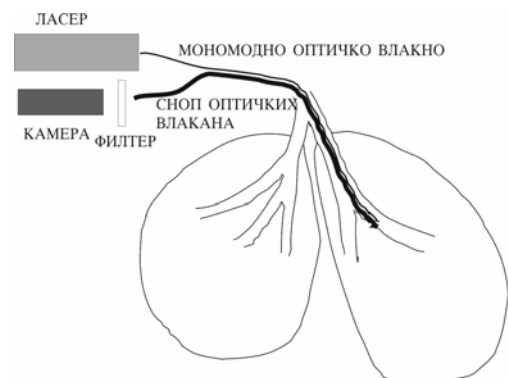
Најзначајнија примена преноса слике у медицини је у области ендоскопије. Ендоскопија је поступак посматрања унутрашњости неког органа уз истовремену могућност вршење хирушких захвата у посматраном подручју, помоћу посебно конструисане оптичке справе – ендоскопа. Овај метод подразумева минимум инвазивну хирургију уз помоћ малих резова коже и минималних отвора на телу (димензије ендоскопа варирају у дијапазону од 1 mm до 1 cm), и почива на изузетно развијеној технологији преноса слике кроз сноп оптичких влакана и обученом персоналу.

Ендоскоп се састоји од телескопског система сочива који обезбеђује слику високе резолуције, оптималног контраста и широког видног поља. На завршетку оптике налази се окулар за који се причвршћује сноп оптичких влакана и извор хладног светла. Слика се снопом оптичких влакана преноси до камере која је повезана са монитором. Квалитет слике која се преноси снопом оптичких влакана је одређен бројем оптичких влакана по јединичној површини. Постоје два типа снопова оптичких влакана: кохерентни и некохерентни снопови. Кохерентни снопови имају велики број упакованих оптичких влакана која задржавају фиксни аранжман на оба краја, и која могу да преносе слику. Ови снопови могу бити и флексибилни и ригидни. Некохерентни снопови имају велики број упакованих оптичких влакана на случајан начин, који не задржавају фиксни аранжман на оба краја, и који скремблују слике.

2. НЕКЕ ПРИМЕНЕ СИСТЕМА СА ОПТИЧКИМ ВЛАКНИМА У МЕДИЦИНИ

Примена ласера и система са оптичким влакнима у медицини је многострука, било да се користе у дијагностичке или терапеутске сврхе.

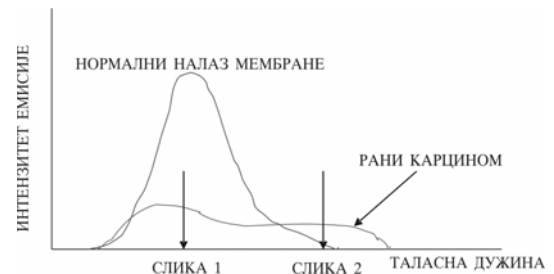
Типичан дијагностички поступак може да буде испитивање бронхијалне тубе пацијента (Слика 1). Ендоскоп се убацује кроз грло пацијента, ка плућима, тако да не ремети нормално дисање. Мономодно оптичко влакно се користи за пренос светлости у област интересовања, а сноп оптичких влакана се користи за пренос слике посматране области.



Слика 1: Систем за дијагностицирање бронхијалне тубе

Поступак ендоскопије пружа више од самог посматрања. Употребом специфичних оптичких влакана за пренос ласерске светлости одговарајуће таласне дужине, могу да се уклоне штетне насlage у аорти или растворе бубрежни каменови.

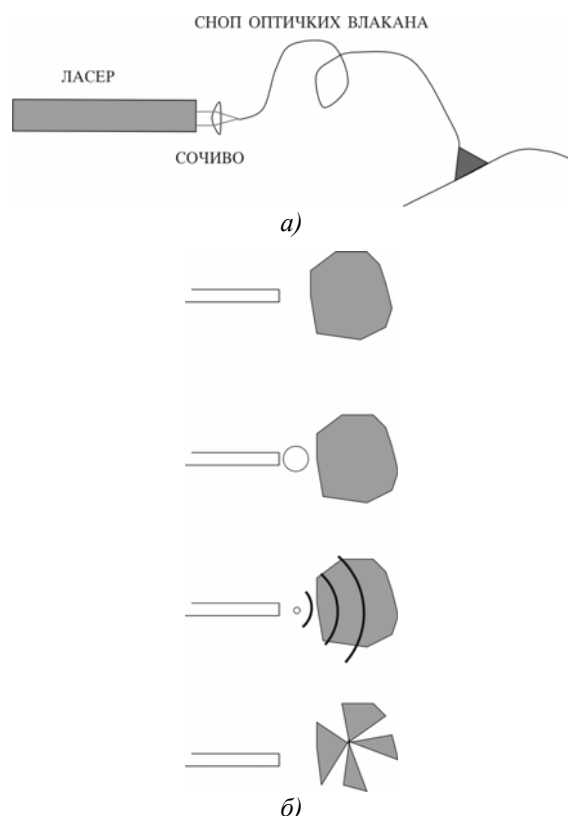
Други начин дијагностицирања је заснован на принципу праћења интензитета емисије ласерске светлости у зависности од таласне дужине, у области интересовања. На Слици 2 је дат пример графика са налазима који упућују на дијагнозу.



Слика 2: Дијагностички налаз добијен на основу промене интензитета емисије ласерске светлости

Систем у коме се ласерско зрачење и сноп оптичких влакана користи у терапеутске сврхе, приказан је на Слици 3. Оптичко влакно се умеће унутар малог зареза и поставља у близини камена који се ендоскопски посматра (Слика 3а)). Наносекундни ласерски импулс велике снаге се у облику мехура преноси кроз ткиво побуђујући ударни

талас у њему. Ударни талас не изазива оштећења меког ткива али камен који је крт, разбија на мање комаде (Слика 3б)).

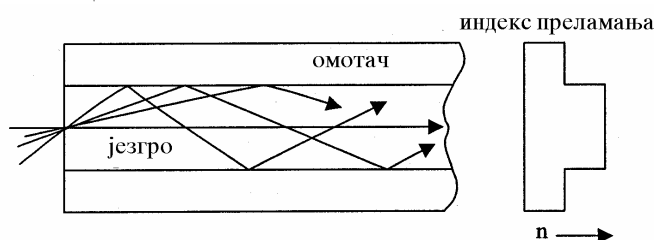


Слика 3: а) Пример система за терапеутске сврхе
б) Поступак разбијања камена

3. GRIN СОЧИВА И ЊИХОВА УЛОГА У ЕФИКАСНИЈЕМ СПРЕЗАЊУ ОПТИЧКИХ ВЛАКАНА СА ИЗВОРИМА И ДЕТЕКТОРИМА

Развој мултимодног оптичког влакна степенастог индекса преламања је довео до концепта GRIN (*graded index of refraction*) сочива.

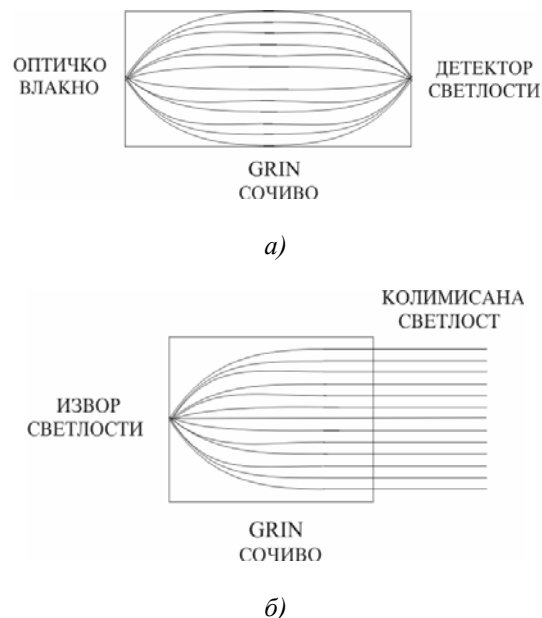
На Слици 4 је приказано простирање светлости кроз мултимодно оптичко влакно са степенастим индексом преламања. Претпоставка да се кратки пресек таквог оптичког влакна може користити као сочиво, омогућава праћење пута светлосног зрака који се кроз њега простира. Степенасти индекс оптичког влакна прелама светлосни зрак под углом од 90° или 270° , па мултимодно оптичко влакно делује као колимационо сочиво.



Слика 4: Простирање светлости кроз мултимодно оптичко влакно са степенастим индексом преламања

Сочиво које има само 90° рефракције познато је као GRIN сочиво $\frac{1}{4}$ степена. Сочиво $\frac{1}{2}$ степена би се могло употребити за повезивање оптичког влакна за детектор.

Примери употребе GRIN сочива у спрезању са оптичким влакнима дати су на Слици 5.



Слика 5: Употребе GRIN сочива
а) за фокусирање светлости на детектор
б) за колимацију светлости из извора

Практична GRIN сочива нису комади оптичких влакана са степенастим индексом преламања. Већег су пречника и профила степенастог индекса преламања. Ово их чини разноврснијим за различите апликације, које нису само везане за оптичка влакна, њихове међуконекције и спрезање са изворима и детекторима светлости.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За експериментално испитивање нумеричке апертуре и ефикасности спрезања снопова оптичких влакана са извором и детектором светлости, коришћена су четири узорка снопова.

Ови узорци снопова су настали посебним технолошким поступком стапања већег или мањег броја мултимодних оптичких влакана пречника језгра $62,5 \mu\text{m}$. У зависности од броја стопљених влакана, пречници овако добијених снопова су различити, и износе 1 mm , $1,5 \text{ mm}$, 2 mm и $2,5 \text{ mm}$. Тим редоследом су и обележени као узорак број 1, 2, 3, 4.

Изглед и разлике у пречницима коришћених узорка снопова оптичких влакана, су приказани на Слици 6.

Технолошки поступак стапања оптичких влакана је јако сложен, те су израђени узорци ригидни, некохерентни и ограничених дужина, до 20 cm .

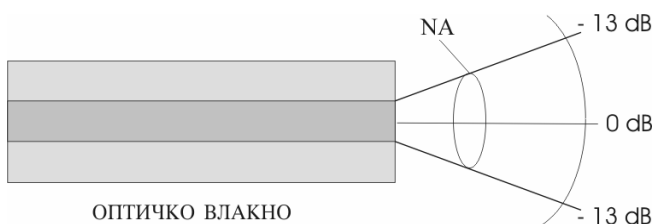


Слика 6: Различити узорци снопова оптичких влакана

4.1 Одређивање нумеричке апертуре израђених узорака снопова мултимодних оптичких влакана

Већина снопова оптичких влакана се прави од мултимодних оптичких влакана са степенастим индексом преламања. Ова оптичка влакна имају веће слабљење него телекомуникациона оптичка влакна, око 1 dB/m, а нумеричка апертатура типичног снопа оптичких влакана се креће од 0,4 до 0,7. У медицини, оптичка влакна се могу користити на таласним дужинама где пренос није најбољи – на пример, ултраљубичасти ласерски снап. Стаклена оптичка влакна краће дужине се могу користити за пренос светлости од 400nm до 2000 nm.

Мерење нумеричке апертуре се заснива на одређивању удаљеног поља светлости која излази из оптичког влакна (снопа оптичких влакана) које се испитује. На Слици 7 је приказан начин одређивања нумеричке апертуре.



Слика 7: Начин одређивања нумеричке апертуре

Анализа се обавља на површини сфере радијуса R (приближно 2 m) чији је центар одређен положајем излазног краја влакна. Расподела светлости на површини даје величину нумеричке апертуре. Највећи интензитет светлости одговара референтном нивоу од 0 dB, а величина нумеричке апертуре представља максимални угао који је одређен тачком где је слабљење -13 dB, тј. 5%.

Експериментално су, спрегом сваког од израђеног узорка снопа оптичких влакана са ласерском диодом,

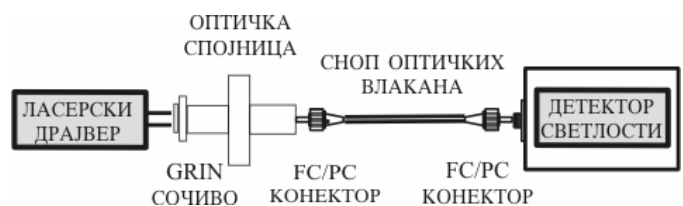
одређене њихове нумеричке апертуре. Вредности добијених нумеричких апертуре су дате у Табели 1.

Табела 1: Добијене вредности нумеричке апертуре

Број узорка	Нумеричка апертатура
1	0,4
2	0,4
3	0,6
4	0,7

4.2 Ефикасност спрезање снопа оптичких влакана са извором светлости помоћу колимационог GRIN сочива

У експерименталном делу испитана је могућност правилног спрезања извора светлости са узорцима снопова оптичких влакана, коришћењем GRIN сочива. Употребљено GRIN сочиво је колимационо сочиво, пречника 2,5 mm. Потребно је одредити положај тј. растојање GRIN сочива од врха снопа оптичких влакана, при коме је убачена ласерска светлост у снап оптичких влакана максимална. На Слици 8 је приказана експериментална поставка по којој су вршена мерења.



Слика 8: Експериментална поставка мерења

Као извор светлости коришћена је црвена ласерска диода а као пријемник детектор светлости Foto Дупе, за рад на одговарајућој таласној дужини.

Како би се постигло правилно спрезање снопа оптичких влакана са извором и детектором светлости, било је потребно поставити га у одговарајуће конекторе.

Комерцијални FC/PC конектори обезбеђују добре карактеристике, лаку монтажу и компатибилност са PC конекторима, који задовољавају NTT стандарде. Дизајн FC/PC конектора обезбеђује велику поновљивост међусобног спајања конектора одговарајућом механичком спојницом, као и заштиту чела феруле конектора и оптичког влакна у њему. Ферула оптичког конектора је пречника 2,5 mm. Како снап оптичких влакана има велики пречник и немогуће га је поставити у отвор феруле, искоришћена су тела демонтажних FC/PC оптичких конектора фирме Seiko, код којих су уместо ферула постављени и залепљени снопови оптичких влакана, на начин као што је то приказано на Слици 9.

Полирање снопа оптичких влакана се може вршити ручно или машински уз употребу одговарајућих држача. Машинско полирање има низ предности. Пре свега у

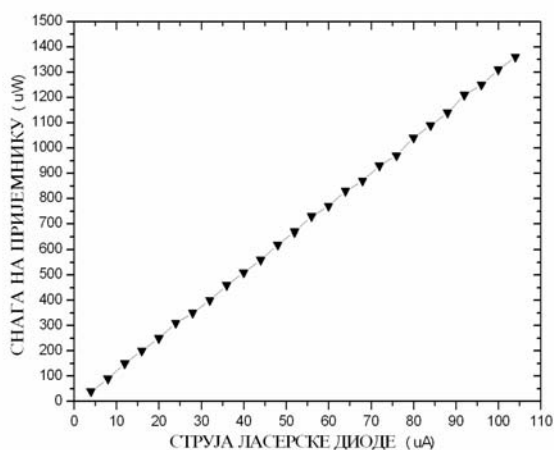
брзини, уштеде у времену, високом нивоу квалитета и независности од људског фактора.



Слика 9: Изглед флексибилног светлосног снопа са постављеним конекторима

Механичка оптичка спојница је искоришћена као веза између ласерске диоде и GRIN сочива са једне стране, и FC/PC конектора са снопом оптичких влакана са друге стране. Конструкција ове спојнице омогућава одређивање положаја GRIN сочива, при коме се остварује максимално убацивање светлости ласерске диоде у сноп оптичких влакана. На тај начин је одређен фокус GRIN сочива који је на 2 mm од врха снопа оптичких влакана.

Мерена је и зависност снаге на пријемнику од струје ласерске диоде. При струји ласерске диоде од 61 μA , укупно снага зрачења на излазу је 2,4 mW. При истој струји а у спрези са снопом оптичких влакана измерена излазна снага је 1 mW. Крива зависности снаге на излазу снопа оптичких влакана од струје, приказана је на Слици 10.



Слика 10: Крива спрезања снопа оптичких влакана (узорак бр. 1) са извором

5. ЗАКЉУЧАК

Фибер-оптичка испитивања представљају кључни елемент у области биомедицинске технике. Комплексност медицинских проблема захтева коришћење високо перформансних система и компоненти. Како се као преносни медијум рефлектоване светлости у великом броју биосензора, користи оптичко влакно малог пречника или сноп оптичких влакана, неопходно је редовно тестирање њихових карактеристика. То се односи првенствено на спрезање оптичких влакана са извором и детектором светлости и контролу његових чеоних површина, јер укупно слабљење увек мора да буде мање од укупне расположиве снаге. Томе у прилог иде чињеница да је слабљење оптичке снаге на једном квалитетном споју оптичких влакана, приближно исто као и слабљење на километру дужине оптичког влакна. Неквалитетан спој оптичких влакана, као што се види у раду, доводи до великих слабљења или потпуног онемогућавања пролаза оптичког сигнала, а на тај начин се угрожава могућност коришћења читавог система. Провера и тестирање карактеристика оптичких влакана врши се у свим фазама рада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] U. Utzinger, R. R. Richards-Kortum, "Fiber optic probes for biomedical optical spectroscopy", *Journal of Biomedical Optics* 8(1), 121-147, January 2003.
- [2] N. Borna, A. Grujic, V. Cosovic, R. Aleksic, "Spontaneous relaxation processes in irradiated germanosilicate optical fibres", *Electronics Letters*, Vol.25, pp.478-480, March 1989.
- [3] J. Dakin, B. Culshaw, "Optical Fiber Sensors: Principles and Components", Volume one, Boston, 1988.
- [4] H. A. Jones-Bey, "Optical imaging offers new biological insight", *Laser Focus World*, March 2004.
- [5] [5] А. Маринчић, "Оптичке телекомуникације", Грађевинска књига, Београд, 1997.
- [6] *Digital Imaging and Communication*. In AKR-NEMA standard publication: 1988.

Abstract: The paper describes experimental results of properties of fiber optic probes. Fiber optic probes are a key element for biomedical spectroscopic sensing.

SOME FEATURES OF OPTICAL FIBERS SYSTEMS APPLIED IN DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC PURPOSES

Slađana Pantelić, Nadezda Borna, Branka Kaluđerović