



پژوهشکده لیزر و پلاسما

اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبر نوری - ۱۴۰۰

ICOFS 2021

1<sup>st</sup> Iranian Conference on Optical Fiber Sensors

October 28, 2021



## آشکارسازی قطرات در تراشه اپتوفلوئیدیک با استفاده از فیبر نوری باریک شده

فیروزه قانع<sup>۱\*</sup>، امیدرضا رنجبر نائینی<sup>۱</sup>، ندا امین‌الرعایا<sup>۱</sup>، محمدرضا صالحی مقدم<sup>۱</sup>، امیرحسین پرندوش<sup>۱</sup>، حمید لطیفی<sup>۲،۱</sup>

<sup>۱</sup>تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما

<sup>۲</sup>تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده فیزیک

**چکیده:** در این مقاله یک تراشه اپتوفلوئیدیک تک لایه طراحی و ساخته شد که در ساختار آن از یک فیبر نوری باریک شده غیرآدیاباتیکی به قطر کمره ۱۲ میکرون، جهت تشخیص زمان واقعی فرکانس قطرات آب تشکیل شده در تراشه میکروسیالی استفاده شده است. در پژوهش حاضر با استفاده از روش دی مدولاسیون شدت طیف خروجی فیبر نوری باریک شده، تولید قطرات در فرکانس های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ کیلوهرتز در زمان واقعی تشخیص و تاثیر تغییر نرخ جریان سیال در تغییر فرکانس تشکیل قطرات آشکارسازی شد.

**کلید واژگان:** فیبر نوری باریک شده؛ قطرات؛ زمان واقعی؛ اپتوفلوئیدیک

## Detection of droplets in the optofluidic chip by using a tapered optical fiber

Firoozeh Ghaneie<sup>1</sup>, O.R. Ranjbar-Naeini<sup>1</sup>, Neda Aminolroaya<sup>1</sup>, Mohammadreza Salehi Moghaddam<sup>1</sup>, Amir Hosein Parandvash<sup>1</sup>, Hamid Latifi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, 1983963113, Evin, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Physics, Shahid Beheshti University, 1983963113, Evin, Tehran, Iran

**Abstract-** In this paper, a single-layer optofluidic chip was designed and fabricated in which a non-adiabatic tapered optical fiber with a diameter of 12 microns was used to detect the real-time frequency of water droplets. This experiment carried out the microfluidic chip. In this study, by using the intensity-based demodulation the output spectrum of the tapered optical fiber was investigated. The droplet formation frequency at 0.1, 0.2, and 0.3 kHz was detected in real-time. Finally, the effect of changing the fluid flow rate on the droplet formation frequency was detected as well.

**Keywords:** tapered optical fiber; droplets; real-time; Optofluidic

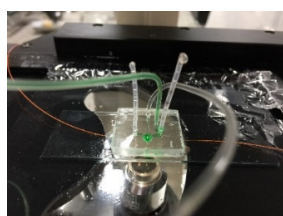
\*gfirooze@yahoo.com

## ۱- مقدمه

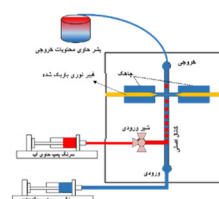
فرآیندهای میکروسیال دو فازی که توسط دو سیال غیر قابل امتزاج یا میکروذرات پراکنده درسیال با غلظت مشخص ایجاد می‌شوند، در بسیاری از تحقیقات شیمیایی و بیولوژیکی رایج هستند. انتخاب روش‌ها و فناوری‌های تشخیص و کنترل سیالات بیولوژیکی و شیمیایی در میکروکانال‌ها، یک مسئله مهم در طراحی تراشه‌های میکروسیالی برای آزمایشگاه‌های روی تراشه است [۱]. تاکنون روش‌های تشخیص متفاوتی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته که روش‌های نوری به دلیل حساسیت، مقیاس‌پذیری به ابعاد ریز بیش‌ترین کاربرد را دارند [۲]. در میان روش‌های تشخیصی نوری، میکروسکوپ نوری یکی از پرکاربردترین ابزار برای پایش قطرات و حباب‌ها در تراشه میکروسیالی است. اما نمونه‌های آزمایشی با کنتراست پایین در تجزیه و تحلیل‌های بیوشیمیایی با نور مرئی، به راحتی قابل تشخیص نیستند. بر این اساس، تصاویر با کیفیت بالا باید با برچسب زدن ترکیب بیوشیمیایی خاص با استفاده از معرف‌های فلورسنت بدست آیند. با این وجود، زمان نوردهی طولانی برای ایجاد فلورسانس مورد نیاز است تا نسبت سیگنال به نویز را افزایش دهد. این امر فرکانس تحلیل را به حدود ۱۰ هرتز محدود می‌کند [۳]. همچنین اندازه‌گیری ضریب شکست که یکی از خواص اساسی در تشخیص نوع ماده است، از کمیت‌های مهم در آزمایش‌های شیمیایی و بیولوژیکی است. Polynkin و همکاران با استفاده از میدان میراثونده یک فیبر نوری باریک شده که در زیرکانال میکروفلوئیدیک واقع شده بود، ضریب شکست یک جریان تک فاز را اندازه‌گیری کردند. این روش پتانسیل‌های زیادی را برای استفاده از میکرو فیبر نوری برای اندازه‌گیری با حساسیت بالا، واکنش سریع و هزینه کم نشان داده‌است. با این وجود، فرآیند ساخت با استفاده از این روش به آسانی قابل تکرار نیست، زیرا تعبیه دقیق میکرو فیبر نوری در زیر کانال بسیار دشوار است [۴]. از جمله مزایای این طرح می‌توان به ساخت تراشه کوچک و قابل حمل اشاره کرد که به منظور غلبه بر کاهش رزولوشن مکانی، فیبرنوری باریک‌شده به صورت متعامد بر کانال اصلی میکروسیالی تعبیه شد که علاوه بر کاهش هزینه‌های آزمایش، آشکارسازی قطرات در زمان واقعی و بدون نیاز به برچسب‌گذاری را فراهم می‌آورد.

## ۲- طراحی و ساخت

در این پژوهش، تراشه اپتوفلوئیدیک به صورت تک لایه‌ای طراحی شد تا عناصر اپتیکی و کانال میکروفلوئیدیک به طور همزمان بر روی یک تراشه قرار گیرند. همانطور که در شکل ۱-الف نشان داده شده‌است تراشه دارای بخشی با شکل هندسه اتصال T برای تولید قطرات است که دارای سطح مقطع مستطیلی به ابعاد  $(360 \times 300 \mu m^2)$  و دربردارنده فاز گسسته می‌باشد. همچنین در این طراحی به منظور مجتمع‌سازی میکروفیبرنوری با تراشه میکروفلوئیدیک، مکانی برای قرارگیری آن تعبیه شده‌است. این مکان عمود بر کانال اصلی تراشه میکروفلوئیدیک است که به منظور جلوگیری از تماس میکروفیبرنوری با کف کانال و کاهش ارتعاشات آن، شامل دو چاهک است که از فاز پیوسته پر می‌شوند. کانال اصلی دارای سطح مقطع مستطیلی به ابعاد  $(500 \times 300 \mu m^2)$  است که حامل فاز پیوسته است.



(ب)

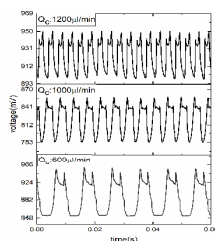


(الف)

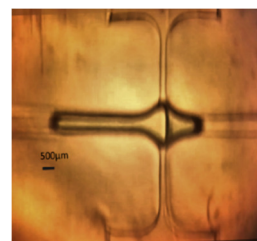
شکل ۱- (الف) شماتیکی از نحوه عملکرد تراشه اپتوفلوئیدیک (ب) تراشه اپتوفلوئیدیک ساخته شده

### ۳- آزمایش و نتایج تجربی

جهت ارزیابی عملکرد تراشه در تشخیص و آشکارسازی قطره و میکروسیال دوفازی، در این آزمایش لیزر DFB قابل تنظیم به عنوان منبع نوری مورد استفاده قرار گرفت و طول موج این لیزر بر روی نقطه یک چهارم<sup>۱</sup> طیف نوری فیبر نوری باریک شده در طول موج ۱۵۵۸/۵۴ نانومتر تثبیت شد. سپس لیزر به ورودی فیبر نوری باریک شده هدایت و خروجی میکروفیبر نوری به آشکارساز نوری متصل شد. سیگنال حاصل از آشکارساز نوری توسط کارت DAQ با فرکانس داده برداری  $100 \frac{ks}{s}$  نمونه برداری و در رایانه ثبت شد. در پژوهش حاضر کمینه آشکارسازی ضریب شکست توسط این فیبر نوری باریک شده غیرآدیاباتیک و دستگاه اندازه گیری  $1 \times 10^{-4}$  RIU محاسبه شد. با ثابت نگه داشتن نرخ جریان سیال آب رنگی در مقدار  $600 \frac{\mu l}{min}$  و تغییر نرخ جریان سیال هگزادکان در نرخ های جریان  $1000 \frac{\mu l}{min}$ ،  $100 \frac{\mu l}{min}$  و  $600 \frac{\mu l}{min}$  فرکانس تشکیل قطرات در تراشه با استفاده از پاسخ زمانی فیبر نوری باریک شده به عبور قطرات اندازه گیری شد و همزمان با ثبت داده، با استفاده از میکروسکوپ و دوربین، عبور قطرات و برهمکنش آن با فیبر نوری باریک شده در تراشه مشاهده شد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- (الف) عبور قطره از کمره فیبر نوری باریک شده در تراشه اپتوفلئوئیدیک (ب) آشکارسازی قطرات و تشخیص فرکانس قطرات در نرخ جریان سیال آب رنگی  $600 \frac{\mu l}{min}$  و نرخ جریان سیال هگزادکان  $1000 \frac{\mu l}{min}$ ،  $100 \frac{\mu l}{min}$  و  $600 \frac{\mu l}{min}$

### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش یک تراشه اپتوفلئوئیدیک تک لایه از جنس PDMS طراحی و ساخته شد که با استفاده از فیبرنوری باریک شده غیر-آدیاباتیک موجود در ساختار آن و اختلاف ضریب شکستی دوسیال هگزادکان و آب دی یونیزه، قطرات آب تشکیل شده در فاز حامل هگزادکان آشکارسازی و فرکانس تولید قطرات تشخیص داده شد. نتایج این آزمایش نشان می دهد عوامل مختلفی منجر به تغییر سطح ولتاژ می شود. این عوامل عبارتند از: تغییر ضریب شکست به دلیل وجود دو فاز سیالی متفاوت، تغییر طول موثر برهمکنش قطره با کمره فیبر نوری باریک شده به دلیل تغییر در ابعاد قطرات، کرنش و اتلاف توان. کرنش می تواند به سبب تکانه ای باشد که قطرات بر فیبر نوری باریک شده وارد می کنند و اتلاف توان می تواند به سبب خمش فیبر نوری باریک شده در تراشه باشد.

### مراجع:

1. P. C. Li, *Fundamentals of microfluidics and lab on a chip for biological analysis and discovery*, CRC Press, 2010
2. Gai et. al. *Microfluidics*, pp 171-201, (2011)
3. Hsieh et. al. *Sensors and Actuators B* : Chemical 237, pp 841-848, (2016)
4. P. Polynkin, *Opt. Lett.*, 30 (2005), pp. 1273-1275

<sup>1</sup> Quadrature point