بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

تولید و اندازه‌گیری مگنتواپتیکی فوق‌سریع پالس میدان مغناطیسی زیر نانوثانیه

قاسم قاسمی، مهدی شافعی و محمد مهدی طهرانچی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده – در این مقاله اندازه‌گیری مگنتواپتیکی پالس‌های میدان مغناطیسی با زمان خیز کمتر از یک نانو ثانیه ارئه گردیده است. این پالس‌های فوق کوتاه با اعمال جریان الکتریکی به یک میکروکویل تولید شده و از سه خط انتقال و دو سوئیچ استفاده گردیده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری اثر مگنتواپتیکی فارادی در فیلم نازک گارنت آلاییده به بیسموت، نشان‌دهنده قابلیت اندازه‌گیری میدان‌های پالسی فوق‌سریع با زمان خیز ۶۰۰ پیکوثانیه می‌باشد.

کلید واژه- میدان مغناطیسی پالسی ، خط انتقال ، فیلم نازک،مگنتو اپتیک.

Production and measurement of sub-nanosecond magnetic field based on magneto-optical method

Gh Ghasemi , M Shafei , M M Tehranchi

Laser and Plasma Research Institute, G. C., Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, IranThe Authors

Physics Department, G. C., Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran

Abstract- In this paper measuring sub-nanosecond magnetic pulses using magneto-optic sampling technique is presented. Theses ultra short pulses are produced using three transmission lines and two switches that induce electric current through Micro coil. The technique is based on time-resolved magneto-optic Faraday effect in a (Bi:YIG) film. A unique feature of the method is that it directly measures the ultra short magnetic pulses with spatial resolution in order of micrometer.

Keywords: Magnetic field pulse, Transmission line, Thin film, Magneto-optics.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

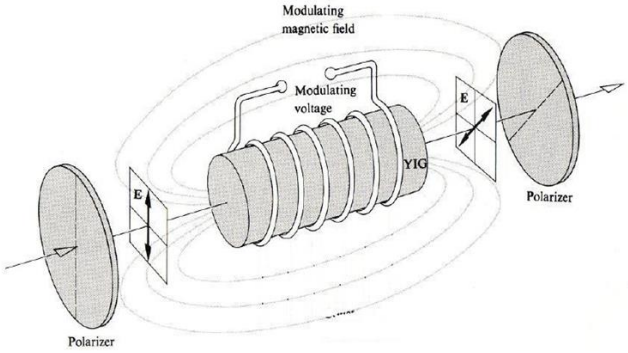
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

طراحی حسگرهای مگنتواپتیکی فرکانس بالا [۱]، مدولاتورهای فرکانس بالا [۲] و حافظه‌های مغناطیسی سریع [۳] نیازمند بررسی رفتار دینامیک مغناطش می‌باشد. برای بررسی رفتار دینامیک مغناطش می‌بایست میدان‌های مغناطیسی نانو و زیر نانو ثانیه تولید و اندازه‌گیری شوند. روش‌های رایج برای مشخصه‌یابی شکل زمانی پالس‌های جریان با سرعت بالا اندازه‌گیری‌های الکترو-اپتیکی[۱] [۴]، [۵] و رسانای نوری[۲] [۶]، [۷] هستند. اگر بتوان میدان مغناطیسی تولید شده توسط پالس جریان را آشکارسازی کرد، یک روش جایگزین به جای روش‌های دیگر به وجود می‌آید که اندازه‌گیری مستقیم پالس‌های جریان را میسر می‌سازد. حسگر مگنتواپتیکی فارادی یکی از راه‌های اندازه‌گیری مستقیم پالس‌های جریان می‌باشد. از مزیت‌های این روش می‌توان به قابلیت ویژه آن در اندازه‌گیری پالس‌های جریان گذرنده از نقاط مختلف نمونه در حال بررسی و اندازه‌گیری دقیق و غیر مخرب پالس‌های جریان اشاره کرد. در این مقاله چیدمان مگنتواپتیکی فارادی جهت اندازه‌گیری پالس‌های میدان مغناطیسی زیر نانوثانیه برپا گشته و راستی آزمایی پاسخ چیدمان توسط تحلیل‌گر چرخان انجام گردیده است. در حسگر مگنتو اپتیکی فارادی وقتی که میدان مغناطیسی به نمونه اعمال می‌شود تابع پاسخ نمونه عناصر غیر قطری به خود می‌گیرد.

$$\vec{D} = \overleftrightarrow{\varepsilon}\vec{E} \qquad (۱)$$

که در آن $\vec{D}$ بردار جابجایی الکتریکی، $\overleftrightarrow{\varepsilon}$ تانسور پذیرفتاری ماده و $\vec{E}$ بردار میدان الکتریکی است. این امر باعث می‌شود تا ضریب شکست برای قطبش‌های دایروی راست‌گرد و چپ‌گرد متفاوت باشد و این دو قطبش تبدیل به ویژه‌مدهای ماده گردند. به همین دلیل صفحه‌ی قطبش نور قطبیده‌ای که در راستای میدان اعمالی به ماده



شکل۱: طرح‌واری از اثر مگنتواپتیکی فارادی.

برخورد می‌کند، می‌چرخد که اندازه این چرخش با رابطه زیر داده می‌شود[۸]:

$$\theta_f = VBL \qquad (۲)$$

که در آن V ضریب وردت[۳] نمونه، B اندازه‌ی میدان مغناطیسی در ماده و L اندازه مسیر نور در نمونه است. پس اگر شکل زمانی تغییرات زاویه چرخش را بدست آوریم در واقع شکل میدان و در نهایت شکل پالس جریان را بدست آورده‌ایم. شکل میدان حاصل از یک تک حلقه در فاصله Z از مرکز حلقه ب شکل زیر است.

$$B(t) = \mu_0 \frac{I\ (t)}{2} \frac{R^2}{\left(R^2 + Z^2\right)^{3/2}} \qquad (۳)$$

که در آن μ_0 ثابت تراوایی خلا، R شعاع کویل I جریان گذرنده ازکویل است.

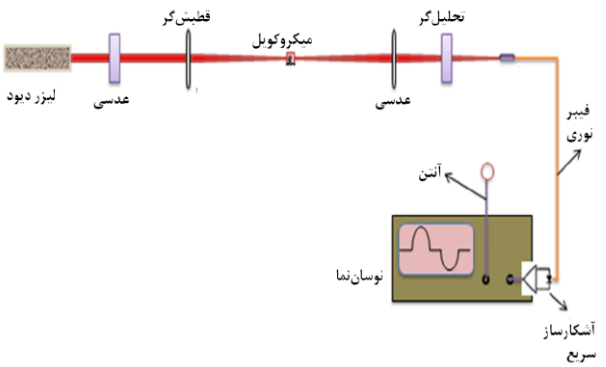
---

[۱] - electro-optic

[۲] - photoconductive

[۳] - verdet constant

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]



شکل ۲: طرحواره چیدمان حسگر مگنتواپتیکی فارادی.

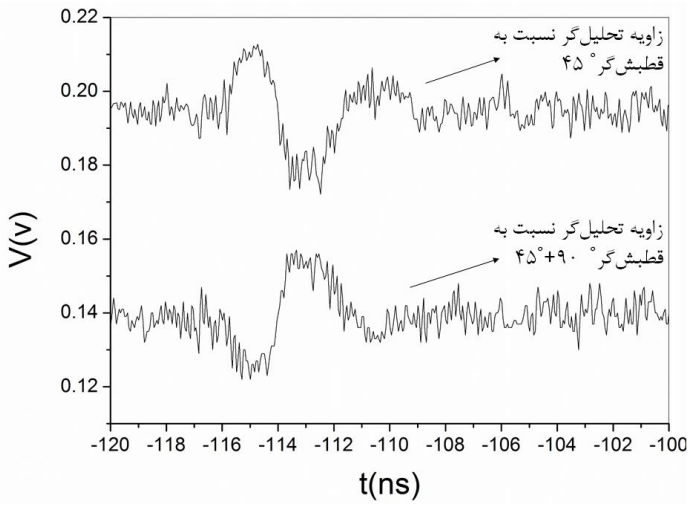
کارهای قبلی انجام شده در زمینه تولید و اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی سریع که در آزمایشگاه مگنتوفتونیک دانشگاه شهید بهشتی انجام گردید منجر به تولید و اندازه‌گیری میدان‌های ۵۴ نانوثانیه و۲۵ نانوثانیه گردیده است [۹].

۲- چیدمان مگنتواپتیکی سریع

در اینجا به منظور تولید میدان مغناطیسی پالسی از سه خط انتقال و دو سوئیچ استفاده شد که عایق یکی از خط‌های انتقال‌تفلون و دوتای دیگر هوا است، استفاده شد. گاز مورد استفاده در سوئیچ گازی نیتروژن بود و فشار داخل سوئیچ bar ۵ تنظیم شد. در انتهای خط انتقال نیز از یک میکروکویل تک حلقه با شعاع mm ۱٫۵ استفاده شد که جریان پالسی تولید شده توسط خط انتقال روی آن تخلیه می‌شد و نمونه نیز روی میکروکویل قرار گرفت. نور لیزر با طول موج nm ۷۸۶و توان mw ۲۰۰ توسط یک قطبش‌گر قطبیده شده و به وسیله‌ی عدسی روی نمونه که لایه نازک $Bi:YIG$ است، کانونی شد. پس از عبور از نمونه نور لیزر از تحلیل‌گر که در زاویه $^{\circ}$ ۴۵ نسبت به قطبش‌گر قرار داشت عبور کرده و به داخل یک فیبر نوری هدایت شد. در انتهای فیبر نیز از یک آشکارساز سریع نوری برای تبدیل شدت نور به ولتاژ استفاده شد و در آخر هم برای ثبت داده‌ها از یک نوسان نمای سریع استفاده شد که آشکارساز نوری به آن وصل می‌شد.

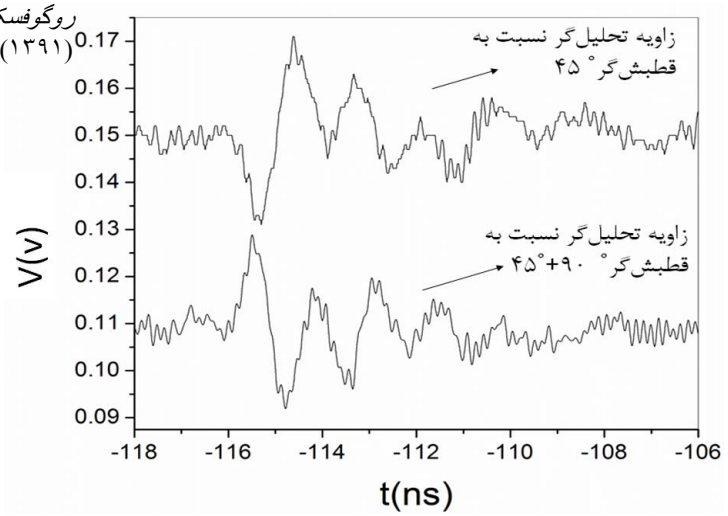
۳- نتایج و بحث‌ها

نتیجه‌ی بدست آمده از چیدمان حسگر فارادی در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده پالس دوقطبی با زمان خیز ns ۱٫۲، فاصله قله تا قله در حدود ns ۱ و زمان خیز ps ۶۱۰، فاصله قله تا قله در حدود ps ۷۴۰ به ترتیب در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. برای کسب اطمینان از صحت داده‌ی گرفته شده آزمایش چندین بار تکرار شد که در همه‌ی آن‌ها شکل پالس یکسانی بدست آمد. سپس با چرخش قطبش‌گر به اندازه $^{\circ}$ ۹۰ انتظار داشتیم که جهت پالس با حفظ شکل معکوس شود که نتیجه بدست آمده مطابق انتظار بود. همچنین با توجه به فاصله خط انتقال از نوسان‌نما، داده گرفته شده درست در محل پیش‌بینی شده ثبت گردید که دلیل دیگری بر صحت داده ثبت شده است.



شکل ۳: پالس دوقطبی با زمان خیز ns ۱٫۲، فاصله قله تا قله در حدود ns ۱، طول پالس ns ۵ و زمان افت ns ۱٫۱ .

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]



شکل ۴: زمان خیز *ps* ۶۱۰، فاصله قله تا قله در حدود *ps* ۷۴۰، طول پالس *ns* ۲ و زمان افت *ps* ۶۱۰.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله ما توانستیم با استفاده از حسگر مگنتواپتیکی فارادی و نمونه سریعی (چرخش فارادی زیاد در واحد طول) که داشتیم، شکل پالس جریان فوق سریع را با دقت بالا با تفکیک فضایی میکرومتری اندازه بگیریم.

مراجع

[1] M. R. Freeman "*Picosecond pulsed field probes of magnetic systems*", **J. Appl. Phys**, 75, 6194, (1994)

[2] S. E. Irvine and A. Y. Elezzabi "*Multigigahertz Guided Wave Magnetooptic Modulator*" IEEE **PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS**, 14, 6, (2002)

[3] J.-G. Zhu, Y. Zheng, and G. A. Prinz. "*Ultrahigh density vertical magnetoresistive random access memory* ". **J. Appl. Phys**. 87, 6668 (2000).

[4] F.J. leonberger, C.H.Lee, F.Capasso, and H.Morkoc "*Picosecond Electronics and Optoelectronics*" **Springer-Verlag, Berlin**, (1987)

[5] J. A. Valdmanis and G. Mourou, Picosecond Electronic Devices, edited by C. H. Lee~Academic, New York, (1984).

[6] D. H. Auston, Appl. Phys. Lett.26, 101 (1975).

[7] A. C. Davidson, F. W. Wise, and R. C. Compton, **Appl. Phys. Lett**.66, 2259 (1995).

[8] A K Zvezdin and V A Kotov "*Modern Magnetooptics and Magnetooptical Materials*" **IOP Publishing Ltd** (1997)

[9] مجتبی فتحی،مهیاراسماعیل‌پور، سید محمد حسین خلخالی، محمد مهدی طهرانچی، *تولید میدان مغناطیسی پالسی نانوثانیه و اندازه‌گیری آن به روش اثر مگنتواپتیکی فارادی و حسگر*

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]