بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

بررسی پدیده شفافیت القایی مگنتوپلاسمونیکی (MPIT) در ساختارهای چند لایه مگنتو-اپتیکی

'آمنه رضاییان و ''محمود حسینی فرزاد

دانشگاه شیراز بخش فیزیک, شیراز-ایران 'abenth۱۳۶۹@gmail.com and ''hosseinif@shirazu.ac.ir

چکیده - در این مقاله ما ساختارهای مگنتو-اپتیکی شامل دو لایه مگنتوپلاسمونیکی در پیکربندی کرشمن پیشنهاد می‌دهیم که بوسیله لایه‌های فلز و دی‌الکتریک از هم جدا شده‌اند. برهمکنش بین دو لایه مگنتوپلاسمونیکی منجر به ظاهر شدن یک قله جدید در منحنی زاویه‌ای TMOKE می‌شود که موقعیت و اندازه آن بطور قوی به جنس و ضخامت لایه جدا کننده بستگی دارد. ما این قله جدید را به پدیده شفافیت القایی مگنتوپلاسمونیکی (MPIT) تعبیر می‌کنیم.

کلید واژه- پیکربندی کرشمن, ساختارهای مگنتو-اپتیکی و شفافیت القایی مگنتوپلاسمونیکی (MPIT).

Investigation Of Magneto-Plasmonic Induced Transparency (MPIT) Phenomenon In Magneto-Optical Heterostructures

Amene Rezaeian' and Mahmood Hosseini farzad''

Shiraz university Department of physics, Shiraz-Iran.
abenth۱۳۶۹@gmail.com' and hosseinif@shirazu.ac.ir''

Abstract- In this paper, we propose magneto-optical structures consisting of two magneto-plasmonic layers that separated with each other by metal and dielectric spacers in Kretschmann configuration. The interaction between both magneto-plasmonic layers lead to appearance a new peak in the TMOKE angular curve, whose position and its value strongly depends on the material and thickness of spacer. We interpret this new peak to the magneto-plasmonic induced transparency (MPIT) phenomenon.

Keywords: Kretschmann configuration, magneto-optical structures and magneto-plasmonic induced transparency (MPIT)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

مقدمه

مدهای پلاسمون پلاریتون سطحی (spp)[۱] امواج الکترو-مغناطیسی هستند که در فصل مشترک فلز-دی‌الکتریک جایگزیده شده‌اند. خصوصیات انتشار sppها و توزیع میدان الکترومغناطیسی آن‌ها بطور قوی به خصوصیات اپتیکی و مورفولوژی فصل مشترک سیستم بستگی دارد. این وابستگی در زمینه‌های مختلف اپتیکی مانند سوئیچ‌های اپتیکی [۱], حسگرهای بیوشیمی [۲] و ... بکار گرفته شده است. مدهای spp نسبت به میدان مغناطیسی حساس نیستند. اما با اضافه کردن یک ماهیت فرومغناطیسی به سیستم و اعمال میدان مغناطیسی خارجی به آن, می‌توان تحریکات spp در ساختارهای فلزی را کنترل کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی روی خصوصیات مدهای spp به جهت‌گیری میدان مغناطیسی خارجی نسبت به بردار موج spp بستگی دارد. در مورد اثر مگنتو-اپتیکی کر عرضی (TMOKE[۲]), میدان مغناطیسی خارجی عمود بر جهت انتشار spp و موازی با فصل مشترک اعمال شده و تانسور گذردهی الکتریکی بصورت زیر تعریف می‌شود [۳]:

$$\vec{\vec{\varepsilon}} = \begin{pmatrix} \varepsilon_m & 0 & ig \\ 0 & \varepsilon_m & 0 \\ -ig & 0 & \varepsilon_m \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

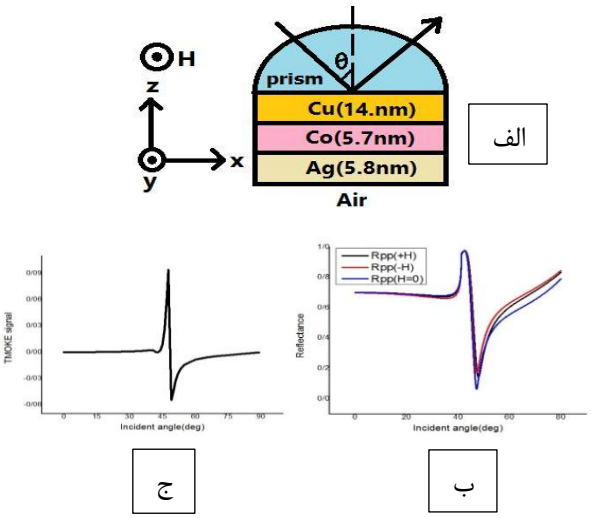
ig متناسب با مغناطش است. سیگنال TMOKE بصورت $\frac{\Delta R}{R} = \frac{R(+H) - R(-H)}{R(H=0)}$ بیان می‌شود. $R(H=0)$ و $R(\pm H)$ به ترتیب بازتاب در عدم حضور و در حضور (در جهت مثبت و منفی) میدان مغناطیسی خارجی می‌باشند. در این مقاله ما ساختارهایی با دو لایه مگنتوپلاسمونیکی پیشنهاد می‌دهیم که با فلز و دی‌الکتریک از هم جدا شده اند. برهمکنش الکترومغناطیسی بین این دو لایه منجر به ظاهر شدن یک قله در منحنی زاویه‌ای TMOKE می‌شود.

پاسخ مگنتو-اپتیکی ساختارهای مورد بررسی

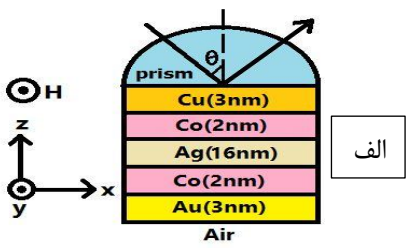
نخست ساختار سه لایه معمول مگنتو-اپتیکی (شکل (۱-الف)), Cu(۱٤nm)/Co(٥،۷nm)/Ag(٥،۸nm), در پیکر -بندی کرشمن در نظر می‌گیریم. ثانیاً با الحاق کردن یک لایه مگنتوپلاسمونیکی, Co/Au, به ساختار سه لایه بالا ساختاری شامل دو لایه مگنتوپلاسمونیکی,

Cu(۳nm)/Co(۲nm)/Ag(۱٦nm)/Co(۲nm)/Au (۳nm),

بدست می‌آید (شکل (۲-الف)). این دو ساختار را بوسیله نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی می‌کنیم. منحنی‌های زاویه‌ای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE بدست آمده به ترتیب در (۱-ب), (۱-ج) و (۲-ب), (۲-ج) نشان داده شده است.

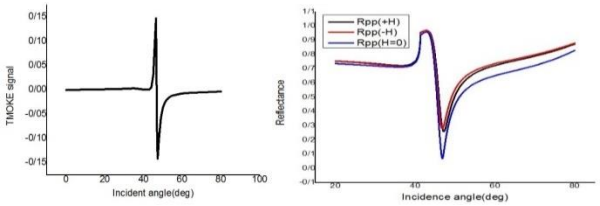


شکل ۱: قسمت الف شماتیکی از ساختار سه لایه معمول مگنتو-اپتیکی در پیکربندی کرشمن, قسمت‌های ب و ج به ترتیب منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE را نشان می‌دهند.



[۱] surface plasmon polariton
[۲] transverse magneto-optical Kerr effect (TMOKE)

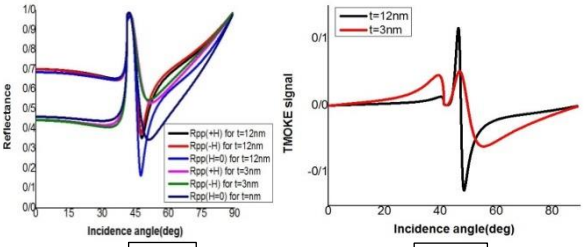
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]



ب ج

شکل ۲: قسمت الف شماتیکی از ساختار چند لایه مگنتو-اپتیکی مورد نظر در پیکربندی کرشمن, قسمت‌های ب و ج به ترتیب منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE برای لایه نقره با ضخامت ۱۶ نانومتر را نشان می‌دهند.

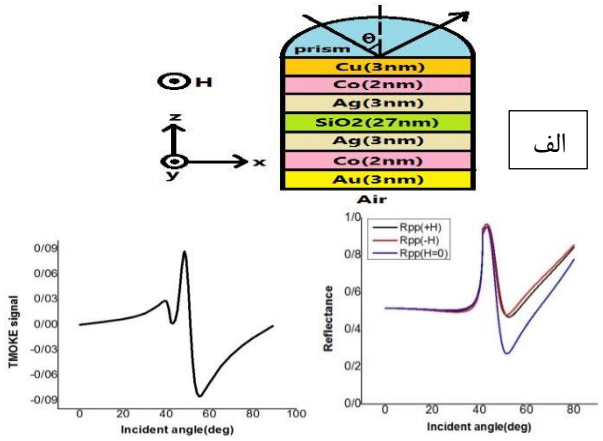
همانطورکه می‌توان در شکل (۲) مشاهده کرد, منحنی TMOKE ساختار مورد بررسی, مشابه منحنی TMOKE ساختار سه لایه معمول مگنتو-اپتیکی است. به تدریج ضخامت لایه جفت‌کننده (لایه نقره) را کاهش می‌دهیم. منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE به ترتیب در شکل (۳-الف), (۳-ب) نشان داده شده است.



ب الف

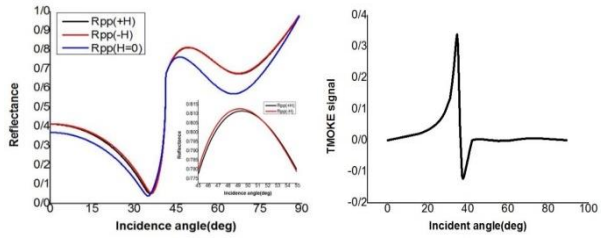
شکل ۳: قسمت‌های الف و ب به ترتیب منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای R(±H, H=۰) و سیگنال TMOKE را نشان می‌دهند.

مطابق شکل (۳) همانطور که لایه نقره نازک‌تر می‌شود, برهمکنش بین دو لایه مگنتوپلاسمونیکی افزایش می‌یابد تا جایی که یک قله جدید در منحنی زاویه‌ای TMOKE ظاهر شده که موقعیت و اندازه آن بطور قوی به ضخامت لایه نقره بستگی دارد. ما این قله جدید ظاهر شده را به پدیده شفافیت القایی مگنتوپلاسمونیکی (MPIT) نسبت می‌دهیم. اکنون ترکیبی از دو لایه نقره و SiO_2 جایگزین تک لایه نقره می‌کنیم (شکل (۴-الف)). مشاهده می‌کنیم که اندازه قله شفافیت و زاویه آن نسبت به حالت نقره با ضخامت ۳ نانومتر به ترتیب از ۰/۰۵۱۵ به ۰/۰۸۶۹ و از ۴۶/۹۲ درجه به ۴۸/۳۲ درجه تغییر کرده است. با ضخیم شدن لایه SiO_2 برهمکنش بین دو لایه مگنتوپلاسمونیکی کاهش می‌یابد. در ضخامت ۱۵۰ نانومتر قله شفافیت محو شده, منحنی TMOKE شبیه منحنی TMOKE ساختار سه لایه معمول مگنتو-اپتیکی می‌شود. منحنی‌های زاویه - ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE برای ضخامت‌های ۲۷ و۱۵۰ نانومتر SiO_2 به ترتیب در (۴-ب), (۴-ج) و (۵-الف), (۵-ب) نشان داده شده است.



الف ب ج

شکل ۴: قسمت الف شماتیکی از ساختار چند لایه مگنتو-اپتیکی مورد نظر در پیکربندی کرشمن, قسمت‌های ب و ج به ترتیب منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE برای لایه SiO_2 با ضخامت ۲۷ نانومتر را نشان می‌دهند.



ب الف

شکل ۵: قسمت‌های الف و ب به ترتیب منحنی‌های زاویه‌ای بدست آمده برای $R(\pm H, H=0)$ و سیگنال TMOKE برای لایه SiO_2 با ضخامت ۱۵۰ نانومتر را نشان می‌دهند.

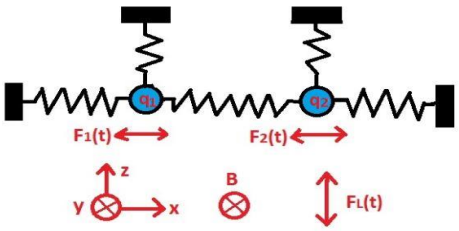
ضرایب شکست استفاده شده در شبیه‌سازی بصورت زیر انتخاب شده‌اند: $n_{prism} = ۱.۵۱۵۱,\ n_{SiO_2} = ۱.۴۵۷,$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

$n_{Au} = ۰.۱۹۶ + i3.۲۵۵,\ n_{Ag} = ۰.۱۳٤ + i3.۹۸٦$
$\varepsilon_m = -۱۰.٦ + i24.۳,\ \mathrm{g} = -۰.٦٤۸ + i0.۰۰۰۷$
$.n_{Cu} = ۰.۲۷ + i3.۲٤$

توجیه پدیده شفافیت القایی مگنتوپلاسمونیکی (MPIT) بوسیله نوسانگرهای جفت شده

سیستمی شامل دو ذره باردار که بوسیله فنر به هم متصل شده‌اند, در میدان مغناطیسی استاتیکی در نظر می‌گیریم. اعمال نیرو محرکه القایی(در جهت x) و میدان مغناطیسی خارجی (در جهت y) به ترتیب منجر به نوسان ذره‌ها (در جهت x) و القای نیروی لورنتس $\vec{F}_l = q\vec{r} \times \vec{B}$ (در جهت z) می‌شود. در نتیجه صفحه حرکت ذره‌ها محدود به صفحه xz می‌باشد (شکل (۶)).



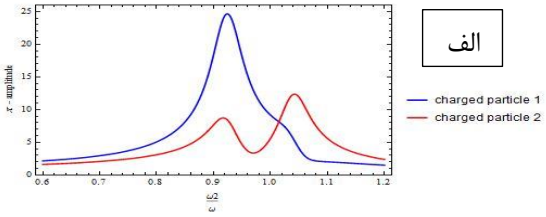
شکل ۶: سیستمی شامل دو ذره باردار (معادل دو لایه مگنتوپلاسمونیکی) که بوسیله یک فنر به هم متصل شده‌اند را در میدان مغناطیسی استاتیکی نشان می‌دهد.

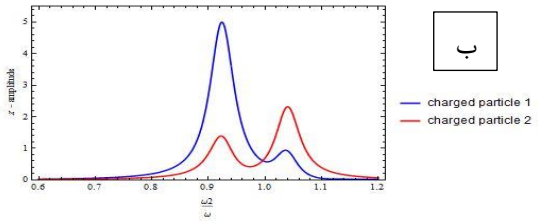
معادلات حرکت ذره‌ها بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$-f_1 = \left(\omega^2 - \omega_1^2 + i\,\omega\Gamma_1 - \omega_{12}^2\right) r_1 + \left(\omega_{12}^2\right) r_2 \qquad (۲\text{-a})$$

$$-f_2 = \left(\omega^2 - \omega_2^2 + i\,\omega\Gamma_2 - \omega_{12}^2\right) r_2 + \left(\omega_{12}^2\right) r_1 \qquad (۲\text{-b})$$

r_i مکان ذره‌ها, ω_i فرکانس‌های طبیعی, $\omega_{۱۲}$ ثابت جفت شدگی, و f_i شتاب ذرات است. $\Gamma_i = \begin{pmatrix} \gamma_i & \omega_{ci} \\ -\omega_{ci} & \gamma_i \end{pmatrix}$ ترم میرایی, γ_i ثابت‌های افت و ω_{ci} فرکانس سیکلوترون ذرات هستند. با حل این معادلات برای حالت $\omega_{c۱}=\omega_{c۲}$ و $\gamma_1=\gamma_2$, نمودارها بصورت شکل (۷) بدست می‌آیند:





شکل ۷: قسمت‌های الف و ب به ترتیب دامنه‌های x و z بعنوان تابعی از فرکانس ذره دوم را نشان می‌دهند.

وقتی انرژی الکترومغناطیسی به ذره اول می‌رسد منحنی پهن با یک قله داریم, با رسیدن انرژی الکترومغناطیسی به ذره دوم برهمکنش‌های بین ذره اول و دوم محسوس‌تر شده و یک منحنی تشدیدی با دو قله بوجود می‌آید.

نتیجه‌گیری

پدیده MPIT برای ساختارهایی شامل دو لایه مگنتو-پلاسمونیکی که با لایه‌های فلز و دی‌الکتریک از هم جدا شده‌اند, بررسی شد. مدل نوسانگرهای جفت‌شده وجود این پدیده را تایید کرده و نشان می‌دهد خصوصیات شکل خط آن مشابه پدیده PIT مشاهده شده در ساختارهای MIM می‌باشد [۴] ما آن را پدیده MPIT نامگذاری کردیم.

مرجع‌ها

[۱] T. Nikolajsen, K. Leosson, and S. I. Bozhevolnyi," Surface plasmon polariton based modulators and switches operating at telecom wavelengths", Appl. Phys. Lett. Vol. ۸۵, No. ۲٤, pp. ۵۸۳۳-۵۸۳۵, ۲۰۰٤.

[۲] A. G. Brolo, R. Gordon, B. Leathem, and K. L. Kavanagh," Surface Plasmon Sensor Based on the Enhanced Light Transmission through Arrays of Nanoholes in Gold Films", Langmuir, Vol. ۲۰, No. ۱۲, pp. ٤۸۱۳-٤۸۱۵, ۲۰۰٤.

[۳] Y. Gong, K. Lie, S. Carver, J.J. Martinez, J. Huang, Y. Thueux, N. Avlonitis and N. Copner۱," Current control of light by nonreciprocal magnetoplasmonics", Appl. Phys. Lett. Vol. ۱۰٦, No. ۱۹, pp. ۱۹۱۱۰٤-۱۹۱۱۰٤_٤, ۲۰۱۵.

[٤] Y. Neo, T. Matsumoto, T. Watanabe, M. Tomita and H. Mimural," Transformation from plasmon-induced transparence to –induced absorption through the control of coupling strength in metal-insulator-metal structure",Optic Experes. Vol. ۲٤, No.۲۳, pp. ۲٦۲۰۱-۲٦۲۰۸, ۲۰۱٦ .

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]