

# MENGGESER TITIK FOKUS LENSA PLASMONIK SPIRAL DENGAN MENGUBAH PANJANG GELOMBANG CAHAYA DATANG

Fitri Oktafiani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik  
Instrumentasi & Elektronika Migas,  
Sekolah Tinggi Teknologi Migas,  
Balikpapan

\*E-mail: fitri.oktafiani@sttmigas.ac.id

## ABSTRACT

*Plasmonic structures are metal-based structures characterized by plasmon oscillations in the electron conduction band in response to external radiation. This structure has strong light absorption and light scattering as well as electromagnetic field amplification at short distances (near-field). Based on these advantages, improving the focusing performance of surface plasmonic polariton waves is urgently needed. The sharp focus with strong intensity has been used for various applications, including nanoimaging, nanolithography, and optical tweezers. In this research, we use a spiral plasmonic lens combined with a groove ring and the incident beam has a circular polarization direction (circular polarization). Parameter optimization is carried out by varying the position of the ring groove. Two waves are used to shift the focus point, namely 1064 nm and 1280 nm. The focal point experiences a range of +500 nm on the z-axis when the waveform is changed. However, the intensity of the focal point at the 1280 nm wave is lower than at the 1064 nm wave. This is in accordance with the theory that when the focal point is further away from the surface structure, the intensity decreases. Shifting the focal point by changing waves can be used in several applications, one example is for manipulating microparticles in two different places.*

**Keywords:** *Spiral plasmonic lens, far-field focal point, circular polarization, nanostructure*

## ABSTRAK

Struktur berbahan plasmonik merupakan struktur berbahan dasar metal yang dikarakteristikan oleh osilasi plasmon pada pita konduksi elektron sebagai respon dari radiasi eksternal. Struktur ini memiliki penyerapan cahaya dan penyebaran cahaya yang kuat serta amplifikasi medan elektromagnetik pada jarak dekat (*near-field*). Berdasarkan keunggulan ini, peningkatan performa fokus pada gelombang polariton permukaan plasmonik sangat dibutuhkan. Fokus yang sangat halus dengan intensitas yang kuat telah digunakan untuk berbagai aplikasi antara lain yaitu pencitraan nano, litografi nano, dan *optical tweezers*. Pada penelitian ini, kami menggunakan lensa plasmonik spiral yang digabungkan dengan cincin *groove* dan sinar datang dengan arah polarisasi melongkar (*circular polarization*). Optimalisasi parameter dilakukan dengan memvariasi posisi cincin *groove*. Dua gelombang digunakan untuk menggeser titik fokus yaitu 1064 nm dan 1280 nm. Titik fokus mengalami pergeseran sejauh + 500 nm pada sumbu *z* saat gelombang diubah. Namun, intensitas titik fokus pada gelombang 1280 nm lebih rendah daripada gelombang 1064 nm. Hal ini sesuai

dengan teori dimana saat titik fokus semakin jauh dengan permukaan struktur maka intensitasnya semakin menurun. Pergeseran titik fokus oleh perubahan gelombang dapat digunakan pada beberapa aplikasi, salah satu contohnya yaitu untuk manipulasi partikel mikro didua tempat yang berbeda.

**Kata kunci:** Lensa plasmonik spiral, titik fokus medan jauh, polarisasi melingkar, struktur nano

## PENDAHULUAN

Polariton plasmonik permukaan (SPPs) memiliki kemampuan untuk membangkitkan gelombang plasmonik diatas batas difraksi yang menentukan resolusi dari sistem optik (Fu *et al.*, 2010a). Potensi dari SPPs telah digunakan pada berbagai aplikasi antara lain yaitu pencitraan dengan resolusi super (Smolyaninov *et al.*, 2007), penyimpanan data storage (Zijlstra *et al.*, 2009; Ditlbacher, *et al.*, 2000), pandu gelombang (Bozhevolnyi *et al.*, 2006), dan sebagainya. Lensa plasmonik telah dibuat untuk mengatur beaming effect sehingga diperoleh titik fokus yang sangat kecil dengan peningkatan distribusi intensitas, contohnya antara lain *multi-circular slit aperture* (Takeda *et al.*, 2015), *chirped circular slit* (Fu *et al.*, 2010b), *meta-aperture based PL*, dan *nanoring-based PL* (Sun *et al.*, 2017). Namun, efisiensi coupling yang rendah antara gelombang propagasi dan permukaan struktur terjadi saat struktur diiluminasi menggunakan polarisasi linear (lurus). SPPs hanya dapat dibangkitkan menggunakan mode transverse magnetic TM (Chen *et al.*, 2015). Interaksi antara polarisasi melingkar dan struktur metal telah di pelajari. Transmisi yang kuat hanya dapat diperoleh apabila polarisasi dan struktur metal diatur dengan arah yang sesuai (*proper handedness*) (Krasavin *et al.*, 2005); Krasavin *et al.*, 2006). Kombinasi struktur cincin terkonsentrasi dengan lapisan Ag/dielektrik dan polarisasi melingkar dapat menghasilkan titik fokus yang melampaui batas difraksi (Miao *et al.*, 2012).

Pada struktur yang simetris, struktur harus terlebih dahulu disejajarkan dengan arah polarisasi, dimana posisi tengah pada struktur harus sejajar dengan titik tengah arah gelombang datang untuk mendapatkan interferensi konstruktif pada titik fokus. Hal ini menjadi suatu tantangan pada saat dilakukan percobaan karena diperlukan sistem pencitraan tambahan untuk melakukan proses alignment. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan struktur asimetri, salah satunya yaitu struktur spiral. Pada penelitian ini kami menggunakan lensa plasmonik spiral Archimedes (LPSA) yang secara efektif menghasilkan titik fokus sub gelombang melalui iluminasi dengan polarisasi melingkar tanpa perlu adanya proses pensejajaran (alignment) antara cahaya datang dan titik tengah struktur (Chen *et al.*, 2010).

LPSA telah digunakan pada banyak aplikasi, antara lain yaitu analisa polarisasi (Chen *et al.*, 2010), pembangkit vortex (Zhou *et al.*, 2021), dan optical tweezers (Tsai *et al.*, 2014). Penelitian LPSA yang pernah dilakukan berfokus pada peningkatan intensitas dengan mengatur ukuran lebar, jari-jari, dan jumlah putaran spiral (Miao *et al.*, 2011). Hasil yang diperoleh sangat baik sehingga berpeluang untuk digunakan pada pencitraan dan manipulasi sampel mikro biologi.

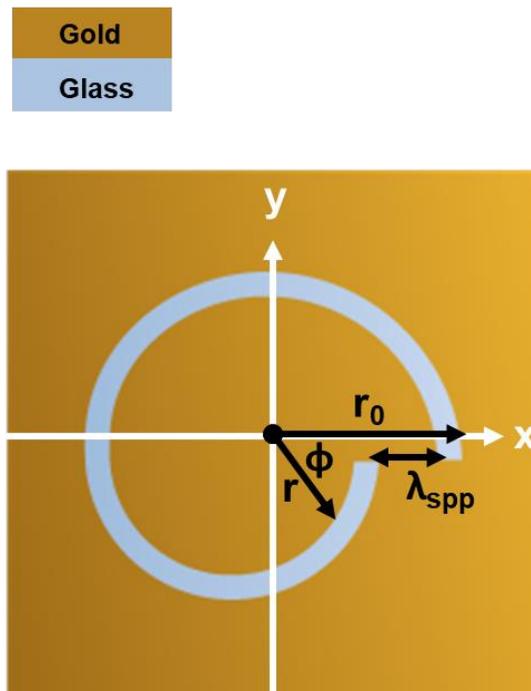
## METODE PENELITIAN

### Metode Simulasi

Pada penelitian ini digunakan COMSOL Multiphysics 5.3a dengan Metode Simulasi Elemen Hingga (Finite Element Method atau FEM). FEM adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknik dan matematika yang kompleks. Metode ini umumnya digunakan untuk menganalisis struktur dan sistem fisik yang kompleks dengan membagi domain masalah menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk kemudian dihitung solusinya. Parameter-parameter Fisika pada penelitian ini yaitu ukuran cincin *groove* dan material-material yang digunakan dimasukkan sebagai *input* pada COMSOL Multiphysics, kemudian setelah proses *running* data berupa hasil plot, grafik, dan gambar dari intensitas gelombang elektromagnetik pada struktur bisa didapatkan.

### Parameter Struktur

Struktur dari desain LPSA ditunjukkan pada Gambar 1. Struktur terdiri dari material *gold* yang dileburkan diatas permukaan kaca. Sebuah celah spiral didesain dengan besar jari-jari yaitu  $r = r_0 - \frac{(\lambda_{spp})}{2\pi} \phi$ , dimana  $r$  merupakan jarak antara titik tengah dan celah,  $r_0$  merupakan jari-jari terluar dari slit,  $\lambda_{spp}$  merupakan gelombang SPP efektif, dan  $\phi$  merupakan sudut azimuth dengan rentang 0 sampai dengan  $2\pi$  (Tsai *et al.*, 2014). Lebar  $w_s$  dan ketebalan celah  $T$  yaitu 200 dan 150 nm.



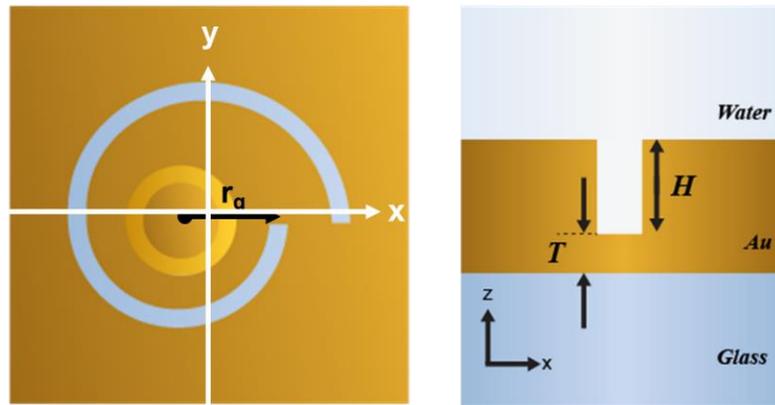
**Gambar 1** Ilustrasi skematik LPSA arah kiri.

Jarak antara jari-jari terdalam dan terluar dari celah yaitu  $\lambda_{spp}$  sehingga perbedaan jarak yang ditempuh gelombang SPP tetap. Untuk panjang gelombang vakum  $\lambda$  yaitu 1064 nm dan material *gold*,  $\lambda_{spp}$  untuk antar permukaan *gold/water* diestimasikan sebesar 788 nm. Model *the Lorentz-Drude* digunakan sebagai fungsi dielektrik pada *gold*.

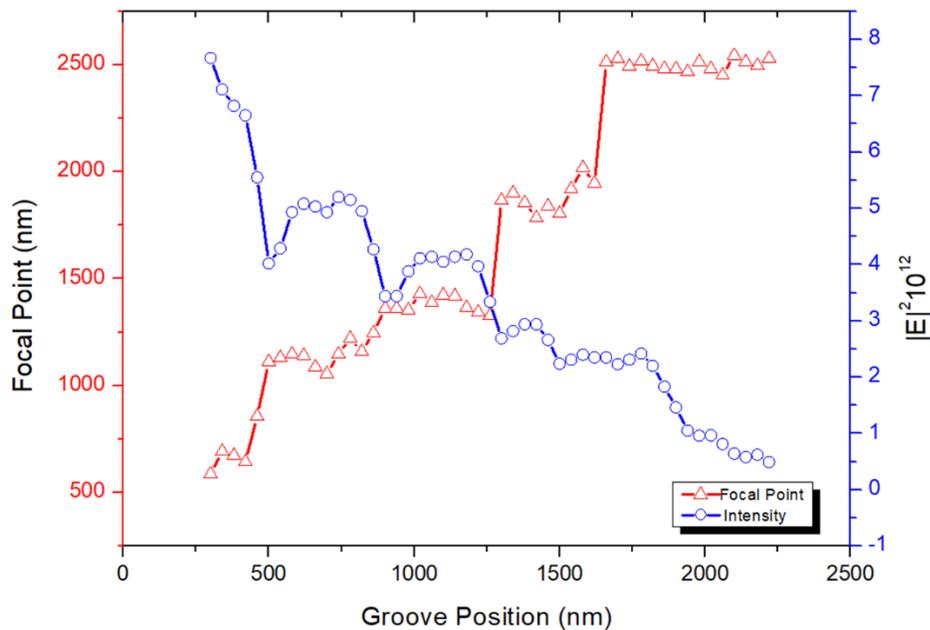
Distribusi intensitas medan elektromagnetik disimulasikan melalui metode elemen hingga (FEM). Lensa spiral diiluminasi dengan cahaya terpolarisasi radial dari bagian belakang substrat kaca. SPP yang tereksitasi merambat dari lensa spiral ke arah bagian tengah lensa dan membentuk titik terang. Peningkatan intensitas mengikuti peningkatan pada  $r_0$ , artinya ukuran lensa spiral berpengaruh terhadap distribusi intensitas. Untuk membuat stuktur tetap *compact* maka pada penelitian ini dipilih  $r_0 = 4\lambda_{spp}$ .

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, sebuah kisi melingkar (*a circular groove*) ditambahkan pada LPSA untuk menyebar SPP pada permukaan ke titik fokus diatas permukaan struktur. Cahaya medan jauh yang tersebar membentuk satu kesatuan titik fokus melalui interferensi konstruktif. Kisi melingkar ini memiliki lebar  $w_g$  200 nm dan tinggi  $H$  150 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Ilustrasi skematik LPSA dengan kisi melingkar arah kiri.



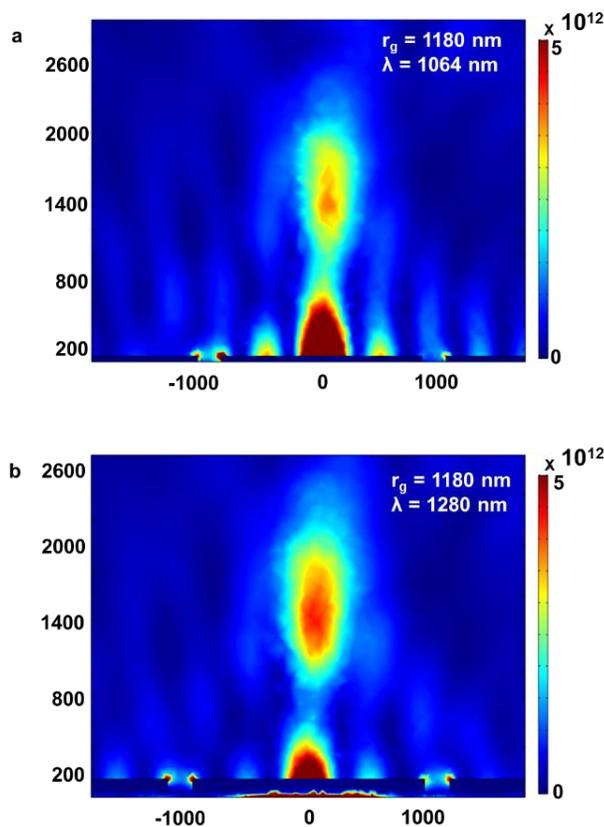
**Gambar 3.** Grafik hubungan posisi kisi melingkar, titik poin, dan distribusi intensitas medan elektromagnetik.

Distribusi intensitas medan listrik sepanjang sumbu  $z$  di medan jauh untuk  $r_g$  berbeda ditampilkan pada Gambar 3. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa semakin panjang titik fokus maka intensitasnya akan semakin menurun. Posisi kisi melingkar menunjukkan ukuran jari-jarinya, saat jari-jari kisi celah semakin besar maka titik fokus pada sumbu  $z$ -nya akan semakin menjauh dari permukaan struktur.

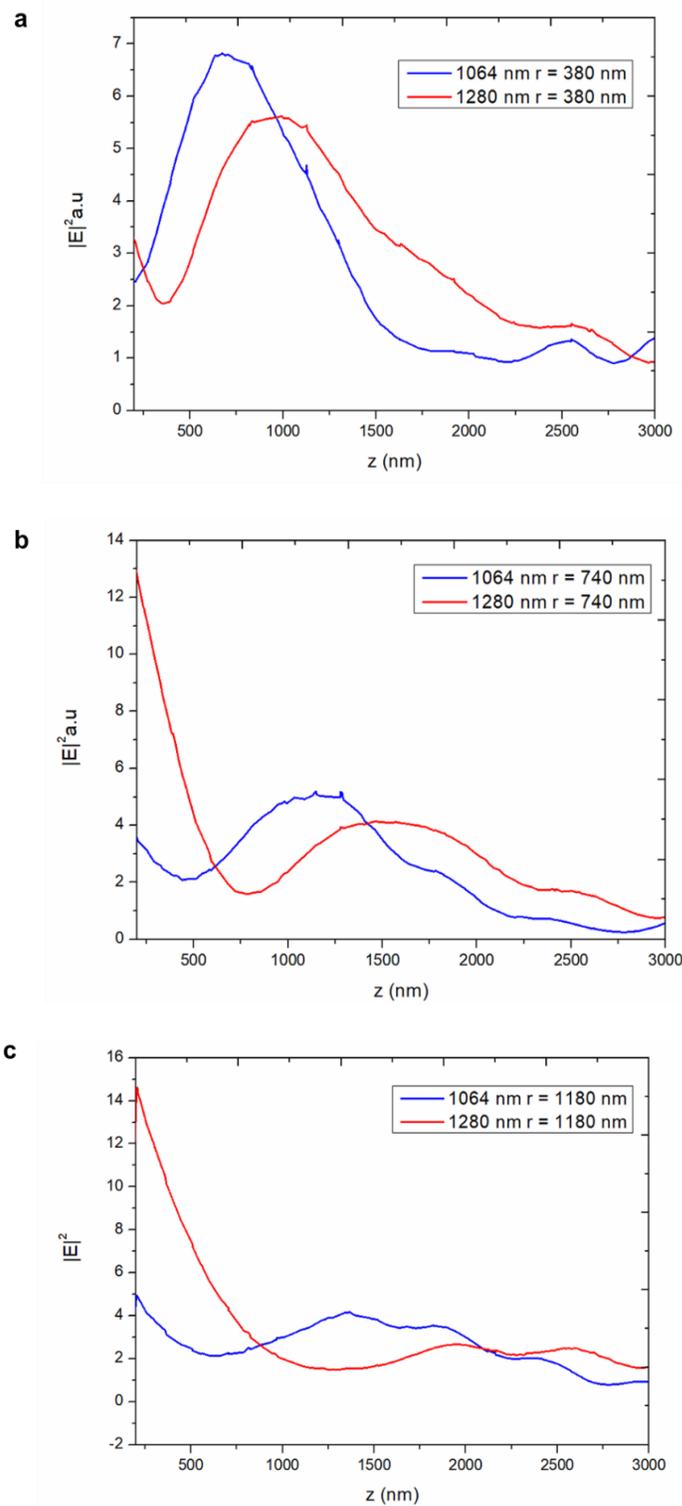
#### 4.2 Pengaruh Perubahan Gelombang Terhadap Titik Fokal

Gambar 4 menunjukkan perbandingan grafik distribusi intensitas medan elektromagnetik

pada panjang gelombang datang yang berbeda. Titik fokus ditentukan dari puncak tertinggi pada grafik. Pada kisi melingkar dengan jari-jari  $r_{g1} = 380$  nm dan panjang gelombang datang  $\lambda_1 = 1064$  nm besar titik fokus  $f = 674$  nm, seperti yang ditunjukkan garis biru pada Gambar 5. Namun saat panjang gelombang datang diubah menjadi  $\lambda_2 = 1280$  nm, titik fokus bergeser sejauh 353 nm yaitu  $f_1 = 1000$  nm. Hal ini juga diamati pada hasil dua kisi melingkar berbeda lainnya yaitu  $r_{g2} = 740$  nm dan  $r_{g3} = 1180$  nm, untuk  $\lambda_1 = 1064$  nm besar titik fokus yang dihasilkan yaitu  $f_2 = 1147$  nm dan  $f_3 = 1365$  nm pada masing-masingnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 b dan c.



**Gambar 4.** Plot 2 dimensi distribusi intensitas medan elektromagnetik pada bidang  $x$ - $y$  untuk LPSA dengan jari-jari kisi melingkar  $r_g = 1180$  nm untuk (a)  $\lambda_1 = 1064$  nm dan (b)  $\lambda_2 = 1280$  nm.



**Gambar 5.** Grafik perbandingan distribusi intensitas sepanjang sumbu  $z$  pada dua panjang gelombang datang yang berbeda untuk (a)  $r_{g1} = 380$  nm, (b)  $r_{g2} = 740$  nm, dan (c)  $r_{g3} = 1180$  nm.

Untuk  $\lambda_2 = 1280$  nm, titik fokus ini bergeser menjadi  $f_2 = 1500$  nm dan  $f_3 = 2000$  nm. Semakin besar panjang gelombang datang maka titik fokus akan semakin bergeser menjauh dari permukaan pada sumbu  $z$ , namun intensitasnya akan menurun.

## KESIMPULAN

LSPA merupakan meta struktur yang dapat menghasilkan SPP dengan titik fokus tertentu pada permukaan struktur. Dengan penambahan kisi melingkar, SPP pada permukaan dapat disebar beberapa nano meter dari permukaan melalui peristiwa interferensi konstruktif. Jari-jari kisi melingkar  $r_g$  turut memiliki peran dengan besarnya titik fokus yang dihasilkan sepanjang sumbu  $z$ . Semakin besar  $r_g$  maka semakin jauh titik fokus yang dihasilkan dari permukaan struktur, namun distribusi intensitas medan elektromagnetiknya akan berkurang. Pada dua panjang gelombang datang yang berbeda yaitu  $\lambda_1 = 1064$  nm dan  $\lambda_2 = 1280$  nm, titik fokus yang dihasilkan juga berbeda dan bergeser sejauh  $\pm 353$  nm untuk  $r_{g1}$  dan  $r_{g2}$ . Dengan mengubah  $\lambda$  datang kita dapat mengubah posisi titik fokus sepanjang sumbu  $z$ . Hal ini jauh memudahkan dibanding harus menggunakan 2 struktur yang berbeda untuk menggeser titik fokus cahaya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterimakasih terhadap semua pihak yang turut membantu dalam penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bozhevolnyi, S. I., Volkov, V. S., Devaux, E., Laluet, J.-Y., & Ebbesen, T. W. (2006). Channel plasmon subwavelength waveguide components including interferometers and ring resonators. *Nature* 440, pp. 508-511.
- Chen, J., Sun, C., Rong, K., Li, H., & Gong, Q. (2015). Polarization-free directional coupling of surface plasmon polaritons. *Laser Photonics Rev* 9, pp. 419-426.
- Chen, W., Abeysinghe, D. C., Nelson, L., & Zhan, Q. (2010). Experimental confirmation of miniature spiral plasmonic lens as a circular polarization analyzer. *Nano Lett.* 10, pp. 2075-2079.
- Ditlbacher, H., Krenn, J. R., Lamprecht, B., Leitner, A., & Aussenegg, F. R. (2000). Spectrally coded optical data storage by metal nanoparticles. *Opt. Lett.* 25, pp. 563-565.
- Fu, Y., & Zhou, X. (2010a). Plasmonic lenses: A review. *Plasmonics* 5, p. 287.
- Fu, Y., Liu, Y., Zhou, X., Xu, Z., & Fang, F. (2010b). Experimental investigation of superfocusing of plasmonic lens with chirped circular nanoslits. *Opt. Express* 18, pp. 3438-3443.
- Krasavin, A. V., Schwanecke, A. S., Zheludev, N. I., Reichelt, M., Stroucken, T., Koch, S. W., & Wright, E. M. (2005). Polarization conversion and “focusing” of light propagating through a small chiral through a small chiral hole in a metallic screen. *Appl. Phys. Lett.* 86, p. 201105.

- Krasavin, A. V., Schwanecke, A. S., & Zheludev, N. I. (2006). Extraordinary properties of light transmission through a small chiral hole in a metallic screen. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 8, pp. S98-S105.
- Miao, J., Wang, Y., Guo, C., Tian, Y., Zhang, J., Liu, Q., Zhou, Z., & Misawa, H. (2012). Far-field focusing of spiral plasmonic lens. *Plasmonics* 7(2), pp. 377–381.
- Miao, J., Wang, Y., Guo, C., Tian, Y., Guo, S., Liu, Q., & Zhou, Z. (2011). Plasmonic lens with multiple-turn spiral nano-structures. *Plasmonics* 6, pp. 235-239.
- Smolyaninov, I. I., Hung, Y. J., & Davis, C. C. (2007). Magnifying superlens in the visible frequency range. *Science* 315, pp. 1699-1701.
- Sun, H., Zhu, Y., Gao, B., Wang, P., & Yu, Y. (2017). Polarization-dependent quasi-far-field superfocusing strategy of nanoring-based plasmonic lenses. *Nanoscale Res. Lett.* 12, p. 386.
- Takeda, M., Kimura, N., Inoue, T., & Aizawa, K. (2015). Plasmonic lens with multi-circular-slit apertures for improvement of light utilization efficiency. *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, p. 09MG02.
- Tsai, W. Y.; Huang, J. S.; Huang, B. C. (2014). Selective trapping or rotation of isotropic dielectric microparticles by optical near field in a plasmonic Archimedes spiral. *Nano Lett.* 14, pp. 547-552.
- Zhou, D. C., Mou, R., Bou, R., Li, Z., & Teng, S. Y. (2021). Compound plasmonic vortex generation based on spiral nanoslit. *Front. Phys.* 16, p. 33503.
- Zijlstra, P., Chon, J. W. M., & Gu, M. (2009). Five-dimensional optical recording mediated by surface plasmons in gold nanorods. *Nature* 459, pp. 410-413.