

SID



سرویس های
ویژه



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی
بین المللی و
ترند های جستجو

بررسی سازوکار شکست در گوشه های نوک تیز اتصالات P-N در ماسفت های کریید سیلیسیم

وارائه یک ساختار جدید برای افزایش ولتاژ شکست

جوی نجف آبادی ، محمد ؛ اروجی ، علی اصغر؛ رحیمی فر، عاطفه

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان

چکیده

ساختارهای اتصال نوک تیز در ماسفت ها و ادوات نیمه هادی قدرت کریید سیلیسیم باعث ایجاد شکست در داخل ساختار و محدود کردن ولتاژ شکست می گردد. در این مقاله یک اتصال نیمه هادی کریید سیلیسیم نوک تیز و پدیده تجمع میدان در آن مورد بررسی قرار گرفته و راهکاری برای کاهش پدیده تجمع میدان و به تبع آن افزایش ولتاژ شکست ارائه می گردد. پدیده تجمع میدان در نوک تیز اتصال به میزان زیادی باعث کاهش ولتاژ شکست می گردد که تا بحال مورد توجه و بررسی دقیقی قرار نگرفته است. در اینجا یک اتصال نوک تیز بررسی و ساختاری جدید برای افزایش ولتاژ شکست ارائه می گردد. کلیه شبیه سازی ها با نرم افزار ATLAS انجام شده و نتایج ساختار جدید با ساختار معمولی مقایسه گردیده است.

واژگان کلیدی : ماسفت، کریید سیلیسیم، اتصال نوک تیز، تجمع میدان

Investigation of failure mechanisms in sharp corners PN junctions in silicon carbide MOSFETs and presenting a new structure to increase the breakdown voltage

Jozi najafabadi, Mohammad; Orouji, Ali Asghar ; Rahimifar, Atefeh

Electrical and Computer Engineering Department, Semnan university, Semnan

Abstract

Sharp junction structures in silicon carbide power semiconductor devices cause break in the structure and limit breakdown voltage. In this paper a silicon carbide semiconductor taper connection and field concentration has been studied then a solution for reduction of field concentration and as a result, increase in breakdown voltage is suggested. Field concentration in sharp of junction makes a remarkable reduction in breakdown voltage that has not been investigated yet. Here a sharp junction is analysed and a new structure proposed for increasing breakdown voltage. All simulations has been done by ATLAS software and results of new structure compared with conventional structure.

Keywords : MOSFET, SiC, sharp corners, Electric Field Crowding

PACS No. 05,30,68,70

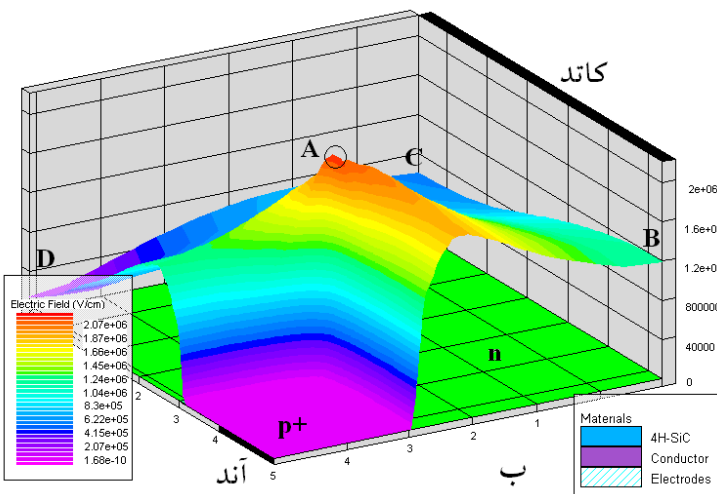
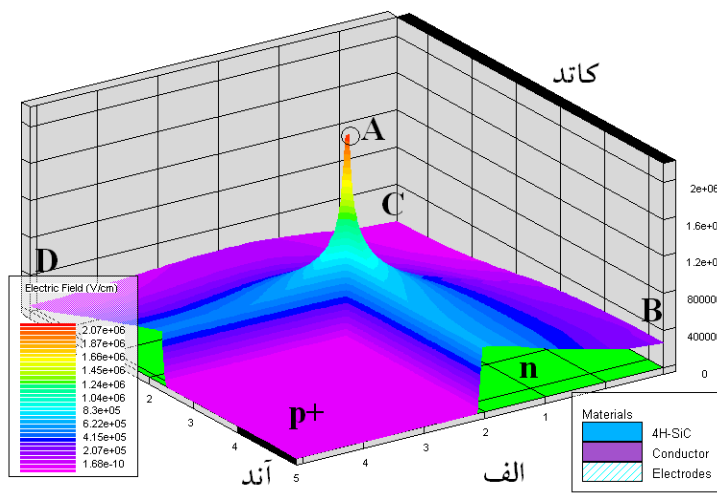
مثلا میدان بحرانی در ماده کریید سیلیسیم نوع 4H-SiC 2.2×10^6 V/cm می باشد [۱]، [۲]، [۳]. رسیدن به این مقدار در هر نقطه از ساختار نشان از شکست ساختار می باشد. در بعضی از ترانزیستورها و دیودهای قدرت کریید سیلیسیم از جمله DMOSFET و UMOSFET ساختار در حالت خاموش به گونه ای می باشد که یک اتصال p-n نوک تیز به صورت بایاس معکوس در می آید و نتیجه آن ایجاد پدیده تجمع میدان الکتریکی^۲ در نوک

مقدمه

در ساختارهای ادوات نیمه هادی رسیدن میدان الکتریکی داخل ساختار به میدان بحرانی^۱ باعث ایجاد شکست در ساختار و در نتیجه آن تغییر غیر قابل برگشت در مشخصات ماده و ساختار می گردد. این تغییر باعث سوختن و از کار افتادن ساختار می گردد.

² Electric Field Crowding

¹ critical electric field

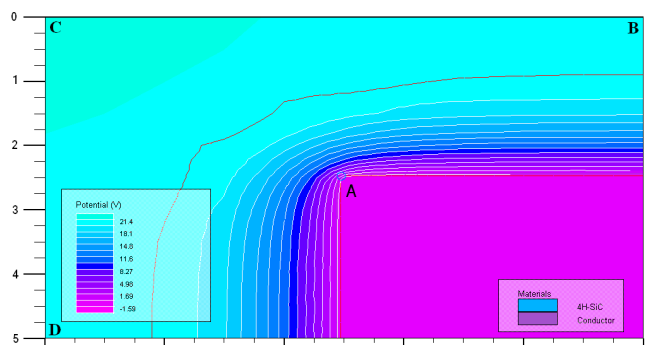


شکل ۲: میدان الکتریکی در ساختار (الف) معمولی (ب) پیشنهادی.

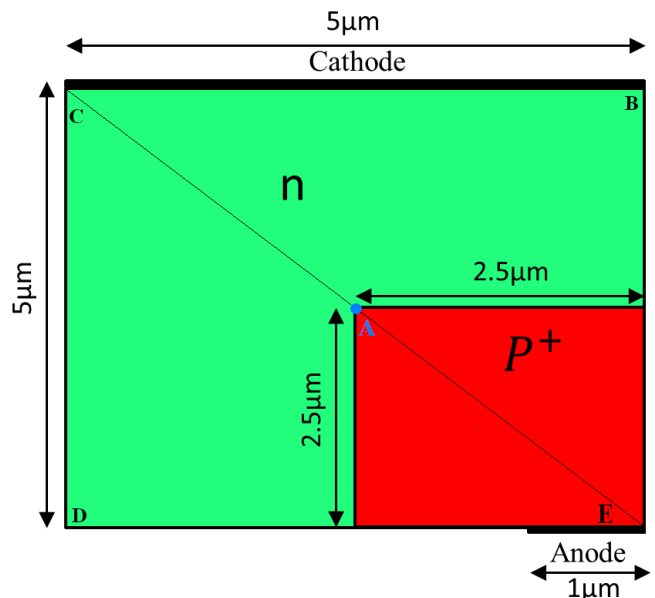
تیز ساختار می گردد که این پدیده به شدت ولتاژ شکست ساختار را محدود می کند [۴]، [۵].

یکی از راه کارهای کاهش این پدیده ساختن اتصال به صورت نیم گرد در راس اتصال است. که این روش از نظر پروسه ساخت مشکل و باعث افزایش هزینه های تولید می گردد [۴].

در اینجا ابتدا به بررسی علت ایجاد پدیده تجمع میدان پرداخته و در ادامه راه کاری به مراتب آسان تر و کار آمدتر از روش نیم گرد کردن پیشنهاد می گردد. حالت ایده آل برای بدست آوردن بالاترین ولتاژ شکست، پخش پتانسیل در ساختار به صورت یکنواخت می باشد که با پخش خطوط هم پتانسیل به صورت یکنواخت، میدان در کل ساختار به صورت یکسان پخش می گردد. اما وجود مقاومت های مختلف در ساختار باعث عدم توزیع یکنواخت خطوط هم پتانسیل می گردد که نتیجه آن تجمع میدان در بخشی یا نقطه ای از ساختار است [۶]، [۷]. در ساختارهای نوک تیز که در شکل ۱ نمایش داده شده به علت اینکه در نوک تیز ساختار ناحیه تخلیه کوچک می باشد خطوط هم پتانسیل در این نقطه به هم نزدیک تر می باشد که نتیجه آن تجمع میدان در این نقطه است [۸]. در ساختار جدید پیشنهادی توزیع خطوط هم پتانسیل یکنواخت تر شده که نتیجه آن تجمع خیلی کمتر میدان است. دلیل این توزیع یکنواخت تر و تجمع کمتر میدان به صورت کامل در ادامه بررسی و توضیح داده می شود.



شکل ۳: خطوط هم پتانسیل در ساختار معمولی و تجمع در نقطه A.



شکل ۱: ساختار پیوند نوک تیز.

ساختار پیوندی نوک تیز

در شکل ۱ یک ساختار دیود پیوندی کربید سیلیسیم نوک تیز برای بررسی پدیده تجمع میدان بایاس معکوس مشاهده می شود. در این ساختار ناخالصی نوع n $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ و ناخالصی نوع p $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ می باشد.

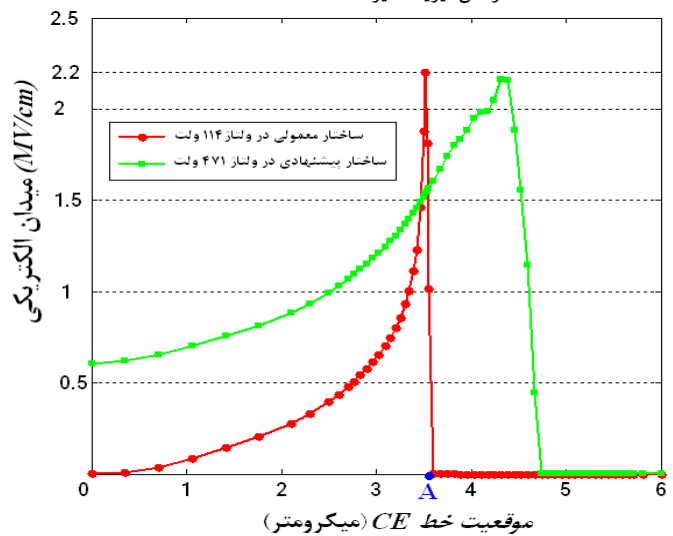
پتانسیل را مشاهده کرد که تجمع خطوط در نقطه A بیشتر است. محدوده ناحیه تخلیه با دو خط قرمز مشخص شده است.

ارائه یک ساختار جدید

یک راه برای یکنواختی بیشتر خطوط پتانسیل در نقطه A افزایش ناحیه تخلیه می باشد که این امر با کاهش ناخالصی سمت p میسر می شود. با کاهش ناخالصی، ناحیه تخلیه در سمت p افزایش می یابد. با افزایش طول ناحیه تخلیه، فاصله خطوط هم پتانسیل بیشتر شده و تجمع میدان در نقطه A کاهش می یابد. اما در بسیاری از ساختارها کاهش ناخالصی سمت p امکان پذیر نیست و باعث مشکلات بیشتر از جمله افزایش جریان نشتی، شکست در نقاط دیگر و غیره می گردد. برای حل این مشکل ساختاری معرفی می گردد که در آن بجای کاهش ناخالصی به صورت کامل، ناخالصی به صورت خطی یا پله ای از مقدار ناخالصی $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ از فصل مشترک پیوند شروع و تا مقدار نهایی $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ افزایش یابد. در واقع ناخالصی در یک فاصله مشخص به صورت تدریجی افزایش می یابد تا به مقدار نهایی خود برسد. در ساختار پیشنهادی مورد بررسی ناخالصی غیر یکنواخت در فاصله ۱.۲ میکرومتر تغییر داده شده است.

نتایج شبیه سازی

شبیه سازی این ساختار کربید سیلیسیم با نرم افزار اطلس انجام شده است [۹]. نتایج نشان می دهد هرچقدر ناحیه تهی گسترده تر شود ولتاژ شکست بالاتر می رود. در واقع بالاترین شکست ممکن در ساختار موقعی رخ می دهد که خطوط هم پتانسیل در کل ساختار به صورت یکسان و یکنواخت منتشر شود [۱۰]، [۶]. می توان در حد امکان این توزیع خطوط پتانسیل را با گسترش ناحیه تخلیه یکنواخت تر نمود [۱۱]، [۱۲]. شکل ۲ الف مقدار میدان را در ساختار معمولی در ولتاژ ۱۱۴ ولت نشان می دهد. در این ساختار به وضوح مشخص است که پیک میدان در نوک تیز ساختار که با A نمایش داده شده بالاست و مقدار آن در این ولتاژ برابر میدان بحرانی $2.2 \times 10^6 \text{ V/cm}$ می باشد و در بقیه نقاط ساختار میدان بسیار پایین می باشد. اما شکل ۲ ب میدان الکتریکی را در ساختار پیشنهادی در ولتاژ ۴۷۱ ولت نشان می دهد. در این



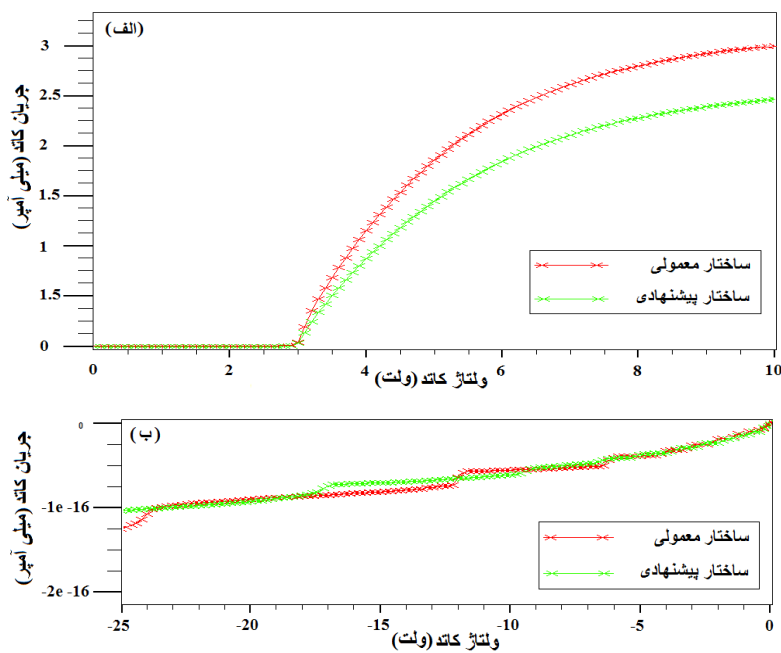
شکل ۴: میدان در برش خط CE

بایاس معکوس ساختار و علت پدیده تجمع میدان

وقتی یک دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد طبق مقاومت نیمه هادی بین دو الکترود، ولتاژ اعمالی در کل ساختار از مقدار ولتاژ مثبت آند تا مقدار صفر کاتد، بسته به میزان مقاومت نواحی مختلف افت پیدا می کند. از این رو به بررسی مقاومت در بایاس معکوس می پردازیم تا بتوانیم توزیع پتانسیل را در ساختار بهتر درک کنیم [۹]. در بایاس معکوس دیود شکل ۱ در محدوده n و p خارج از ناحیه تخلیه پیوند به علت وجود ناخالصی بالا مقاومت داخل آن بسیار پایین بوده و تقریباً هیچگونه افت پتانسیلی داخل آن صورت نمی گیرد و افت پتانسیل ساختار به ناحیه تخلیه پیوند محدود می شود. در بایاس معکوس به علت بالا بودن ناخالصی سمت نوع p طبق رابطه زیر [۱]

$$W_a N_A = W_d N_D \quad (1)$$

بیشترین ناحیه تخلیه در سمت نیمه هادی نوع n قرار می گیرد و سهم ناچیزی از ناحیه تخلیه در سمت p قرار می گیرد. ناحیه تخلیه به علت عدم وجود حامل ها، مقاومت آن بالا می باشد. در نتیجه پتانسیل اعمالی به دیود در این ناحیه افت می کند و کل ولتاژ اعمالی به دیود در دو طرف این ناحیه اعمال می شود. در نقطه نوک تیز به دلیل اینکه حجم چگالی ناخالصی p در مقابل حجم چگالی ناخالصی n بسیار کمتر است، ناحیه تخلیه نسبت به بقیه پیوند کوچک تر می باشد به همین دلیل در این قسمت پتانسیل اعمالی باید در فاصله کمتری افت کند. از این رو در این ناحیه خطوط هم پتانسیل به یکدیگر نزدیکتر می باشد که نتیجه آن میدان بالاتر در این نقطه است. در شکل ۳ می توان توزیع خطوط هم



شکل شماره ۵ مشخصه ولتاژ-جریان (الف) بایاس مستقیم (ب) بایاس معکوس

مرجع ها

- [۱] B. J. Baliga, "Power Semiconductor Devices", PWS Publication Company, Boston, 1995.
- [۲] A. K. Agarwal, R. R. Siergiej, S. Seshadri, M. H. White, P. G. McMullin, A. A. Burk, L. B. Rowland, C. D. Brandt, and R. H. Hopkins; "Critical materials, device design, performance, and reliability issues in 4H-SiC power MOSFET structures," in *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1996, vol. 423, pp. 87–92
- [۳] K. Shenai, R. S. Scott, and B. J. Baliga; "Optimum semiconductors for high power electronics," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 36, p. 1811, 1989
- [۴] L. Chen, O. J. Guy, M. R. Jenninge, P. Igic, S. P. Wilks, P. A. Mawby; "Study of 4H-SiC trench MOSFET structures" ; *Solid-State Electronics* 49 (2005) 1081–1085.
- [۵] A. K. Agarwal, J. B. Casady, L. B. Rowland, W. F. Valek, M. H. White, C. D. Brandt; "1.1 kV 4H-SiC Power UMOSFET's" ; *IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS*, VOL. 18, NO. 12, DECEMBER 1999.
- [۶] S. Merchant, E. Arnold, H. Baumgart, S. Mukherjee, H. Pein and R. Pinker; "Realization of high breakdown voltage (>700 V) in thin SOI device," in *Proc. ISPSD*, '991, pp. 31-35.
- [۷] S. Srikanth and Shreepad Karmalkar; "On the Charge Sheet Superjunction (CSSJ) MOSFET" ; *IEEE Trans. Electron Devices*, VOL. 55, NO. 12, December 2008.
- [۸] Ying Wang, Hai-Fan Hu, and Wen-li Jiao; "Split-Gate-Enhanced UMOSFET With an Optimized Layout of Trench Surrounding Mesa" ; *IEEE Trans. Electron Devices*, VOL. 59, NO. 11, November 2012
- [۹] Device Simulator Atlas, Silvaco Int. Softw., Santa Clara, CA 95054, March 20, 2012.
- [۱۰] شربتیه، س.؛ "نمیه سازی ترانزیستورهای اثر میدان کریید سیلیسیم"؛ دانشگاه سمنان، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۷.
- [۱۱] Ali A. Orouji; Samaneh Sharbati; Morteza Fathipour; "A New Partial-SOI LDMOSFET With Modified Electric Field for Breakdown Voltage Improvement"; *IEEE Trans ON Device and Materials Reliability*, Vol. 9, No. 3, September 2009
- [۱۲] Hossein Elahipanah and Ali A. Orouji, "A 1300-V 0.34-Ω·cm² Partial SOI LDMOSFET With Novel Dual Charge Accumulation Layers"; *IEEE Trans. Electron Devices*, VOL. 57, NO. 8, August 2010.

ولتاژ پیک میدان در نقطه A برابر میدان بحرانی کریید سیلیسیم می باشد. کاملاً واضح می باشد که سطح زیر نمودار میدان الکتریکی ساختار پیشنهادی بسیار بیشتر از نمودار میدان الکتریکی ساختار معمولی می باشد و به حالت ایده آل نزدیکتر است. حالت ایده آل ساختار، ایجاد میدان بحرانی در تمامی نقاط ساختار است و ولتاژی که باعث ایجاد چنین حالتی شود بیشترین ولتاژ ممکن برای اعمال به ساختار است. شکل ۴ نمودار میدان را در برش خط CE در دو ساختار معمولی با ولتاژ ۱۱۴ ولت و ساختار پیشنهادی با ولتاژ ۴۷۱ ولت نمایش می دهد. این نمودار مشخص می کند پیک میدان برای رسیدن به میدان بحرانی در ساختار معمولی با ولتاژ ۱۱۴ ولت و در ساختار پیشنهادی با ولتاژ ۴۷۱ ولت صورت می گیرد. این بهبود ولتاژ شکست در صورتی می باشد که در سایر مشخصات پیوند تغییر چندانی صورت نگرفته است. در شکل ۵ مشخصه ولتاژ-جریان پیوند معمولی و پیشنهادی نشان داده شده است. در شکل واضح است که میزان ولتاژ روشن بایاس مستقیم و جریان نشتی بایاس معکوس در هر دو پیوند یکسان می باشد اما میزان جریان در بایاس مستقیم پیوند پیشنهادی کمتر از جریان پیوند معمولی است. این کاهش جریان نشان دهنده افزایش میزان مقاومت حالت روشن پیوند است. افزایش مقاومت به علت کاهش میزان ناخالصی در فصل مشترک پیوند می باشد که مقداری ناچیز و در مقابل بهبود چشم گیر ولتاژ شکست قابل چشم پوشی است.

نتیجه گیری

در برخی از ماسفت های قدرت کریید سیلیسیم ولتاژ شکست به نقاط نوک تیز محدود می گردد که با بر طرف کردن این محدودیت می توان در ماسفت های قدرت کریید سیلیسیم، به ولتاژ شکست بالاتری دست پیدا کرد. از این رو بررسی شکست در نقاط تیز اهمیت زیادی دارد. در این مقاله با بررسی دلایل شکست و ارائه یک ساختار بسیار مناسب گامی مهم در بهبود و ارتقاء ولتاژ شکست ماسفت های قدرت صورت گرفته است. در این ساختار ولتاژ شکست از ۱۱۴ ولت با ۳۵۷ ولت بهبود به مقدار ۴۷۱ ولت رسیده است. این مقدار نشان دهنده بهبود چشم گیر ۴۱۳ درصدی ولتاژ شکست ساختار می باشد.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



نوبت آتومس
بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)



PROPOSAL
پروپوزال

نوبت آتومس
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



ISI
Scopus

نوبت آتومس
آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو