بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

اثر فوتورسانندگی ماندگار در ساختار دورآلاییده معکوس p-Si/SiGe/Si

مریم قلی زاده آرشتی

گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، تهران، ایران.

چکیده - در این مقاله، اثر فوتورسانندگی ماندگار در ساختار دور آلاییده معکوس p-Si/SiGe/Si رشد یافته به روش برآرایی پرتو مولکولی ، بررسی شده است. در لایه آلیاژی این ساختارها (SiGe) گاز حفره‌ای دوبعدی 2DHG با چگالی سطحی n_h مشاهده شده است که با تابش نور می‌توان چگالی آن‌را تغییر داد. نتایج تجربی بدست آمده از آزمایش اندازه گیری اثر هال مشخص می‌کندکه تابش نور قرمز به ساختار در دمای $4.2^{\circ}K$ چگالی گاز حفره‌ای دوبعدی و رسانندگی ساختار را افزایش میدهد. این افزایش ناشی از جذب نور در لایه پوششی ساختار و تولید زوج الکترون- حفره و خنثی شدن بارهای سطحی است.

کلید واژه: ساختار دور آلاییده معکوس، فوتورسانندگی، گاز حفره‌ای دوبعدی.

Persistent Photoconductivity Effect in p-Si/SiGe/Si Inverted Remote Modulation Structure

Maryam Gholizadeh Arashti

Department of Physics, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Islamic Azad University,Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, the persistent photoconductivity effect of p-Si/SiGe/Si inverted modulation doped structure grown with molecular beam epitaxy method was investigated. A two dimensional hole gas with areal density n_h was observed in the alloy layer of these structures which its density can be changed by illumination with LED. The experimental results of Hall effect measurement experiment indicated that illumination of the sample by red light in $4.2^{\circ}K$ temperature, leads to enhancing the two dimensional hole gas density and its electrical conductivity. This effect is a consequence of neutralizing the Si surface charges due to photo absorption in the Si cap and electron-hole pairs generation.

Keywords: Inverted remote modulation structure, Photoconductivity, Two dimensional hole gas.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

با تکامل و توسعه تکنولوژیهای پیشرفته نظیر سیستمهای خلا عالی و تبخیر کنترل شده عناصر و ایجاد باریکه های اتمی، امکان رشد لایه های خالص و نازک (چند نانومتری) نیمرساناها فراهم شده است. همچنین با کمک فرایند آلاییدن که بخش مهمی از تکنولوژی نیمه‌رساناها است نیز می‌توان غلظت حامل‌های آزاد در نیمه‌رساناها را تغییر داد. اهدافی که با رشد ساختارهای ناهمگون نوعی A/B/CD/E/F قابل حصول است عبارتند از:

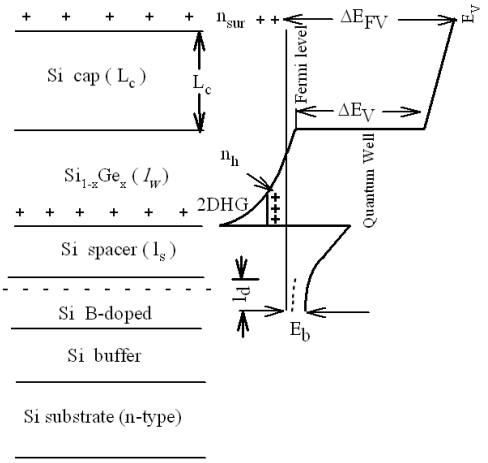
۱- تغییر در ساختار نواری، ۲- تغییر در گاف نواری یک ماده، ۳ – ایجاد چاه کوانتمی در نوار رسانش و یا ظرفیت، ۴- انتقال بار در لایه های خاص (چاه کوانتمی) و تشکیل گاز حامل دو بعدی، ۵- تغییر در ثابت شبکه در صفحه رشد و یا در جهت رشد، ۶- ایجاد کرنش فشاری و یا کششی در یک لایه، ۷- ایجاد ترازهای خاص (دهند، پذیرنده و یا عمیق) در گاف نواری و ۸- ایجاد موجبر در لایه معین به واسطه اختلاف در ضریب شکست.

یکی از ساختارهایی که در صنعت الکترونیک و مخصوصاً در ساخت و مطالعه ترانزیستور های اثر میدانی کاربرد دارد ساختار p-Si/SiGe/Si می باشد [۱].

از طرف دیگر، مطالعه فیزیکی اثر فوتورسانندگی ماندگار، در ساختارهای مذکور در دهه های اخیر از اهمیت خاصی برخوردار است. فوتورسانندگی ماندگار به این معنی است که وقتی اغلب نیمه رساناها در دمای پایین در معرض تابش نوری مناسب (با انرژی بیش از گاف آنها) قرار گیرند، رسانندگی آنها افزایش می‌یابد (فوتورسانندگی مثبت) و در بعضی موارد باعث کاهش رسانندگی میشود (فوتورسانندگی منفی) و این حالت برای ساعت‌ها خاموش شدن منبع نور ادامه دارد که ترازهای کم عمق دهنده و پذیرنده واقع در گاف نیمه رسانا می‌تواند عامل این پدیده باشد. در این مقاله به بررسی افزایش چگالی سطحی حامل‌ها در چاه کوانتومی در اثر پدیده فوتورسانندگی می‌پردازیم.[۳-۲].

۲- ساختار دور آلاییده معکوس p-Si/SiGe/Si

ساختار تحت مطالعه در دانشگاه واریک انگلستان به روش رونشانی پرتو مولکولی روی بستر سیلیکانی رشد داده شده است. ترتیب لایه های ساختار مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا لایه میانی به ضخامت حدود 200nm و سپس لایه آلاییده به برون با غلظت $N_A = 2\times10^{18}\ cm^{-3}$ و ضخامت 3-20nm به دنبال آن لایه جداگر به ضخامت ls=5-20nm وسپس لایه آلیاژی $Si_{1-x}Ge_x$ به ضخامت تقریبی l_w =20-17nm و در خاتمه لایه پوششی Si به ضخامت l_c در گستره 400-150nm و با آهنگ Gr=0.5-1. 5ºA/s و در دمای T_G = 500-700ºC رشد داده شده اند. تجربه و نظریه نشان می دهند که به دلیل عدم پیوستگی در نوار ظرفیت این ساختار در محل لایه آلیاژی SiGe یک چاه کوانتومی وجود دارد . مطابق شکل ۱ اگر بخشی از لایه سیلیکان با ناخالصی برون آلاییده شود و در صورتی که فاصله آن تا چاه کوانتومی (ضخامت لایه جداگر) کم باشد حفره‌های وابسته به آلاینده های یونیده به درون چاه کوانتمی انتقال یافته و گاز حفره ای دوبعدی در نزدیکی نیمه بالایی لایه آلیاژی تشکیل می شود و چگالی سطحی این گاز (n_h) به درصد Ge در آلیاژ و سایر پارامترهای ساختار (lc و l_s و Gr و T_G و N_A) بستگی دارد. وجود حالتهای سطحی در سطح آزاد لایه پوششی این ساختار میتواند سبب تغییر وضعیت تراز فرمی یا فرو رفتگی چاه کوانتومی در طرف لایه پوششی شود و در نتیجه چگالی سطحی گاز حفره ای دو بعدی تغییر کند در صورتیکه بارهای سطحی بگونه‌ای حذف و یا خنثی شوند چگالی گازحفره‌ای به بیشینه مقدار خود می‌رسد. شکل نوار ظرفیت ساختار معکوس به‌طور طرح وار در شکل ۱ نشان داده شده است [۶-۴].



شکل۱) ترتیب رشد لایه‌ها و ساختار نوار ظرفیت در ساختارمورد مطالعه

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

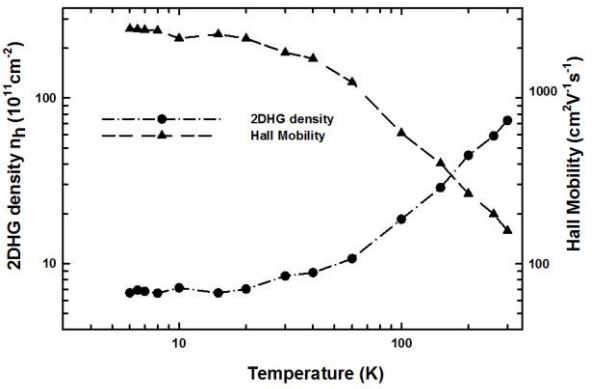
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

۱-۲- انجام آزمایش

ساختار دورآلاییده معکوس در زمپای یخچالی هلیومی قرار داده شده و در خلا $10^{-6} mbar$ تا دمای $4.2^{\circ} K$ در یک محیط کاملاً تاریک سرد شد. یک دیود نورده قرمز با قله گسیل ۶۴۰nm برای نوردهی به نمونه درنظر گرفته شد. سپس مقاومت طولی گاز حفره‌ای دو بعدی درون کانال با استفاده از جریان بسیار ضعیف $(30-40\mu A)$ برای جلوگیری از اثر حامل‌های داغ اندازه‌گیری شد. همچنین با انجام آزمایش هال در حضور میدان مغناطیسی تا یک تسلا عمود بر ساختار، چگالی گاز حفره‌ای دوبعدی n_h نیز اندازه گیری شد.

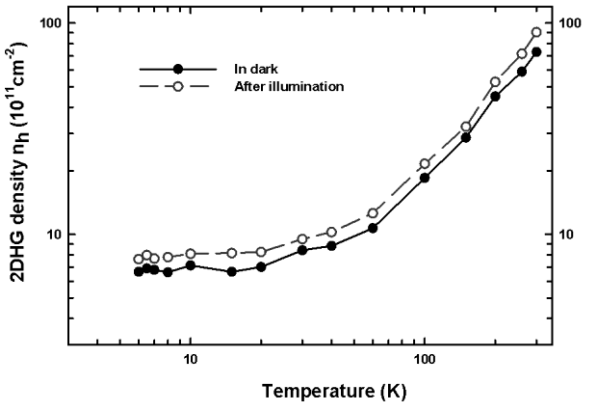
آزمایش برای دو ساختار A و B، ابتدا برای حالت دیود خاموش و بار دیگر در حالت دیود روشن انجام شد.

در ابتدا جهت مشخص شدن نحوه تغییرات چگالی گاز حفره‌ای و تحرک پذیری بر حسب دما در حالت دیود خاموش نتایج مربوط به ساختار اول (A) در شکل ۲ ، آورده شده است. با توجه به شکل، مشخص است که با کاهش دمای نمونه، چگالی حفره‌ها کاهش می‌یابد و با توجه به کاهش پراکندگی‌های فونونی در دمای پایین، تحرک‌پذیری حفره‌های موجود در ساختار نیز افزایش یافته است[۸-۷].

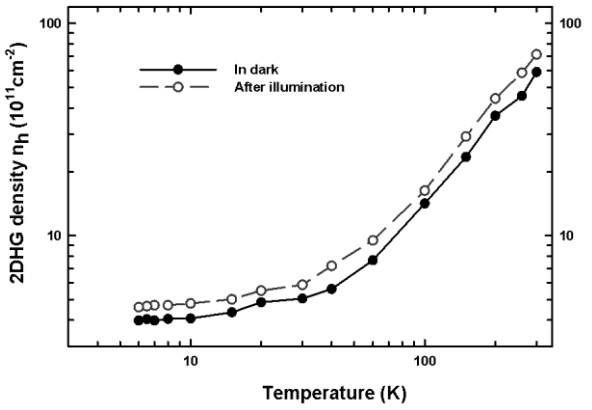


شکل ۲- تغییرات چگالی گاز حفره‌ای دو بعدی و تحرک پذیری بر حسب دما برای ساختارA

در ادامه جهت بررسی اثر فوتو رسانندگی در دو حالت دیود خاموش و دیود روشن آزمایش را برای دو ساختار Aو B انجام داده و نتایج در شکلهای ۳ و ۴ نشان داده شدند.



شکل ۳- تغییرات چگالی گاز حفره‌ای دو بعدی در دو حالت دیود خاموش و روشن برای ساختار A



شکل ۴- تغییرات چگالی گاز حفره‌ای دو بعدی در دو حالت دیود خاموش و روشن برای ساختار B

۲-۲- بحث و بررسی

با توجه به شکلهای ۳ و ۴، مشاهده می‌شود که وقتی نمونه در معرض تابش LED قرار می‌گیرد، چگالی سطحی حفره‌ها افزایش می‌یابد. می‌توان توضیح داد که جذب نور در لایه پوششی ساختار، باعث تولید زوج الکترون-حفره در آن می-شود و بارهای سطحی موجود در سطح ساختار با الکترون-های ایجاد شده در لایه پوششی خنثی می‌شوند و حفره‌ها به داخل چاه کوانتومی منتقل می‌شوند. با کاهش بارهای سطحی، حفره‌های داخل چاه افزایش می‌یابد و در نتیجه خمش نوار نیز در لایه پوششی از بین می‌رود و بدنبال افزایش چگالی گاز حفره‌ای دو بعدی، رسانندگی ساختار

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

بیشتر میشود. به این ترتیب اثر فوتورسانندگی مثبت در ساختار مشاهده میشود.

از طرف دیگر، یونیزاسیون ترازهای کم عمق پذیرنده احتمالی زیر تراز فرمی در لایه جداگر نیز تا حدی می‌تواند عامل این پدیده باشد که در اینصورت حفره‌های حاصل به درون کانال منتقل می‌شوند و چگالی حفره ها افزایش می-یابد اما الکترون‌ها در تله‌های حفره‌ای لایه جداگر به دام می-افتند.

اما پس از خاموش شدن منبع نور، حفره‌های موجود در کانال از طریق پدیده تونل زنی حفره- ناخالصی به مراکز بازترکیب (ترازهای ناخالصی) یونیزه شده مجاور نفوذ کرده و سپس با تراز ناخالصی جایگزیده بازترکیب می‌شوند و این عامل کاهش چگالی گاز حفره ای پس از خاموش شدن منبع نور است. هرچه فاصله این ترازهای ناخالصی از چاه بیشتر باشد، احتمال تونل زنی کمتر است.

۳- نتیجه‌گیری

آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که با تابش نور به ساختارهای تحت مطالعه، چگالی حفره‌های موجود در کانال افزایش می‌یابد که ناشی از جذب نور در لایه پوششی Si و تولید زوج الکترون- حفره و به تبع آن خنثی شدن بارهای سطحی لایه پوششی سیلیکن است.

سپاسگزاری

آماده‌سازی نمونه‌ها و آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه حالت جامد تحقیقاتی دانشگاه یزد انجام شده است. به این وسیله مولف از مساعدت‌های آقای دکتر صادق زاده جهت راهنمایی‌های ایشان سپاسگزاری می‌نماید.

مراجع

[1] L. Minjoo, et al., “Strained Si, SiGe, and Ge channels for high mobility metal oxide semiconductors field effect transistors”; J. Appl. Phys., 97, 011101, 1-28,2005.

[2] Stadnik V. A, Mitchell E. E, Clark R.G, Fang F.F, Wang P. J, Meyerson B. S, " Effect of illumination on transport properties of the high mobility 2D hole gas in Si-SiGe heterostructures", Physica B, 246(1-4),386-390,1998.

[3] Vijayara ghavan M. N, Venkataraman V, Xie Y. H,"Ultra – sensitive photoconductivity in modulation doped Ge/SiGe and Si/SiGe hetrostructures", Semicond. Sci. Technol, 15,957,2000.

[4] M. A. Sadeghzadeh, et al., “Issues on molecular beam epitaxial growth of p-SiGe inverted modulation doped structures”; Appl. Phys. Lett. 74,579-581, 1999.

[5] M.A.Sadeghzadeh. et al, “wave function –dependent mobility and suppression of interface roughness scattering in a strained SiGe channel field effect transistors”,App.Phys.Lett.76(۱۸),2568-2570,2000.

[6] M. A. Sadeghzadeh, et al., “Study of two-dimensional hole gas at Si/SiGe/Si inverted interface”, Acta physica polonica A, 94 (3) ,501-503,1998.

[7] M. G. Arashti, A. Sadeghzadeh, “Electerical characterization of Si(100) surface at p-Si/SiGe/Si structure using low temperature Hall measurement analysis, Vacuum, 93,1-6,2013.

[8] M. G. Arashti, A. Sadeghzadeh, “low temperature Electerical characterization of the Ti/Si(100) interface at the p-Si/SiGe/Si-Ti structure using Hall measurement analysis, Phys. Scr. 88,2571,2013.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]