نحوه تشکیل لایه اکسیدی روی InSb به روش PECVD و بررسی فصل مشترک توسط اندازه‌گیری C-V

شیرین زاده،حاجی[۱]؛ برنای زنوزی،ثریا[۲]؛ صارمی نیا،قدرت الله[۳]؛ سیم چی،حمیدرضا[۴]

[۱،۲] پژوهشگاه مواد و انرژی، مشکین دشت کرج

[۳،۴] شرکت صنایع قطعات نیمه هادی، تهران

چکیده

در این پژوهش لایه های اکسیدی دی‌اکسیدسیلیسیم(SiO_2) و سپس نیتریدسیلیسیم(Si_3N_4) با ضخامت مناسب، بر روی پولک ایندیم آنتیموناید(InSb) به روش PECVD، نشانده شده است. مقدار ضخامت اکسید یکی از عواملی است که می تواند در نشت سطحی جریان در آشکارساز تابش مادون قرمز در ساختار MIS نقش مهمی داشته باشد. کلیه مراحل لایه‌نشانی، ضرورت غیرفعالسازی سطح نیمه‌هادی، کیفیت لایه نهشته شده، و تشخیص نوع زیرلایه به کمک منحنی C-V در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

Characterization of InSb interface with oxide films grown by PECVD method and quality carried out by C-V measurement

Shirin zadeh, Haji[1]; Bornaye Zenoozi, Soraya[2]; Saremi nia, Ghodratollah[3]; Simchi, Hamid Reza[4]

[1,2]Material and Energy Research Center, Meshkin Dasht, Karaj

[3,4]Semiconductor Components Industrial, Tehran

Abstract

SiO_2 and Si_3N_4 layers are formed on InSb wafer by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) technique, due to the significant of surface leakage current is limiting in long wavelength infrared detectors, which gives rise to MIS (Metal Insulator Semiconductor) capacitor formation. In this document, all of deposition procedures, semiconductor surface passivation necessity, quality of deposited layer and identifying the type of substrate will be discussed.

Key words: Electronic structure, electrical properties of surface, SiO_2, MIS structure, PECVD system

Archive of SID

مقدمه

در بین ترکیبات نیمه‌هادی گروه III-V،ایندیم‌آنتیموناید(InSb) دارای خواص موادیست که گاف انرژی باریک وتحرک الکترونی بسیار بالا دارند[۱]. این ترکیب می‌تواند تابش مادون قرمز را در محدوده طول موج ۳ الی ۵ میکرون جذب کند. از آنجائیکه نقطه گداز این ماده پائین است، احتمال تغییر استوکیومتری در دماهای بالاتر وجود دارد[۲]. لذا نهشت[۱] لایه اکسیدی در ساخت ابزارMIS، بر روی زیرلایه[۲] InSb، در دمای پائین انجام می‌گیرد.

یکی از روشهای بررسی کیفیت ساختار اکسید، نهشت لایه اکسیدی به روش اکسیداسیون آندی[۳] است[۴-۳]. به منظور بهینه کردن ساختار اکسید،لایه‌نشانی اکسید به شیوه نهشت شیمیایی فاز بخار در دمای پائین[۴] انجام می‌گیرد[۵].

در این مقاله، نحوه تشکیل لایه اکسید به روش PECVD را بر روی زیرلایه InSb -به منظور ساخت ابزار MIS-بیان و نتایج تست ظرفیت-ولتاژ، بر روی ابزار فوق را ارائه می‌دهیم.

www.SID.ir

روش آزمایشگاهی

برای نهشت لایه اکسیدی به روش PECVD از راکتور BENCHMARK 800II استفاده گردیده است. قطر اتاقک استوانه‌ای راکتور مزبور –به منظور تحریک پلاسما– ۲۰cm است، که این لوله با ژنراتورRF به طور القایی جفت شده است. در ضمن بسامد منبع[5]RF، ۱۳/۵۶MHz و توان آن در طی فرایند نهشت ۷۰ وات است.گاز اکسیددی‌نیتروژن(N_2O) یا آمونیاک(NH_3) –بر حسب نیاز– با آهنگ شارش معین وارد لوله مزبور (راکتور) شده و گاز سایلن(SiH_4) –رقیق شده توسط گاز نیتروژن– به اتاقک نهشت، که پولکهای[۶] InSb در داخل آن قرار دارند،داخل می‌شوند. آهنگ شارش گازها توسط MFC[۷] کنترل می‌شود. برای عمل نهشت اکسید از تک‌بلور InSb نوع n ، در جهت بلوری(۱۱۱) و با آلایش[۸] تلور(Te) با تراکم 10^{15}–10^{14} cm^{-3} به عنوان زیرلایه استفاده شده است. شایان ذکر است که قابلیت تحرک حاملهای پولکهای فوق $2/5\times10^{5}$ $cm^2/V.s$ می‌باشد. قبل از نهشت، پولکهای InSb با الکل و استن و آب غیریونیده کاملاً تمیز شده و سپس با محلول CP_4 آب دار سونش ومجدداً با آب غیریونیده شسته و سپس توسط گاز نیتروژن خشک شدند. پولک InSb که از این به بعد زیرلایه نامیده می‌شود، برروی قاعده پایین اتاقک استوانه‌ای قرار می‌گیرد و انرژی RF به قاعده بالایی وصل می‌شود. در اثر بر هم‌کنش موج(امواج) الکترومغناطیسی با محیط گازی، گازها یونیزه می‌شوند در مرحله بعدی، نهشت لایه‌های دی‌اکسیدسیلیسیم(SiO_2) و سپس نیتریدسیلیسیم(Si_3N_4) بر روی زیرلایه InSb طی واکنشهای زیر انجام گرفت:

$$SiH_4+2N_2O+N_2 \rightarrow SiO_2+3N_2+2H_2$$

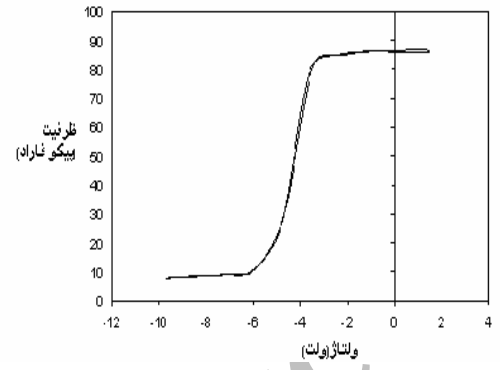
$$3SiH_4+\frac{2}{3}NH_3+4N_2 \rightarrow Si_3N_4+3N_2+7H_2$$

در ضمن کل زمان لازم برای نهشت هر لایه ۶۰ دقیقه، دمای نهشت ۱۰۵°C و فشار نهشت ۳۵۳ میلی‌تور می‌باشد. به علت وابستگی مستقیم دما و ضخامت، بهترین دمای انجام نهشت، ۱۰۵°C بوده و با تنظیم آهنگ شارش گاز(ها) به راکتور مقدار عددی فشار نهشت تعیین می‌شود. همچنین، مقادیر ضخامت لایه‌های SiO_2 وSi_3N_4 توسط دستگاه α–step (با درصد خطای ۱۵±آنگستروم) تعیین شد. اتصالات اهمی پشت و الکترودهای گیت، به ترتیب، حاصل تبخیر Au/Cr و Au(توسط ماسک) در سیستم لایه‌نشانی در خلاء می‌باشد. منحنی‌های ظرفیت–ولتاژ، به وسیله خازن‌سنج[۹] مدل MI-318A مشاهده و ثبت شده است. فرکانس سیگنال ac سوار شده بر روی ولتاژ گرایش[۱۰] ۱MHz می‌باشد. کمیتهای مربوط به لایه‌های نهشته در جدول ۱ مشاهده می‌شوند.

جدول ۱– کمیتهای فیزیکی متناظر با لایه‌های اکسیدی نهشته شده در دمای ۱۰۵°C

مساحت گیت	ضخامت لایه	لایه
$2/43\times10^{-3}$ cm^2	۰/۵μ	$SiO_2 + Si_3N_4$

شکلهای ۱ و ۲ منحنیهای C-V اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند که به مقدار ظرفیت باند تخت و شرایط اندازه‌گیری در زیر هر شکل اشاره شده است.



شکل۱- مشخصه C-V برای ساختار $(Au/Cr)/SiO_2+Si_3N_4/InSb$

ضخامت اکسید = ۰/۵μ , C_{fb}=۶۴/۴۹۲pF , دما =۳۰۰K

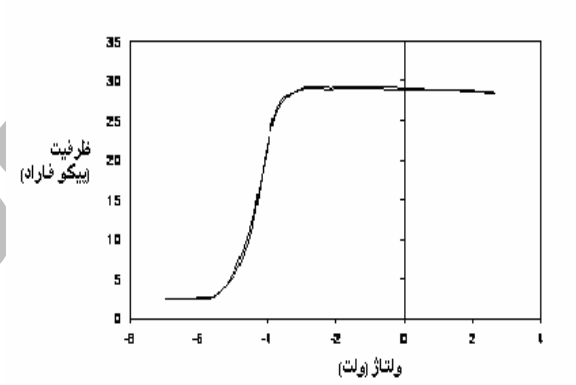
بحث و بررسی

سطح نیمه‌هادیها، منطقه‌ای بسیار فعال می‌باشد که از طریق آن ناخالصیهای مختلف به درون ساختار بلوری نیمه‌هادی وارد می‌شوند. حضور این ناخالصیها با چگالی بالا سبب ایجاد میدانهای الکتریکی مزاحم و در نتیجه تغییر نامطلوب خصوصیات الکتریکی نیمه‌هادی می‌گردد. یکی از روشهای کاهش فعالیت سطحی رشد یک لایه عایق بر روی نیمه‌هادی می‌باشد[۶]. غیرفعالسازی ایده‌آل باید شرایطی دربرداشته باشد تا بتوان

Archive of SID

www.SID.ir

فصل‌مشترک بین سطح نیمه‌هادی و لایه منفعل را، فصل‌مشترک مناسبی به‌شمارآورد. یعنی باید مقدار پتانسیل سطحی نزدیک به مقدار ولتاژ باند تخت[11] بوده و چگالیهای بار ثابت و حالتهای بین‌سطحی و بار متحرک کم باشند. گفتنی است که بارهای ثابت اکسید در فصل‌مشترک و یا نزدیک آن قرار دارند و با اعمال میدان الکتریکی جابجا نمی‌شوند و ترازهای انرژی مربوط به تله‌های فصل‌مشترک در سرتاسر باند ممنوعه نیمه‌هادی توزیع شده‌اند. اما بر پایه پژوهشهای انجام یافته می‌توان گفت که بار ثابت موجود در لایه و حالت انرژی فصل‌مشترک سبب خمیدگی نوار سطحی و افزایش سرعت بازترکیب در فصل‌مشترک می‌شود.



شکل۲- مشخصه C-V برای ساختار $(Au/Cr)/SiO_2+Si_3N_4/InSb$

دما=۷۷K , ضخامت اکسید= ۰/۵ µ, C_{fb}=۲۵/۷۶۳pF

لذا غیرفعالسازی کامل در عمل غیرممکن است و در تجربه معمولاً از روشی استفاده می‌گردد که حتی‌الامکان اثرات سطحی را کاهش دهد زیرا بارهای واقع در فصل‌مشترک، کیفیت کار ابزار را کاهش می‌دهند. یکی از مشخصات مهم ابزار MIS منحنی ظرفیت–ولتاژ آن می‌باشد. اهمیت اندازه‌گیریهای C-V[12] در پی‌بردن به این تله‌هاست. ناگفته نماند که، در آشکارسازها معمولاً به منظور غیرفعالسازی سطح InSb از دی‌الکتریکهای SiO_2 یا Si_3N_4 استفاده می‌شود.

بر اساس بررسیهای انجام‌یافته، از میزان پهن‌شدگی یا ناهمواری منحنی C-V می‌توان به حضور یا عدم حضور تله‌های بین سطحی پی‌برد[۷]. از طرفی، یکی از عواملی که باعث غیرصفربودن ولتاژباند تخت خازن MIS می‌شود، اختلاف تابع کار بین فلز گیت و نیمه‌هادی می‌باشد[۸]. منحنی C-V در ابزار واقعی به اندازه این اختلاف، نسبت به منحنی ابزار ایده‌آل در امتداد محور ولتاژ جابجا می‌شود؛ اما تغییر ولتاژ ناشی از این اختلاف، بسیار کوچک است و در ناپایدارسازی ابزار هیچگونه تأثیری ندارد[۷]. بارهای موجود در اکسید و تله‌های فصل‌مشترک نیز سبب غیرصفربودن ولتاژ باند تخت می‌گردند[۶]. منحنیهای C-V تجربی، در مسیر برگشت(گذار از وارونگی به تجمع)،رانشی به سمت ولتاژهای منفی از خود نشان نمی دهند؛ به عبارت دیگر اثر پسماندی مشاهده نمی‌شود؛[۳]. در حالیکه این اثر در آن دسته از ساختارهای MIS، که گاف انرژی باریک دارند، مشهود است[۵]. لذا فصل‌مشترک ایجاد شده عاری از تله‌های با بار مثبت بوده[۳] ودارای کیفیت بالایی است[۹]. دمای نهشت یکی از کمیتهای مهم در تعیین کیفیت فصل‌مشترک بین اکسید و زیرلایه InSb می‌باشد[۹].

نتیجه‌گیری

با ملاحظه شکل نمودارهای ۱ و ۲،به دلیل این‌که بیشینه مقدار خازن در ولتاژهای مثبت و کمینه آن به ازای ولتاژهای منفی رخ می‌دهد، نوع رسانندگی زیرلایه یعنی n مورد تائید می‌باشد. نیز به دلیل عدم پهن‌شدگی منحنی C-V می‌توان گفت که میزان تله‌های بین‌سطحی قابل اغماض است. همچنین با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ می‌توان اذعان کرد که کیفیت فصل‌مشترک بین لایه منفعل و سطح InSb بسیار بالاست. شاهد دیگر این امر عدم مشاهده اثر پسماند در منحنی است. البته مقدار دمای نهشت ۱۰۵°C نیز در بهینه‌سازی و تعیین کیفیت این فصل‌مشترک کاملاً دخالت دارد. وجود اختلاف تابع کار بین فلز گیت و نیمه‌هادی باعث غیرصفر بودن ولتاژ باند تخت شده است. اما این عامل برای جابجایی زیاد منحنی، به تنهایی، ناتوان است. یونهای مثبت موجود در اکسید باعث این جابجایی منفی می‌شوند. لذا عمده‌ترین دلیل صفر نبودن ولتاژ باند تخت، بارهای موجود در لایه اکسیدی است. به دلیل عدم اعمال استرس دما–ولتاژ روی خازنهای مورد آزمایش در مورد نوع و توزیع یونهای متحرک اکسید نمی‌توان ادعایی کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

مرجع ها

[۱] R.K.Willardson and A.C.Beer, *Infrared Detectors* (Academic, New York, 1970), p.p.15-77.
[۲] M.Okamura and M.Minakata, *J.Appl.Phys*.**57** (6), 2060(1985).
[۳] Y.Shapira, J.Bregman and Z.Calahorra, *Appl.Phys*. Lett.**47,** 495(1985).
[۴] H.Fujisada and T.Sasade, *Jpn.J.Appl.Phys*., Part 2 **23**, L46(1984).
[۵] J.D.Langan and C.R.Viswanathan, *J.Vac.Sci.Technol*.**16**. 1474(1979)**.**
[۶] ف.سادگی، *"بررسی، نمو و تعیین مشخصات فیزیکی اکسید سیلیسیم"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد الکترونیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۶.
[۷] رابرت پیرت، *ادوات اثر میدانی*، مترجم: دکتر محمدکاظم مروج فرشی، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، چاپ اول(۱۳۷۲).
[۸] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, *Electrical Insulation and Electronics*, VOLUME. **10.05**, Electronics (11), USA 1993.
[۹] J.G.Lee, S.Y.Choi and S.J.Park, *J.Appl.Phys*.**82** (8), 3917(1997).

---

[1] -deposition
[2] -substrate
[3] -anodic oxidation
[4] -Low Temperature Chemical Vapor Deposition
[5] -radio frequency
[6] -wafer
[7] - Mass Flow Controller
[8] -doping
[9] -capacitance meter
[10] -bias voltage
[11] -flat band
[12] -capacitance-voltage

Archive of SID

www.SID.ir