



طراحی و ساخت حسگر هیدروژنی با استفاده از لایه نانومتری نیکل

قباد بهزادی پور*' و لیلا فکری اول ً

۱– گروه فیزیک، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران ۲–مرکز تحقیقات فیزیک پلاسما، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاريخ ثبت اوليه: ١٣٩٥/١١/٢٩، تاريخ دريافت نسخه اصلاح شده: ١٣٩٦/٠١/٢٤، تاريخ پذيرش قطعى: ١٣٩٦/٠٢/١٠

چکیدہ

ساختار فلز-اکسید-نیمرسانا یک روش مناسب و ارزان برای نمایش غلظت گاز هیدروژن می باشد که بر اساس تغییر در تابع کار فلز، مولکول های گاز هیدروژن را آشکارسازی می کند. حسگر هیدروژنی با استفاده از آنالیزهای XRD و AFM مشخصه یابی شده اند. تاثیر ضخامت لایه اکسید بر زمان پاسخدهی و زمان برگشت پذیری حسگر بررسی شده است. بیشترین پاسخدهی (% Response) و کمترین زمان پاسخدهی حسگر به گاز هیدروژن برای لایه اکسید nm ۸۸ مشاهده شد. نتایج نشان می دهد که ساختار Ni/SiO₂/Si یک حسگر با سرعت پاسخدهی بالا برای آشکارسازی گاز هیدروژن در غلظت ۴٪ می باشد. مقایسه حسگرهای خازنی مختلف اطلاعات مفیدی را در مورد پارامترهای تاثیر گذار بر ساختار MOS بدست می دهد.

واژه های کلیدی: لایه نانومتری، لایه اکسید، آشکارسازی، ظرفیت الکتریکی.

۱- مقدمه

هیدروژن در مقایسه با گازهای دیگر مانند بخارات بنزین، پروپان، متان دارای خصوصیات غیرعادی می باشد. این خصوصیات شامل چگالی پایین ۸۹۹۰ kg/m³، دارای ضریب پخششدگی بالا در هوا ۶/۶۱ cm²/s و شناوری می باشد. هیدروژن با مقدار پایین انرژی ۱۴۲ mJ می باشد و احتراق دارد و گرمای احتراق آن ۱۴۲ kJ/g می باشد و

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شرق، گروه فیزیک

تلفن: ۴۴۸۰۴۸۵۵@yahoo.com، دورنگار: ۲۳۵۵۴۰۱۱، پست الکترونیکی: ghobadbehzadi@yahoo.com

محدوده قابل اشتعال آن بین ۷۵٪ – ۴ میباشد. دارای سرعت احتراق بالا، حساسیت انفجار و دمای اشتعال آن برابر ۲۰ ۵۹۰ میباشد. هیدروژن همچنین به عنوان یک عامل کاهنده قوی برای برخی عناصر و یک عامل نفوذپذیر برای بعضی از مواد مورد نیاز کاربردهای خاص میباشد. به عنوان یک گاز بیرنگ، بیبو، بیمزه و قابل اشتعال است. این گاز توسط حواس انسانی قابل شناسایی نیست، بنابراین به حسگری نیاز است که با دقت و سرعت بالا مخلوطی از گاز

^{*} عهدهدار مكاتبات: قباد بهزادى پور

مبدل مورد نیاز می باشد. حسگرهای هیدروژنی بر اساس واکنش های خاص (مانند واکنش کاتالیزوری و قابلیت انحلال) بین هیدروژن و عناصر نجیب مانند پالادیم و پلاتین میاشند. هر دو واکنش (واکنش حرارتی، تغییر در حامل های بار) با تغییر در نتایج خصوصیات ماده حسگر (مقاومت، مقدار انبساط و غیرہ) می تواند در آشکارسازی و کمی کردن مقدار گاز هیدروژن مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه پالادیم و پلاتین به طور وسیعی در آشکارسازی هيدروژن مورد استفاده قرار مي گيرند، اما اين فلزات هنگامی که در معرض هیدروژن قرار می گیرند مستعد آسیب مکانیکی میشوند. به غیر از فعالیت کاتالیزوری در سطح خود آنها مي توانند باعث جذب گاز هيدروژن به درون ماده شوند که باعث منبسط شدن ماده می شود. ظرفیت پالادیم برای جذب هیدروژن از پلاتین بیشتر است. دو فاز هیدرو اکسیدی غیر استکیومتری (pdH •/٠٣) و (pdH<•/٨٣) مي توان زير C° ۳۰۰ بدليل جدايي گازها متمايز باشد [٩]. اگرچه پلاتين هيدروژن را در اندازه كوچك جذب مي كند، با اين حال باعث افزايش حجم میشود. این تغییرات حجم مربوط به تکرار جذب و دفع هیدروژن که باعث سست شدن ساختار فلز میشود و مي تواند باعث شكستن، برجستگي و لايه لايه شدگي لايه فلزی شود که اثر شکنندگی نامیده می شود و نتیجه منفی بـر پايداري حسگرهاي هيدروژني بر اساس فلزات نجيب را دارد. حسـگرهای هیـدروژنی بـه ۸ دسـته کاتـالیزوری، رسانندگی حرارتی، بر اساس مقاومت، بر اساس تـابع کـار، مكانيكي، اپتيكي و صوتي تقسيمبندي مي شوند [۱۷-۱۷]. حسگرهای هیدروژنی بر اساس تابع کار اساسا دارای سه لایه فلز- اکسید-نیمرسانا (MOS: Metal-Oxide-Semiconductor) می باشند. گیت فلزي حساس به هيدروژن بوده و روي لايه اكسيد نشانده می شود. در ساختار خازن MOS اتم های هیدروژن از طریق فلز كاتاليزوري جذب شده و در فصل مشترك فلز-اكسيد يك لايه دوقطبي ايجاد مي كنند كه تابع كار فلز را كاهش ميدهد.

هيدروژن كه در هوا قابليت انفجار را دارد، تشخيص دهـد. برای مثال نمایش غلظت هیدروژن در ساخت آمونیاک، متانول، آبپوشی هیدروکربن، گوگردزدایی از تولیدات نفتي و در توليد سوخت موشك اهميت دارد. همچنين تعيين غلظت هیدروژن در فرآیند متالورژیکی مورد نیاز می باشد [1]. هیدروژن مایع به عنوان سوخت در کاربردهای فضایی مورد استفاده قرار می گیرد و حسگرهای هیدروژنی برای آشکارسازی هیدروژن در حین پرتاب شاتل و سایر کاربردهای فضایی مورد استفاده قرار گرفته است. حسگر هیدروژنی همچنین می تواند در کاربردهای بیوپزشکی به عنوان شاخص بعضى از بيمارى هاى خاص و همچنين آشکارسازی آلودگیهای محیطی مورد استفاده قرار گیرد [۲]. هیدروژن می تواند به عنوان یک حامل انرژی در رفع مشکل کاهش سوختهای فسیلی، و افزایش دمای جهان کمک کند. حسگرهای هیدروژنی وسایل مبدلی هستند که مولکول های گاز هیدروژن را آشکارسازی می کنند و یک سیگنال الکتریکی که متناسب با غلظت هیدروژن است، توليد مي كنند [٣]. تعدادي از انواع مختلف حسگرهاي هیدروژنی تجاری قابل دسترس و در حال توسعه وجود دارد که اصول بیشتر آنها در طول یک دهـ شناخته شـده است [4-4]. با توجه به نیازمندی های اقتصادی تحقیقات زیادی در زمینه افزایش حساسیت، زمان پاسخدهی، قابلیت اعتماد، کاهش سایز، هزینه و توان مصرفی گزارش شده است [۸-۴]. حسـگرهای هیـدروژنی بـرای نشـان دادن حضـور هیدروژن و یا اندازه گیری غلظت هیدروژن استفاده میشوند. اندازه گیری میزان غلظت هیدروژن در سطح ppm براي آناليز ناخالصيها، محدوده قابل اشتعال پايين، ميزان ۴٪ هیدروژن در هوا که برای کاربردهای امنیتی مهم است و غلظت بالابراي نمايش وكنترل فرآيندها از اهميت برخوردار است. برهمکنش هیدروژن با عنصر حساس آشکارساز می تواند باعث تغییراتی در دما، ضریب شکست، خصوصیات الکتریکی، جرم و همچنین تغییرات مکانیکی شود. برای تبدیل این تغییرات به سیگنالهای الکتریکی یک



Ni/SiO₂/Si نشان داده شده است. این حسگر روی یک سیلیکون نوع n با جهت گیری <۴۰۰> و مقاومت ویژه (۰/۲۲ cm) ساخته شده است. دی اکسید سیلیکون به عنوان یک لایه عایق در وسایل با ساختار MOS استفاده می شوند. در حقیقت کیفیت لایه اکسید یک فر آیند بسیار مهم در تکنولوژی MOS میباشد. کیفیت لایه اکسید علاوه بر آنکه ولتاژ نوار-تخت (flat-band voltage) را تعیین مي كند، همچنين ظرفيت كلي خازن را نيز مشخص مي نمايد. در آزمایشگاه روش اکسیداسیون خشک یکی از بهترین راهها براي رشد لايه نازك اكسيد با كيفيت بالا ميباشد. بعد از تميز كردن ويفرها، نمونهها به كوره رسوب بخار شيميايي حرارتی (TCVD: Thermal Chemical Vapor Deposition) منتقل شدند. سپس گاز نیتروژن بـا شـار (۲/۵ Lit/min) وارد کوره گردید و دمای کوره تا دمای [°] ۱۰۰۰ با نرخ (۵/۵ °C/min) افزایش یافت. در دمای C° ۱۰۰۰ گاز نيتروژن مسدود شد و گاز اکسيژن با شار (۲/۵ Lit/min) وارد کوره گردید. اکسیداسیون خشک برای چهار نمونه در زمانهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ min انجام شد. روی لایه اکسید با استفاده از روش تفنگ الکترونی یک فیلم ۱۰۰ nm از نیکل لایهنشانی شده است. شکل خاص ماسک به دو علت میباشد. اول آنکه، برای جلو گیری از اثرات لبه هنگامی که خازن تحت میدان کاربردی قرار می گیرد، فیلم نیکل با لبهها فاصله داشته باشد. دوم آنکه، لبه های ماسک برای اتصال به سيمها، كشيده شده است. جهت ايجاد تماس اهمي يك لايه ۱۰۰ nm از طلا در یشت حسگر لایهنشانی شده است. در شکل ۲ آنالیز XRD از ویفر سیلیکونی نشان داده شده است. تک پیک مشاهده شده در شکل ۲ نشان میدهد که سیلیکون استفاده شده خالص میباشد.

دستگاه اندازه گیری شامل یک LCR متر مدل (GPS3135 B) میباشد که قابلیت اتصال به کامپیوتر را دارد. برنامه اجازه میدهد که داده از طریق کابل اتصال RS232 به کامپیوتر منتقل شوند. دستگاه LCR متر تابعی را برای اندازه گیری ظرفیت الکتریکی با استفاده از روش های

حسگرها بر اساس تابع کار به سه دسته دیود شاتکی فلز-عايق-نيمرسانا (MIS: Metal-Insulator-Semiconductor) و ترانزیستور اثر میدانی فلز-اکسید-نیمرسانا :Metal-Oxide-Semiconductor Filed Effect Transistor) MOSFET) تقسیمبندی میشوند. حسگر MOS خازنی در مقایسه با دیود شاتکی و ترانزیستور دارای لایه اکسید ضخیم تری می باشد. اساس حسگر گازی MOS بر پایه جابجایی نمودار C-V برای اندازه گیری غلظت هیدروژن میاشد. مقایسه میان ۵۳ حسگر گاز هیدروژن برای کاربردهای ثابت و متحرک در مرجع [۱۸] گزارش شده است. این مرجع نشان میدهـد حسگر خازنی دارای زمان پاسخدهی ۲s و طول عمر ۸۷۶۰۰ و محدوده اندازه گیری ۴/۴٪–۰/۰۲ میباشد. در مرجع [۱۹] حسگر هیدروژنی بر اساس ساختار خازنی Ni/SiO₂/Si در محدوده اندازه گیری ۰/۰/۱–۰/۰۰ گزارش شده است. این مرجع بیان می کند که در غلظت ۰/۰۰۵٪ مقدار پاسخدهی حسگر ۱۸٪ می باشد. حسگر هیدروژنی با سرعت پاسخدهی ۲۲ s بر اساس ساختار Ni/SiO₂/Si با ضخامت لايه اكسيد ۸ ۲۴ در مرجع [۲۰] بررسی شده است. گزارشات مختلف از حسگرهای ہیدروژنی بر اساس ساختار MOS خازنی نشان میدہند کے ضخامت لايه اكسيد بر سرعت پاسخدهي حسكر تاثير گذار میباشد. در این مقاله طراحی و ساخت حسگر هیدروژنی بر اساس ساختار فلز-اكسيد-نيمرسانا با استفاده از لايه نانومتري نيكل به عنوان فلز كاتاليزوري بررسي شده است. اثر ضخامت لایه اکسید بر پاسخدهی حسگر MOS خازنی برای چهار نوع حسگر با ضخامت های مختلف گزارش شده است. زمان پاسخدهمی و برگشت پذیری حسگر در دمای °C ۱۴۰ بررسی شده است.

۲- فعالیت های تجربی
 ۲-۱- ساخت حسگر هیدروژنی با ساختار
 Ni/SiO₂/Si
 در شکل ۱ فرآیند ساخت حسگر هیدروژنی با ساختار

Archive of SID

Archive of SID



www.SID.ir

سری و موازی فراهم می کند. محدوده اندازه گیری ظرفیت الکتریکی دستگاه LCRمتر از ۰/۰۰۰۱ pF تا ۹۹۹۹/۹۹ mF با دقت اندازه گیری ۰/۰۵٪ می باشد. دستگاه LCR متر قادر است که ظرفیت الکتریکی را با دقت بالا در محدوده است که ظرفیت الکتریکی را با دقت بالا در کانس فرکانسی ۵۰ Hz تا ۱۰۰ kHz اندازه گیری کند. فرکانس LCR متر برای اندازه گیری ظرفیت الکتریکی ۱۰۰ kHz می باشد.

۳- نتايج و بحث

در شکل ۳ ضخامت لایه اکسید بر حسب زمان اکسیداسیون نشان داده شده است. ضخامت لایه اکسید با استفاده از آنالیز Dektak-3 اندازه گیری شده است. برای اندازه گیری ضخامت لایه اکسید با استفاده از آنالیز 3-Dektak روی لبه ویفر یک پله ایجاد شده است. برای زمانهای اکسیداسیون ۵، ۱۰، ۱۵ و پله ایجاد شده است. برای زمانهای اکسیداسیون ۵، ۱۰، ۶۰ و میباشد. مقایسه نتایج نشان میدهد که با افزایش زمان اکسیداسیون ضخامت لایه اکسید افزایش مییابد.

بعد از ایجاد لایه اکسید روی ویفر با استفاده از آنالیز AFM مدل (DS 95-50-E scanner) خصوصيات سطح اكسيد مورد آنالیز قرار گرفته است. اندازه اسکن با دقت زیر ۰/۱ nm در محدوده μm ۵۰×۵۰ می باشد. برای یک مقایسه بهتر در شکل ۳ همچنین اثر زمان اکسیداسیون بر اندازه دانه ها نیز بررسی شده است. در شکل ۴ قسمت (c) اندازه دانه ها برای زمان اکسیداسیون a min با استفاده از نرمافزار DME اندازه گیری شده است. همانطور که از شکل ۴ مشاهده می شود اندازه متوسط دانه ها در حدود ۲ µm میباشد. اندازه دانه ها برای زمان اکسیداسیون ۱۰، ۱۵ و ۲۰ min به ترتیب ۴۳۷، ۲۶۳ و ۱۵۴ nm می باشد. نتایج نشان مىدهند كه بالا رفتن زمان اكسيداسيون اندازه دانهها كاهش یافته است. در شکل ۴ تصویر AFM در محدوده ۱۰µ۱۱×۱۰ از سطح اکسید در زمان های اکسیداسیون ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ min ارائه شده است. برای زمان های اکسیداسیون ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ min متوسط زبری به ترتیب ۱۰، ۳/۰۱، ۲/۹۹ و

۲/۹۴ nm میباشد. شکل ۴ نشان میدهد با بالا رفتن زمان اکسیداسیون هر دو پارامتر اندازه دانه ها و متوسط زبری کاهش یافته اند. با افزایش زمان اکسیداسیون از ۵ به ۲۰ min چگالی قله ها ۲ برابر افزایش می یابد. ظرفیت تئوری خازن MOS با ساختار Ni/SiO₂/Si از طریق رابطه زیر بدست می آید:

$$C_{ox} = (_{ox} _{0}A)/t_{ox}$$
 (1)

که در این رابطه می ضریب گذردهی نسبی لایه اکسید، ۵ ضریب گذردهی خلاء، می نه مخامت لایه اکسید و A سطح منطقه ایی است که بر آن لایه نانومتری نیکل لایه نشانی شده است که در حدود 2mm ۹۵ می باشد و برای تمامی حسگرها هم اندازه می باشد. ظرفیت محاسبه شده برای خازن MOS با ضخامت لایه اکسید ۲۸ nm بر ابر با ۲۳ ۳۲ می باشد. شکل ۵ منحنی های V-2 برای خازن MOS با ضخامت لایه اکسید ۲۸، ۴۰، ۴۶ و ۳۵ ۵ در حضور نیتروژن خالص و دمای می دهد. هر چهار منحنی با افزایش ولتاژ بایاس یک رفتار را می دهد. هر چهار منحنی با افزایش ولتاژ بایاس یک رفتار را ولتاژ بایاس ظرفیت اندازه گیری شده افزایش می یابد تا آنکه ولتاژ بایاس ظرفیت اندازه گیری شده افزایش می یابد تا آنکه برای لایه اکسید با ضخامت ۲۸ می ۱۰۶ مری ۲۷ م می می دهد به تر تیب برای لایه اکسید با ضخامت ۲۸ و ۲۰ م می برای با ۲۰۶، ۵۵۶ (۵۵۰ م ۲۸۷ و ۲۰ م می برای با ۲۰۶، ۵۵ م ۲۰ م

برای یک خازن MOS ایدهال ولتاژ نوار-تخت در ولتاژ بایاس صفر ولت اتفاق میافتد. ولتاژ نوار-تخت اندازه گیری شده به ترتیب برای ضخامتهای لایه اکسید ۲۸، ۴۰، ۴۶ و ۵۳ nm برابر ۱، ۱/۳، ۱/۵ و ۲۷ میباشد. ولتاژ نوار-تخت توسط رابطه زیر تعریف میشود [۲۳-۲۱].

$$\Delta V_{FB} = \frac{W_{MS}}{q} - \frac{(Q_{tot})t_{ox}}{\varepsilon_{ox}\varepsilon_{o}A}$$
(Y)

JR

www.SID.ir



شکل ٥: ظرفیت الکتریکی اندازه گیری شده بر حسب تابعی از ولتاژ بایاس در حضور نیتروژن خالص.



شکل ۲: اندازه بارهای به دام افتاده در فیلم اکسید و تغییرات ولتاژ نوار-تخت بر حسب تابعی از ضخامت لایه اکسید.



شکل ۲: منحنیهای C-V از حسگرهای MOS خازنی در بایاسهای مختلف اعمال شده، مقایسه حسگر در نیتروژن خالص و مخلوط ٤٪ هیدروژن- نیتروژن.



شکل ۸: حساسیت چهار نوع حسگر ساخته شده برحسب تابعی از ولتاژ بایاس اعمال شده.

می شود، ناحیه خطی منحنی های C-V به سمت ناحیه ولت اژ منفی کشیده می شوند و معنی آن این است که ولت اژ نوار – تخت کاهش یافته است. این جابجایی ولتاژ ناشی از جذب اتم های هیدروژن در فصل مشتر ک Ni/SiO است که مشابه فصل مشتر ک Pd/SiO است. اتم های هیدروژن که جذب لایه اکسید می شوند، قطبیده می شوند و یک لایه دوقطبی را ایجاد می کنند که آن هم باعث تغییر در تابع کار فلز نیکل می شود (V_{FB1}) [۲۵-۲۵ ا۲].

دانشمندی به نام Lundstrom [۲۸] نشان داد که فلزاتی همانند پلادیم، پلاتین، نیکل و کبالت با فعالیت کاتالیزوری، مولکول هیدروژن را به اتمهای هیدروژن تبدیل کرده و یک لایه دوقطبی را در فصل مشترک فلز-عایق ایجاد می کند. جابجایی ولتاژ نوار-تخت قسمت دوم و قسمت اول معادله ۲ به ترتیب مربوط به بارهای به دام افتاده در لایه اکسید و تابع کار فلز میباشد. شکلهای ۶ و ۷ به وضوح نشان می دهند که در غیاب هیدروژن قسمت دوم معادله ۲ بخش موثر است و هنگامی که حسگر در معرض هیدروژن قرار می گیرد، قسمت اول معادله ۲ بخش تاثیر گذار میباشد. پاسخدهی حسگرها به هیدروژن به وسیله تغییر ظرفیت الکتریکی در ولتاژهای مختلف و در مخلوط ۴٪ هیدروژن-نیتروژن مشخصهیابی شده است. حساسیت به

$$R(\%) = (C_{\rm H}-C_{\rm N})/C_{\rm N} \times 100$$
 (Y)

جایی که CN ظرفیت در نیتروژن خالص و CH ظرفیت در مخلوط ۴٪ هیدروژن-نیتروژن میباشد. شکل ۸ حساسیت چهار نوع حسگر ساخته شده برحسب تابعی از ولتاژ بایاس اعمال شده را نشان میدهد.

شکل ۸ نشان میدهد که بالاترین پاسخدهی برای لایه اکسید ۲۸ nm میباشد و برابر با ۸۷/۵٪ میباشد. پاسخدهی با افزایش در ولتاژ بایاس کاهش مییابد. برای نمونههای دیگر با ضبخامت لایه اکسید ۴۰، ۴۶ و ۵۳ nm

سیلیکون است و q بار الکترون، Qtot کل بارهای به دام افتاده در لایه اکسید و Cox ظرفیت الکتریکی لایه اکسید میباشد. انرژی پتانسیل یک الکترون در یک رسانا در مقایسه با انرژی یک الکترون در فضای آزاد را تابع کار فلز می گویند. برای نیکل تابع کار از ۵٬۰۴ تـا ۵/۳۵ افزایش می یابد و برای سیلیکون تابع کار از ۴/۶۰ تـا ۴/۸۵ eV تغییر می کند و علت این تغییرات ناشی از غلظت آلایش ها، دما و جهت گیری کریستال می باشد [۲۴]. برای ساختار Ni/SiO₂/Si یک مقدار نوعی از بخش اول معادله ۲ برابر با V ۵/۰ میباشد. یک روش استاندارد برای مطالعه طبیعت و خصوصیات این نوع بارها و محاسبه چگالی آنها اندازه گیری C-V از MOS خازنی در فرکانس بالا و تحت بایاس تنشهای حرارتی میباشد. تحت تاثیر ولتاژ بایاس و دما یک جابجایی در منحنی C-V خازن MOS (برای حالت ایدهال و واقعی منحنی،های C-V) قابل مشاهده میباشد. مقدار اندازه گیری شده از معادله ۲ برای ضخامت های لایه اکسید ۲۸، ۴۰، ۴۶ و ۵۳ mm برابر با ۰/۵، ۸/۸، ۱ و ۱/۵ /۷ می باشد. بار کل Qtot از طریق معادله ۲ به دست می آید. لایه اکسید بدلیل بارهای به دام افتاده در داخل آن دارای رسانندگی الکتریکی میباشد. برای محیطهای اتلاف ضريب گذردهي مختلط از طريق رابطه زير بدست مي آيد. شکل ۶ اندازه بارهای به دام افتاده شده در لایه اکسید و همچنین جابجایی ولتاژ نوار-تخت را بر حسب تابعی از ضخامت لايه اكسيد در ولتاژ باياس نوار-تخت نشان مىدھد.

همانطور که از شکل ۶ مشاهده می شود با افزایش ضخامت لایه اکسید از ۲۸ به ۵۳ مقدار بارهای به دام افتاده از به اکسید از ۲۸ به ۵۳ مقدار بارهای به دام افتاده از می یابد. نتایج نشان می دهند که بارهای به دام افتاده به عنوان یک پارامتر مهم باعث جابجایی ولتاژ نوار-تخت می شوند. شکل ۷ منحنی های V-C از حسگرهای MOS خازنی در بایاس های مختلف اعمال شده در حضور غلظت ۴٪ هیدروژن را نشان می دهد. همانطور که از شکل ۷ مشاهده

Archive of SID

00



شکل ۹: زمان پاسخدهی ((t_{90%}) را برای چهار نوع حسگرNi/SiO₂/Si.

Structure	Temperature Range (^C C)	Oxide thickness	Physical sensing parameter	Response time	Response	Reference
Ni/SiO ₂ /Si	140 °C	28 nm	Capacitance	84 s	87.5%	This work
Ni/SiO ₂ /Si	140 °C	53 nm	Capacitance	282 s	2%	This work
Ni/SiO ₂ /Si	150 °C	24 Å	Capacitance	16 s	90%	[20]
Ni/SiO ₂ /Si	150 °C	148 Å	Capacitance	875 s	40%	[20]
Ni/SiO ₂ /Si	140 °C	14.4 nm	Capacitance	44 s	35%	[19]
Pt/SiO ₂ /Si	120 °C	100 Å	Capacitance	-	91.3%	[29]
Pd/SiO ₂ /Si	Room temperature	50 Å	Capacitance	20 s	-	[30]
Pd/SiO ₂ /Si	Room temperature	100 Å	Capacitance	50 s	-	[30]

جدول ۱: مقایسه حسگرهای هیدروژنی بر اساس ساختار MOS خازنی.

از ۲۸ به ۳ ۵۳ پاسخ دهی از مقدار ۵۷/۸ به ۲٪ کاهش یافته است. نتایج ما مطابقت خوبی را با نتایج مرجع [۲۰] نشان می دهد. شکل ۹ زمان پاسخ دهی ((((top) را برای چهار نوع حسگر Ni/SiO₂/Si را نشان می دهد. همه داده ها در مخلوط ۴٪ هیدروژن – نیتروژن و دمای ۲۵ ۱۴۰ و فر کانس مخلوط ۴٪ میدروژن – نیتروژن و دمای ۲۵ ۱۴۰ و فر کانس مدهد که زمان پاسخ دهی (((top) برای ضخامت ۳۸ M برابر ۴۶ می باشد. این اختلاف بالاترین پاسخدهی به ترتیب در ولتاژهای ۱٬۰٬۵۴ و ۷ ۸۵/۰ اتفاق میافتد و نشان می دهد با افزایش ضخامت لایه اکسید پاسخدهی کاهش یافته است. Lu[۲۰] حساسیت یک نوع حسگر MOS خازنی با ضخامتهای لایه اکسید ۲۴ و ۸ ۱۴۸ (در ۴٪ هیدروژن، دمای ۲۵ ۵۰ و فرکانس ۲۰ kHz (در ۴٪ هیدروژن، دمای ۲۰ ۵۰ او فرکانس ضخامت لایه اکسید پاسخدهی از مقدار ۹۰ تا ۴۰٪ کاهش یافته است. برای نتایج ما با افزایش ضخامت لایه اکسید

مربوط به حساسیت حسگر به هیدروژن میباشد که ناشی از توسعه لایه دوقطبی در فصل مشتر ک Ni/SiO میباشد. برای یک مقایسه بهتر نمودار زمان پاسخدهی برای چهار نوع حسگر مختلف نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. زمان پاسخدهی، زمان سپری شده از وقتی است که هیدروژن قطع میشود تا زمانی که حساسیت به ۱۰٪ مقدار خود کاهش می یابد. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است زمان پاسخدهی با افزایش در ضخامت لایه اکسید افزایش یافته است.

در جدول ۱ حسگرهای هیدروژنی بر اساس ساختار MOS خازنی با ضخامت های مختلف از لایه اکسید با یکدیگر مقایسه شدهاند. همانطور که از جدول ۱ مشاهده می شود با افزایش ضخامت لایه اکسید زمان پاسخدهی افزایش و پاسخدهی (Response) کاهش می یابد. برای ساختار پاسخدهی (Response) کاهش می یابد. برای ساختار زمان پاسخدهی حسگر از ۲۰ به ۲۰ افزایش می یابد. دلیل زمان پاسخدهی حسگر از ۲۰ به ۲۰ افزایش می یابد. دلیل اصلی این رفتار آن است که با کاهش ضخامت لایه اکسید، لایه دو قطبی ایجاد شده در فصل مشتر ک 20iN و Ni/SiO وی تر می گردد. در نتیجه تابع کار فلز بیشتر کاهش یافته و جابجایی نمودار V-ک افزایش می یابد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله زمان پاسخدهی و بر گشت پذیری برای چهار حسگر ساخته شده با ضخامت های مختلف لایه اکسید در مخلوط ۴٪ هیدروژن –نیتروژن با هم مقایسه شدهاند. اندازه گیری ظرفیت الکتریکی در ولتاژهای بایاس مختلف و برای ضخامت های مختلف لایه اکسید در حضور نیتروژن خالص نشان می دهد که با افزایش در ضخامت لایه اکسید ولتاژ نوار-تخت افزایش یافته است. این نشان می دهد که بارهای به دام افتاده در لایه اکسید نقش بسیار مهمی را در اندازه گیری دارند. با استفاده از معادله ولتاژ نوار-تخت (معادله ۲) اندازه بارهای به دام افتاده در اکسید اندازه گیری شده است. با افزایش در ضخامت لایه اکسید از ۲۸ به

۵۳ nm مقدار بارهای به دام افتاده از ۲۰^{-۱}۰ × ۴/۴ تا مقدار coulomb/cm² × ۱۰^{-۱۰} coulomb/cm² C-V از حسگرهای MOS خازنی با ضخامت های مختلف لايه اکسيد نشان مي دهند هنگامي که حسگر در معرض هیدروژن قرار می گیرد ناحیه خطبی منحنبی C-V به سمت ولتاژ منفى جابجا مىشوند. اين جابجايى ولتاژ نوار-تخت ناشی از جذب اتمهای هیدروژن در فصل مشتر ک Ni/SiO₂ است که شبیه Pd/SiO₂ میباشد. در نیتروژن خالص قسمت دوم معادله ۲ بخش تاثیر گذار روی تغییرات ولتاژ نوار-تخت است و هنگامی که حسکر در معرض هیدروژن قرار می گیرد قسمت اول معادله ۲ بخش با اهمیت در تغییر ولتاژ نوار-تخت ميباشد. نتايج نشان ميدهد كه پاسخدهي حسگر از ۲ تا ۸۷/۵٪ افزایش یافته است. زمان پاسخدهی حسگر برای لایه اکسید ۲۸ nm برابر ۸۴ s است در حالی که برای لایه اکسید ۵۳ nm برابر ۴۳۸۰ می باشد. پارامتر زمان بازگشت پذیری با بالا رفتن ضخامت لایه اکسید افزایش یافته است. نتایج حاصل اطلاعات خوبی را در مورد رابطه بين حساسيت، ضخامت لايه اكسيد، بارهاي به دام افتاده و جابجایی ولتاژ نوار-تخت را برای حسگر MOS خازنی با ساختار Ni/SiO₂/Si را بدست می دهد.

سپاسگزاری مولفین لازم میدانند که تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق جهت حمایت این مطالعه اعلام نمایند.

مراجع

- [1] C. Schwandt, D.J. Frey, *Ionics*, 6, 2000, 3.
- [2] C.A. Grimes, K.G. Ong, O.K. Varghese, X. Yang, G. Mor, M. Paulose, E.C. Dickey, C. Ruan, M.V. Pishko, J.W. Kendig, A.J. Mason, *Sensors*, **3**, 2003, 69.
- [3] A. Hulanicki, S. Glab, F. Ingman, Pure Appl. Chem., 63, 1991, 1247.
- [4] G.W. Hunter, *NASA Technical Memorandum 105878*, Nov. 1992.
- [5] V.A. Aroutiounian, Int. J. Altern. Energy Ecol., 3, 2005, 21.
- [6] http://www.hysafe.org/download/1200/BRHS Chap5 V1p2.pdf, 2010.
- [7] W.J. Buttner, M.B. Post, R. Burgess, C. Rivkin, *int. J. hydrogen energy*, **36**, 2011, 2462.



- [19] C. Lu, Z. Chen, K. Saito, Sens. and Actuators B, 122, 2007, 556.
- [20] C. Lu, Z. Chen, Int. J hydrogen energy, 35, 2010, 12561.
- [21] S.M. Sze, "Physics of semiconductor devices", Wiley,
- New York, 1981. [22] N. Bhagirath, E. Kanhere, E. Bhattacharya, Thin Solid
- Films, 519, 2010, 982.
- [23] H. Bentarzi, "Transport in Metal-Oxide- Semiconductor structure", , Springer, New York, 2011.
- [24] W.M. Haynes, "CRC Handbook of Chemistry and Physics", publisher, place, 2008.
- [25] M.A. Formoso, G.J. Maclay, Sens. and Actuators B, 2, 1990, 11.
- [26] M. Fleischer, B. Ostrick, R. Pohle, E. Simon, Sens. and
- Actuators B, 80, 2001, 169. [27] I. Lundstrom, Sens. and Actuators, 1, 1981, 403.
- [28] I. Lundstrom, T. Distefano, *Surface Science*, 59, 1976, 23.
 [29] V. Kumar, I. Rawal, V. Mishra, R. Dwivedi, R. Das,
- Materials Chemistry and Physics, 146, 2014, 418.
- [30] G. Jordan, IEEE transactions on electron devices, 32, 1985, 1158.

- [8] L. Boon-Brett, G. Black, P. Moretto, J. Bousek, Int. J. Hydrogen Energy, 35, 2010, 7652.
- Y. Fukai, "The Metal-Hydrogen System", Springer, place, [9] 2005.
- [10] T. Hubert, L. Boon-Brett, G. Black, U. Banach, Sens. Actuators B, 157, 2011, 329.
- [11] Y. Zou, Q. Wang, C. Xiang, C. Tang, H. Chu, S. Qiu, E. Yan, F. Xu, L. Sun, Int. J. Hydrogen Energy, 41, 2016, 5396.
- [12] K. Hassan, Procedia Engineering, 168, 2016, 235.
- [13] S. Kabcuma, D. Channeib, A. Tuantranontc, A. Wisitsoraatc, Sens. and Actuators B, 226, 2016, 76.
- [14] D. Zhang, Y. Sun, C. Jiang, Y. Zhang, Sens. and Actuators B, 242, 2017, 15.
- [15] L. Yang, C. Yin, Z. Zhang, J. Zhou, H. Xu, Materials
- science in semiconductor processing, 60, 2017, 16.
- [16] Y. Lmai, D. Tadaki, T. Ma, Y. Kimura, A. Hirano, M. Niwano, Sens. and Actuators B, in press, 2017.
- [17] Y.N. Zhang, H. Peng, X. Qian, Y. Zhang, G. An, Y. Zhao, Sens. and Actuators B, 244, 2017, 393.
- [18] L. Boon-Brett, J. Bousek, G. Black, P. Moretto, P. Castello, T. Hubert, Int. J Hydrogen Energy, 35, 2010, 373.