تأثیر سزیم در تشکیل لایه‌هاي فوق نازک اکسید سیلیکون

علي بهاري

گروه فیزیک، دانشگاه مازندران

چکیده

در گزارش هاي زيادي آرايش، خواص الكترونيكي و ديناميكي جذب Cs بر سطح تميز سيليكون مطالعه و بررسي شده است. در اينجا با كنترل رشد اكسيد فوق نازک بر سطح سيليكون ، اكسيد ضخيم تري را با استفاده از Cs در دماي اتاق رشد نموده است. همچنين معلوم شده است كه اتم هاي سزيم بر ساختار الكترونيكي اكسيد سيليكون فوق نازک تاثير مي‌گذارند.

واژه هاي كليدي: فيلم نازک، اكسيداسيون سيليكون، سزيم، OSHG، ساختارهاي اكسيد، لايه ي مياني

The influence of cesium on the growth of ultra thin silicon oxide layers

Ali Bahari

Physics Department, Mazandaran University

Abstract- With respect to its configuration and its electronic properties and dynamics, the absorption of Cs on clean Si surface is well characterized in a number of reports.

The present procedure was devised to directly control the growth of ultra thin oxide on Si surfaces and grow a higher oxide thickness with the assistance of Cs at room temperature. It was also found that Cs atoms influenced the electronic structure of the ultra thin oxide.

***Keywords**: Thin film, oxidation of silicon, Cesium , Optical second harmonic generation (OSHG), Oxide , interface structures*

مقدمه

هر روز كه مي گذرد ضخامت گيت ها Complementary– Metal– Oxide-Semiconductor يا ترانزيستورهاي CMOS كمتر و كمتر مي شود، بنحو كه امروزه ضخامت اكسيد سيليكوني كه به عنوان گيت CMOS استفاده مي شود حدود ۱۲ آنگستروم است. پديده هايي نظير جريان تونل زني يا جريان نشتي كه به طور نمايي با كاهش ضخامت اكسيد، افزايش مي يابد و نيز نفوذ بورن از الكترود پلي سيليكون در گيت باعث شده اند تا به فكر جايگزيني براي اكسيد سيليكون برآييم [۳-۱]. از جمله ي اين تلاش ها امكان جايگزيني با اكسي نيتريد سيليكون [۴]، نيتريد سيليكون [۷-۵]، موادي با ثابت دي الكتريک بالا [۹و۸] و حتي مواد آلي و پليمري مي توان بر شمرد. اما هنوز زود است تا اكسيد سيليكون را به كنار بگذاريم چرا كه ساير مواد دي الكتريک، با وجود مزيت هايي كه بر اكسيد سيليكون نشان داده اند، همچنان مشكل لايه ي مياني با زيرلايه ي سيليكون را دارند. به همين دليل رشد اكسيد سيليكون فوق نازک بدون هيچ ناخالصي و كثيفي و امكان كنترل آن از دغدغه هاي داغ دنياي صنعت است. علاقه هاي زيادي وجود دارد تا بتوان سيليكون بسيار تميز (بدون هيچ گونه اكسيد اوليه بر روي آن) را داشت و سپس بتوان بر روي آن به مقدار مورد نياز اكسيد سيليكون را رشد داد.

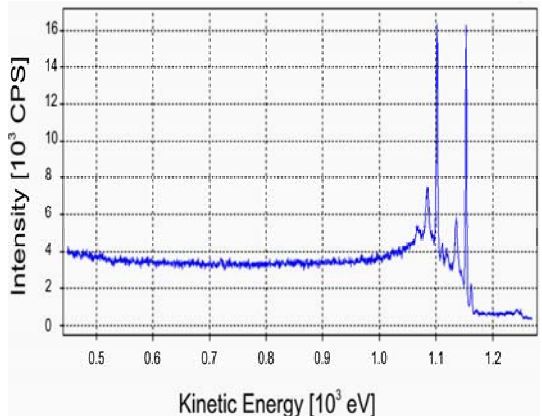
در اينجا تلاش شده است تا مجزا از ارايه ي شيوه‌اي در كنترل رشد اكسيد سيليكون فوق نازک به معرفي كاتاليزور سودمندي به نام سزيم بپردازيم كه باعث شد تا اكسيد سيليكون بدون هيچ ناخالصي و كثيفي در دماي اتاق بر سيليكون رشد يابد. يكي از نتايج كار حاضر آن است كه اكسيد سيليكون در فشارهاي پايين خود- محدود كننده است و حداكثر ۸-۷ آنگستروم اكسيد را مي توان در اين شرايط بر سيليكون رشد داد. ولي با استفاده از سزيم توانستيم اكسيد سيليكون ضخيم تري را بر روي سيليكون رشد دهيم. اين يافته مي تواند باعث بهبودي كيفيت گيت- اكسيد در ترانزيستورهاي CMOS شود.

در اينجا آزمايشات بر سطوح Si(111) در دماي اتاق و فشارهاي پايين حدود Torr $۱۰^{-۸}$-$۱۰^{-۷}$ انجام گرفته است و هر بار اكسيژن و سزيم به تناوب بر آن تابانده شده اند و پس از آن فيلم مورد نظر با تكنيکOSHG در دانشگاه ادنسه دانمارک مطالعه شده است.

بحث و نتايج

نمونه ها، Si(111) از نوع n است كه از ورق‌هايي به ضخامت يک ميلي متر و مقاومت ويژه ي ۵ اهم- سانتي متر سيليكون بريده شده اند. نمونه ها تميز شده و در ظرف بشر حاوي اتانول گذاشته شده و پس از مدتي در حمام فراصوتي به مدت نيم تا يک ساعت قرار داده شد. بلافاصله پس از آن نمونه را در محفظه ي فوق خلأ يا UHV منتقل نموده و با نگاهدارنده هاي Ta نگاه داشته شده اند. براي آنكه اطمينان حاصل شود كه نمونه ها كاملاً تميز هستند از دو سر نمونه ها كه با نگاهدارنده ي Ta در UHV قرار داشتند جريان الكتريكي در چندين دفعه عبور داده شده، بنحوي كه دماي نمونه به حدود ۱۲۰۰-۱۱۰۰ درجه ي سانتي گراد مي رسيد. اين دما توسط دماسنج نوري كه از خارج محفظه با سيستم كاليبره شده بود، اندازه‌گيري شده است. پس از آن طيفي كه از نمونه ها گرفته شده (شكل ۱) هيچ ناخالصي و كثيفي و حتي اكسيد اوليه را بر نمونه نشان نداده است.

ناگفته نماند كه فشار اوليه ي UHV كه داراي دو محفظه ي آماده سازي و رشد است حدود $۱۰^{-۱۰}$ تور بوده است. خلاء سازي نيز به وسيله ي چندين پمپ روتوري، توربو، آيون و تاليم صورت گرفته است آنگاه مولكول اكسيژن با باز شدن شير مخزن اكسيژن به درون UHV هدايت شد و در دماهاي ۷۰۰-۳۰۰ درجه ي سانتي گراد بر روي Si(111) نشست و به اين ترتيب اكسيد سيليكون در فشار هاي پايين رشد داده شد. طيف هاي حاصل از XPS مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

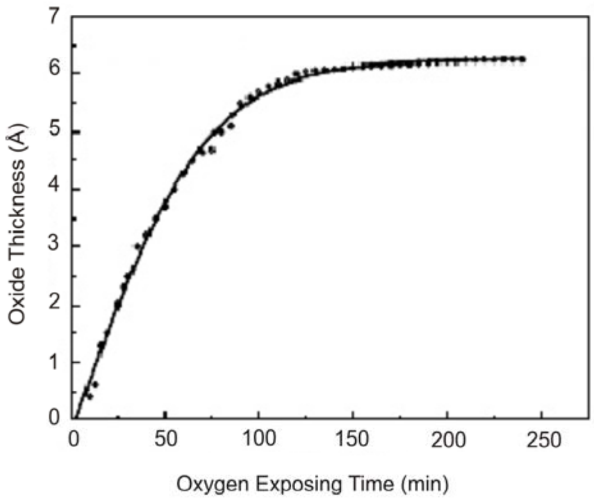


شکل ۱. نمودار **XPS** سيليكون تميز در **ev** ۱۲۵۳= E_{photon} (آنود **Mg**). همانطور كه مشاهده مي شود هيچ ناخالصي بر سيليكون وجود ندارد و دو قله در ۱۱۰۵ و ۱۱۵۵ الكترون ولت به ترتيب مربوط به**Si 2s** و **Si 2p** مي باشند. **[** توجه: محور قائم شدت و محور افقي انرژي جنبشي ضرب در **eV** ۱۰۰۰ را نشان مي دهد.**]**

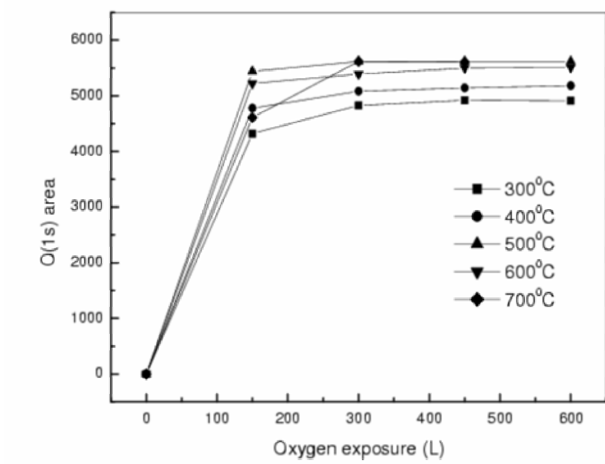
ضخامت اكسيد از فرمول زير به دست مي آيد [۳، ۸،۷].

$$\frac{I(O(1s))}{I(Si(2p))}=\frac{I(O(1s)\,from\,SiO_2)}{I(Si(2p)\,from\,Si)}\frac{1-\exp\left(-x/214(\mathring{A})\right)}{\exp\left(-x/267(\mathring{A})\right)} \quad (۱)$$

در اينجا λ_{Si} و λ_{SiO_2} مقدار مسافت ميانگين الكترون در توده ي سيليكون و اكسيد هستند و β (=۵/۸) كه نسبت شدت اكسيد به شدت سيليكون است در كوره اي با فشار يک اتمسفر به دست آمده است. در واقع از اين اكسيد ضخيم، به عنوان مرجع سنجش براي آزمايش اكسيد، در فشارهاي پايين استفاده شده است. سپس با ترسيم ضخامت با ميزان اكسيژن تابانده شده (شکل ۲)، ملاحظه شده است كه رشد اكسيد در فشارهاي پايين خود-محدود كننده يا Self - limiting است و حداكثر ضخامت اكسيد كه حدود ۸-۷ آنگستروم است در دماي ۵۰۰ درجه ي سانتيگراد به دست آمده است (شكل۳). براي جزييات بيشتر به ادامه ي بحث توجه كنيد. ولي نكته اي كه بايد در اينجا اشاره كرد اين است كه رشد اكسيد در فشارهاي پايين خود- محدود كننده است و مهم تر اين كه نمي توان اكسيدي بيش از ۸ آنگستروم را در اين شرايط رشد داد. در



شکل ۲. رشد اشباعي يا خود- محدود كننده ي اكسيد روي (۱۱۱)**Si** در دماي ^{o}C ۵۰۰ و فشار ۵×۱۰^{-۹}. ضخامت اكسيد از رابطه ي (۱) بدست آمده است.



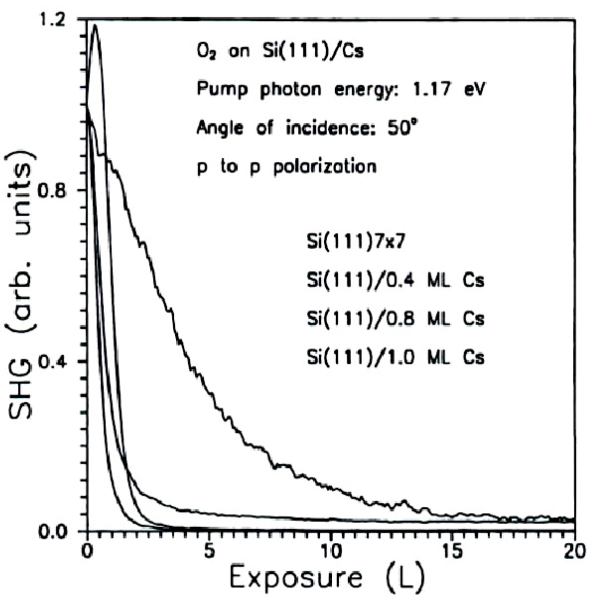
شکل۳. تعدادي فرآيند رشد در دماهاي مختلف كه با **XPS** در فشار **Torr** ۵×۱۰^{-۷} اندازه گيري شده اند، رفتاري خود- محدودكننده نشان مي دهند(جز در دماي ^{o}C ۸۰۰) و ماكزيمم ضخامت اكسيد در دماي ^{o}C ۵۰۰ مي باشد

تلاشي ديگر و به منظور مطالعه ي سزيم بر اكسيد سيليكون سعي شد تا در دماي اتاق به رشد اكسيد سيليكون دست زده شود. در اينجا همانطوري كه ملاحظه مي كنيد با استفاده از تكنيک OSHG به مطالعه ي آن پرداخته شده است. سزيم از يک چشمه ي تغليظ كننده SAES در دانشگاه ادنسه دانمارک كه با عبور جريان، اين

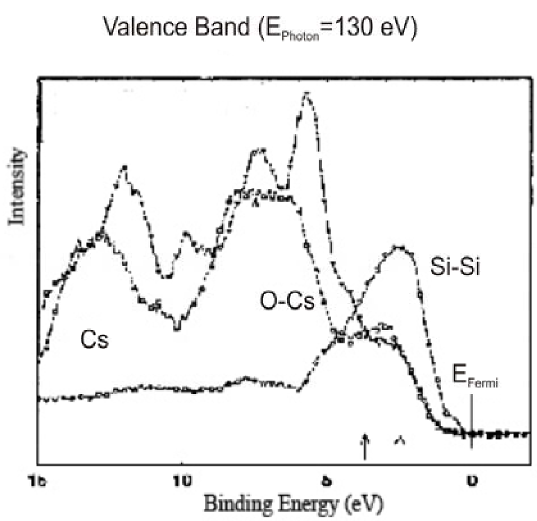
الكتريكي مستقيم، گرم شده گسيل مي گردد چشمه با جريان ۳A داغ نگه داشته شده است و در زمان تبخير سزيم، جريان عبوري از آن بين۵ تا ۵/۵ آمپر بوده است. در اندازه گيري با OSHG سه نوع سيستم مختلف ليزري به كار رفتند كه عبارتند از Q-Switched Nd : YAG ليزر با ns ۱۰ پالس و آهنگHz ۲۰ و طول موج۱۰۶۴ نانومتر، يک پمپ مولد اپتيكي با فركانس نوري مضاعف ازNd : glass ليزر با ps ۱/۵ و آهنگ Hz ۲/۵ و ليزر سومي كه ليزر Ti : sapphire با پالسfs ۱۰۰ است.

در اينجا نمونه درون UHV جهت مطالعه ي اپتيكي با ليزر آماده شده است. تميز كردن نمونه مثل حالت در XPS بوده است از نور هارمونيک ثانويه با يک مونوكروماتور و يک لوله ي فوتو مولتي پلاير كه به سيستم الكترونيكي وصل است استفاده شده است. قطبنده هاي اپتيكي در مسير نور قرار گرفتند تا امكان تركيبات مختلف قطبيده P و S را فراهم آورند. آنگاه با نگاه به سيگنال‌هاي OSHG در طي اكسيداسيون و تاباندن سزيم بر Si(111) مي توان به تاثير سزيم بر اكسيد پي برد.

با توجه به شكل (۴) مشاهده مي شود كه در اندازه گيري‌هاي OSHG دو قله ي تيز در آرايش P-to-P، انرژي هاي پمپ ۱/۱۷ و ۱/۴۵ الكترون ولت وجود دارند كه در پوشش ها به مقدار ۰/۴ وMNL ۰/۸ سزيم صورت گرفته اند. قله ي تيزي كه در سيگنال MNL ۰/۴ ملاحظه مي گردد يک حالت جديد الكترونيكي است كه به دليل پيوند ad-atom سيليكون با سزيم مي باشد و سيگنالي كه در حالت MNL ۰/۸ است به ايجاد پيوند rest-atom سيليكون با سزيم مربوط مي شود كه گوياي لايه ي فلزي آن است. در مورد ad-atom، rest-atom و مواردي نظير آن كه به سطح7×7 Si(111) مربوط مي شود مي توان به منابع [۱۰و۵] مراجعه كرد و تنها بسيار سريع اشاره شود كه سلول واحد 7×7 Si(111) بر طبق مدلDAS [۱۰] داراي ad-atom، rest-atom، dimer-atom، و دو نيمه ي متفاوت است. شكل (۵)



شكل ۴. تغييرات سيگنال هاي **OSHG** با تغييرات اكسيژن تابيده شده در**eV** ۲/۳۴ و لايه هاي مختلف نشست داده شده ي **Cs**.



شكل ۵. طيف هاي انتخاب شده ي نوار ظرفيت در انرژي فوتون **ev**۱۳۰ از سطح تميز سيليكون و سطحي كه با **Cs** و O_2 براي مرتبه ي سوم تابانده شده اند. در شكل؛ علامت پيكان نشان دهنده ي وضعيت لبه ي نوار فيلم سزيم- اكسيژن (در غياب توده ي سيليكون) است.

شرح مي دهد كه چطور سيگنال هاي OSHG در ۲/۳۴eV براي پوشش هاي(coverages) مختلف Cs جذب شده با تاباندن اكسيژن بر نمونه تغيير مي كند. براي اين كه بتوان آن ها را بهتر مقايسه كرد بهنجارش به يک آنها را در شكل (۴) مشاهده مي كنيد كه شامل سيگنال

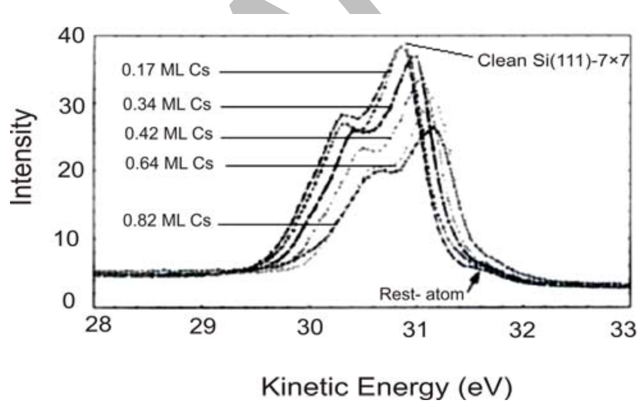
مربوط به سطح تميز سيليكون است. داده ها تحت زاويه ي فرودي ۵۰ درجه نسبت به سطح نمونه ثبت و سيگنال هاي پمپ و پرتوهاي قطبيده در صفحه ي نور فرودي صورت پذيرفته است. در اين آرايش، قطبيده ي غير خطي عمود بر سطح در نظر گرفته شده است. سيگنال OSHG در (۲/۳۴ ev) حالت هاي القاء شده در تراز فرمي را شان مي دهد كه مربوط به پيوندهايCs-Si است و به اين پيوندها هم خيلي حساس هستند. اين حالت ها با تابش اكسيژن بر Si/Cs جابجا مي‌شود كه شايد به دليل شكستن پيوند ها مي باشد. اين قضيه را با توجه به طيف هاي Si 2p شكل (۵) و نوار ظرفيت (شكل‌هاي ۶و۷) بهتر مي توان مشاهده نمود.

همانطور كه گفته شد در سطح تميز، مكانيسم جذب اكسيژن شامل پيوندهاي كامل نشده ad-atom dangling است كه كمتر تحت تأثير قرار گرفته تا اين كه كه سزيم سطوح نمونه را كامل بپوشاند، معني آن اين است كه يک چسبيدگي پايين تر اوليه را مي‌توان براي سطح محتمل دانست. بطور كلي سه پوشش سزيم در آزمايش، رفتارهاي متفاوتي را بروز داده اند. در MNL ۰/۴ مي‌بينيم كه سزيم با ad-atoms پيوند برقرار كرده و در MNL ۰/۸ اين پيوند با rest-atoms هم در تماس قرار گرفته است و باعث شده است كه سطح يک سطح فلزي گردد. در پوشش هاي بالاتر از ML، لايه ي تنگ بسته ي حاصل از جذب اتم هاي سزيم كمي به سمت بالاي سطح كشيده شده اند كه مي تواند بيانگر اين واقعيت باشد كه در مراحل اوليه ي جذب اكسيژن سيگنال OSHG افزايش يافته است و سپس به سرعت به صفر ميل نموده است.

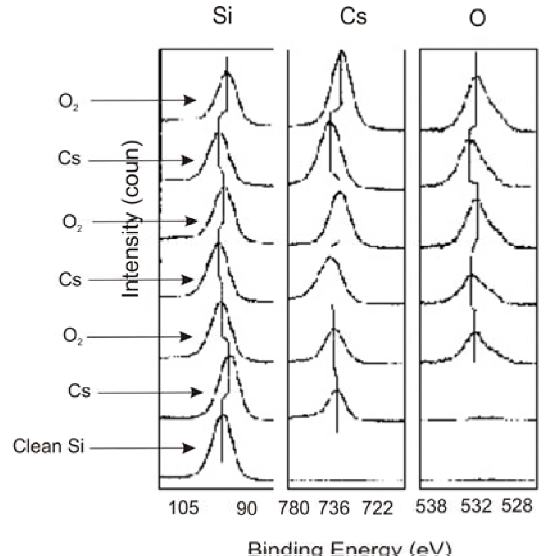
در تلاشي ديگر كه با سينكروترون انجام شده به اين نتيجه رسيديم كه رشد لايه هاي اكسيد سيليكون تحت شرايط فشار پايين خود- محدود كننده مي باشد يعني پس از تشكيل حدود ۷-۸ آنگستروم اكسيد سيليكون، امكان تشكيل اكسيد ضخيم تر نبوده است [۱۲و ۱۱و ۳و ۱]. بنابراين همانطور كه نتايج حاصل از آزمايشات انجام شده با تابش سينكروتروني نشان مي دهد كه قبلاً در [۱۲و۴ و۳] به چاپ رسيده است، بايد سراغ كاتاليزوري كه بتواند در امكان رشد ضخيم تر اكسيد به ما كمک كند و در عين حال تأثيري تخريبي بر ساختار اكسيد سيليكون نگذارد باشيم. اين عنصر سزيم است كه پس از تابش بر اكسيد سيليكون و ايجاد لايه هاي دو قطبي مي تواند ساختار الكترونيكي فيلم اكسيد سيليكون را تحت تأثير قرار دهد. همانطوري كه در ادامه توضيح داده خواهد شد امكان تشكيل فيلم ضخيم تر وجود دارد.

از مدل سه لايه اي امداد گرفتيم كه در آن اكسيدي به ضخامت d_{SiO_2} بر لايه ي مياني كه ضخامت آن با d_T نشان داده شده تشكيل شده است. با توجه به فرمول (۱) و اندازه گيري شدت ناشي از توده ي اكسيد و لايه ي مياني نسبت به توده‌ي سيليكون، ضخامت توده ي اكسيد و لايه‌ي مياني به دست آمده است.

آنگاه سزيم بر SiO_2/Si تابانيده شده است كه تاثير آن را در جدول ۱ ملاحظه مي كنيد. پس از اولين تابش مولكول هاي اكسيژن به مدت ۱۰۰ دقيقه بر زيرلايه ي سيليكون كه با o_2 در جدول نمايان است، دوباره در همان بازه ي زماني، فيلم را تحت تابش مولكول اكسيژن قرار و سپس به همين ترتيب سزيم و اكسيژن قرار داديم و جابجايي قله (Δ) را نسبت به اولين حالت برآورد كرديم



شكل ۶. طيف **Si 2p** را در انرژي فوتون هاي فرودي **۱۳۰eV** نشان مي دهد كه افزايش **Cs** بر آن باعث جابجايي قله ها و كاهش شدت قله هاي سيليكون تميز مي شود.



شكل ۷. موقعيت قله هاي **Si 2p**، **$Cs\ 3d_{5/2}$** و **O 1s** با افزودن اكسيژن و **Cs** در هر وهله بر **Si (111)** در انرژي فوتون فرودي **۱۳۰ eV**

و ضخامت لايه ي مياني (d_T) و اكسيد سيليكون(d_{SiO_2}) را به دست آورديم.روشن است كه ضخامت لايه هاي مياني تغييري نداشته است (جز دو مورد كه بسيار به مقدار ۱ نزديک است) و ضخامت توده ي اكسيد سيليكون با افزايش سزيم، افزايش يافته است.

ديده شد كه ماكزيمم ضخامت اكسيد در دماي ۵۰۰ درجه ي سانتي گراد بوده است و پس از آن در دماهاي بالاتر از ۵۰۰ درجه ي سانتي گراد شاهد كاهش ضخامت اكسيد هستيم (شكل۳). دليل اين قضيه به رقابتي كه در جذب اكسيژن بوسيله ي سيليكون و فرار SiO از سطح صورت مي گيرد برمي گردد و دو رژيم يا ناحيه منفعل و فعال سطح بسته به فشار و دما نقش بارزي را ايفا مي كند (براي جزييات بيشتر به [۱] رجوع شود).

وقتي دما بالا رود از ناحيه ي منفعل به ناحيه ي فعال مي رويم كه در اين ناحيه بيشتر پيوند بين اتم اكسيژن و سيليكون به صورت SiO است كه حالت شاره را دارد. چون سطح منفعل است شاهد فرار اكسيژن از سطح به صورت SiO هستيم ولي در ناحيه ي اول پيوند اكسيژن و سيليكون منجر به SiO_2 مي شود. بنابراين دماي ۵۰۰

جدول۱: جابجايي قله را نسبت به اولين حالت را با Δ، ضخامت لايه ي مياني با d_T و ضخامت اكسيد سيليكون را با d_{SiO_2} نشان داده شده است.

$Si(111)$	$\frac{I_T(I \to III)}{I_{Si}(0)}$	$\frac{I_{SiO_2}(IV)}{I_{Si}(0)}$	d_T	d_{SiO_2}
O_2	0.60	0.37	1.0	0.60
$O_2+\Delta$	0.55	0.35	1.0	0.60
$Cs+O_2+\Delta$	0.52	0.40	0.92	0.75
$O_2+Cs+O_2+\Delta$	0.74	1.0	1.1	1.5
$O_2+2\times[Cs+O_2+\Delta]$	0.80	1.9	1.0	2.4
$O_2+3\times[Cs+O_2+\Delta]$	0.85	2.6	1.0	2.9

درجه ي سانتي گراد يک دماي بحراني و شايد مرزي براي دو ناحيه ي منفعل و فعال اكسيداسيون سيليكون باشد. از طرف ديگر امكان رشد اكسيد سيليكوني ضخيم تر از ۸ آنگستروم در شرايط UHV كه بيان شد نيست. همانطور كه در جدول ۱ آمده است با Cs امكان رشد اكسيد ضخيم‌تر تا حدود ۳ nm بر Si(111) وجود دارد. اكنون پرسش اين است كه چرا سزيم مي تواند باعث رشد ضخيم تر اكسيد در فشارهاي پايين شود؟ در پاسخ به اين پرسش به ايجاد ميدان دو قطبي توسط اتم هاي سزيم با سطح مي پردازيم. وقتي سزيم به سطح نمونه مي تابد اندركنشي بين اتم هاي سزيم و نمونه باعث ايجاد دوقطبي هايي در سطح مي شود كه به صورت Cs^+ يونيزه مي‌گردد. اين لايه ي حاصل از دوقطبي ها، ميداني را به وجود مي آورد كه تابع كار را براي الكترون ها به خلاء كاهش مي دهد. نكته اي كه در شكل هاي ۵ و ۶ و ۷ وجود دارد اين است كه با افزايش سزيم انرژي بستگي سيليكون به سمت انرژي بستگي بالاتر و با اكسيژن به انرژي بستگي پايين تر سوق پيدا مي كند. اندازه ي اين جابجايي با اولين تاباندن Cs به اندازه ي حدود ۰/۴ eV براي سيليكون است. با دومين

تاباندن سزيم اندازه ي جابجايي كمتر است. از نقاط مندرج در شكل (۵) مي توان مقدار متوسط جابجايي سيگنال هاي تراز هسته اي را به دست آورد كه برابر بـا Si 2p~ 0.35 ev و Cs 3d~1.05 ev و O 1s ~ 0.6 ev اسـت. همانطور كه جابجايي در جهت يكساني صورت مي پـذيرد تنها مي توان به انتقال بار به عنوان عامل تاثير گـذار اشـاره كرد. به دليل تحرك پذيري نسبتاً بـالا در لايـه ي اكـسيد و سزيم [۱۳]، تركيب سزيم- اكسيد بين دو شـكل در تغييـر است كه باعث تركيبات مختلف در اكـسيد مـي گـردد. بـه عبارت ديگر پيوند هاي محلي متفاوت بـوده و احتمـال آن كه برخي از اتم هاي سزيم يا اكسيژن بدون تـشكيل پيونـد باقي مانده باشند هست. در اين صـورت آنهـا بـه صـورت پذيرنده يا دهنـده ي الكتـرون هـا عمـل مـي كننـد يعنـي اضـافه ي سـزيم در نمونـه، نقـش دهنـده را و اضـافه ي اتم هاي اكسيژن، نقش پذيرنده را بـازي مـي كننـد و ايـن دليل جابجايي در پيك‌هـاي XPS اسـت. همچنـين دليـل اخـتلاف انـرژي بـستگي بـين O و Cs در فـاز اكـسيد مـي باشـند. بـه عبـارت ديگـر جابجـايي شـيميايي نـسبي ترازها ي اتمي در اكسيد ها نشان دهنده ي انتقـال بزرگتـر بار بين Cs و O در تركيب غني شده از اكسيژن است. امـا در تركيب غني شده از سزيم كه دهنده ي الكتـرون هـا بـه زيرلايه ي سيليكون هستند، خميدگي نـواري سـيليكون در لايه ي مياني كاهش مـي يابـد در حـالي كـه اولـي باعـث خميدگي رو به بالاي نواري مي شود. جابجايي قلـه ي Si 2p بازتـاب دهنـده ي اثـر خميـدگي نـواري در سـطح سيليكون است كه به دليـل گـذار الكتـرون از اتـصال بـين اكسيد- سزيم به توده ي سيليكون اتفاق افتاده است.

نتيجه گيري

در حال حاضر ضخامت اكـسيد سـيليكون بـه عنـوان گيت CMOS برابر۱ تا ۱/۲ نانومتر است كه اين ضخامت اكسيد را نمي توان از طريق حرارتي در فشارهاي پـايين در UHV رشد داد وحداكثر ۷ آنگـستروم را در ايـن شـرايط مي توان رشد داد. ولي با به كارگيري سزيم كه نقـش يـك كاتاليزور را بازي مي كند توانـستيم تـا ۲/۹ نـانومتر اكـسيد سيليكون را با توجه به جـدول رشـد دهـيم. چـون عنـصر سزيم همانطوري كه از جابجايي قله ها در شكل هـاي ۵ و ۶ مشخص است ساختار الكترونيكي اكسيد سيليكون فـوق نازك را تحت تأثير قرار داده است و اين عنصرپس از گـرم كردن فيلم به وسيله ي پمپ ها ازUHV خارج مي شود.

سپاس و قدر داني

از تمام آنهايي كه شرايط خوب انجام آزمايش را بـا XPS و OSHG در ادنـسه دانمـارك فـراهم كردنـد بـه ويـژه پروفسور پر مورگن نهايت سپاس را دارم.

مراجع

1. P. Morgen, F. K. Gundlach, T. Jensen, L. B. Tackker, S. Tougaard and K. Pedersen, *progress in silicon oxidation: Towards ultra thin oxides*, Recent Research Developments in Applied Physics, 5(2002)287-311.
2. A. Bahari, U. Robenhagen and P. Morgen. *Growth of ultrathin silicon nitride on Si(111) at low temperature*, Phys. Rev. B,72(2005)205-323.
3. P. Morgen, A. Bahari, U. Robenhagen, J. F. Andersen, J. K. Hansen, K. Pedersen, M. G. Rao and Z. S. Li., *New roads to ultra thin silicon oxides*, J. Vac. Sci. Technol. A,23(2005)201.
4. A. Bahari, P. Morgen and K. Pedersen. *Growth of a stacked silicon nitride/silicon oxide on Si(100)*, J. Vac. Sci. Technol. B,24(2006)2119.
5. A. Feltz, U. Memmert and R. J. Behm, *High temperature scanning tunneling microscopy studies on the interaction of O2 with Si(111) surfaces*, Surf. Sci. 314(1994)34.
6. Ph. Avouris and I. W. Lyo, *Probing Electrical Transport, Electron Interference, and Quantum Size Effects at*

Surfaces with STM/STS, Appl.Sci., 60(1992)61.

7. P. Morgen, A. Bahari, Ch. Janfelt, K. Pedersen, Z. S. Li and M. G. Rao, *Ultra thin dielectric films on Si Growth and properties*, ISA, Newsletter, 9(2005)2.

8. P. Morgen, A. Bahari and K. Pedresonو *Functional Properties of Nanostructured Materials*, 223(2006)229-257.