

فلزینه کاری پلیمرها: مس روی سیکلوتن

سید علی صدوق ونینی*

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

(دریافت مقاله: ۸۰/۲/۱۰ - دریافت نسخه نهایی ۸۱/۱۱/۷)

چکیده - بررسی تقاضاهای تکنولوژی GSI و ULSI حاکی از نیاز ساختارهای چند لایه به کاهش زمان تأخیر انتقال علائم بین سیستمهای نیمه هادی است. این کاهش با استفاده از یک فلز هادی خوب مانند مس و یک غیر هادی کم ظرفیت تر از آنچه هم اکنون استفاده می شود مانند سیکلوتن ممکن است. در این مقاله نتایج حاصل از چسبندگی پوشش تبخیری و پراکنشی مس روی سیکلوتن ۳۰۲۲ بررسی می شود. پس از ارائه واکنشهای فصل مشترک فلز و پلیمر که رابطه مستقیم با چسبندگی دارد روشهای بهبود چسبندگی منجمله تغییر سطح پلیمر توسط پلاسمای نیتروژن ارائه می شود.

واژگان کلیدی: فلزینه کاری، سیکلوتن، چسبندگی، پلاسمای، چند لایه

Metalization of Polymers: Copper on Cyclotene

A.Sadough-Vanini

Department of Mechanical Engineering, Amir-Kabir University of Technology
Member of Excellence (Highly Distinguished) Solid Mechanics Center

Abstract: *An analysis of the demands of ULSI and GSI technologies shows the necessity of multi-layer devices to reduction of signal transmission delay time. This reduction is realized by using a better conductor metal, such as Cu and a surrounding insulator with low capacity than actually used, such as Dow Cyclotene 3022. In this paper, the results of evaporated and sputtered Cu to Dow Cyclotene 3022 were studied. After presentation of interfacial reaction that causes adherence, the methods of enhanced adherence as surface modification of polymer by nitrogen plasma have been investigated.*

Keywords: *Metalization, Cyclotene, Adherence, Plasma, Multi-layer*

* استاد و عضو قطب علمی مکانیک جامدات

در بین تولیدات و مصارفی که نیاز به فرایند فلزینه کاری پلیمر است بحرانی ترین مورد آن زمینه سیستمهای چند لایه میکروالکترونیک است که از لایه‌های متناوب پلیمر و فلز تشکیل شده است. لایه‌های فلز به صورت خطوط کنده کاری شده‌اند و از لایه‌های پلیمر به عنوان عایق استفاده می‌شود. در صورت نیاز بین دو لایه فلزی پل ایجاد می‌شود. در این صورت چندین ارتباط الکترونیکی در یک جسم کوچک قابل اجرا و ضامن کمترین زمان انتقال بین سیستمهای نیمه هادی خواهد بود [۱]. ضروری است پلیمرها در طی فرایندهای ساخت، محیطهای مضر و مخرب را تحمل کنند. این خود انتخاب پلیمر مقاوم به محیطهای شیمیایی، دمای بالا و رطوبت را محدود می‌سازد.

برای تکنولوژی LSI^۱ و VLSI^۲ پلی ایمیدها و آلومینیم به ترتیب پلیمر و فلز انتخابی بوده‌اند. با این حال برای تکنولوژی GSI^۳ و ULSI^۴ لازم است زمان تأخیر بین ارتباطی باز هم کاهش یابد بنابراین، تحقیقات در رابطه با یافتن مواد جدید مناسب و پاسخگو به مشکلات موجود ضرورت پیدا می‌کند. زمان تأخیر حاصل مقاومت R در طول خطوط فلزی که، علائم عبور می‌کنند و ظرفیت C عایق بین خطوط است. به منظور کاهش زمان تأخیر می‌توان: (۱) از فلزات با مقاومت الکتریکی کمتر (۲) از عایق با ضریب k کمتر استفاده کرد. برای مثال با جایگزین کردن پلی ایمید (k=3.4) توسط سیکلوتن (k=2.65)، C به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین با جایگزین کردن آلومینیم ($\rho=2.66\mu\Omega\text{m}$) توسط مس ($\rho=1.67\mu\Omega\text{m}$) مقدار R کاهش می‌یابد. جایگزین کردن یکی از دو جزء موجب کاهش زمان تأخیر به مقدار ۴۰ درصد و در صورت استفاده از ساختار مس و سیکلوتن زمان تأخیر تا حدود ۶۰ درصد کاهش می‌یابد [۲].

داو سیکلوتن ۳۰۲۲ پلیمری است که از پلیمر شدن (دی وینیل تترا متیل سیکلوتن) بی بنزو سیکلوتان تولید می‌شود. تهیه و واکنش این نوع منو مر اخیراً مرور شده است [۳]. فلزینه کاری

سیکلوتن توسط مس دارای یک مشکل عمده در ارتباط با چسبندگی است [۴-۶]. در این مقاله پس از توصیف تصورات کلی چسبندگی بین فلز و پلیمر، واکنشهای فصل مشترک مس و سیکلوتن بررسی می‌شود. سپس به عملیات تغییر سطح پلیمر توسط پلاسمای نیتروژن، با هدف بهبود چسبندگی بین مس و سیکلوتن پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش کار

برای تهیه نمونه‌های آزمایش، پلیمر سیکلوتن 46%(W/W) در محلول مزیتیلن بر روی ورقهای گرد و نازک سیلیس که قبلاً توسط ۷-آمینو پروپیل تری توکسی سیلان عملیات شده بودند پوشش داده شده است. پس از تابیدن پوشش در 22000rpm به مدت ۲ دقیقه، نمونه‌ها در دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۹۰ دقیقه پخته شده و سپس سرد شده‌اند. این فرایندها همه تحت گاز نیتروژن انجام شده است [۴-۵]. با این شرایط ضخامت پوشش سیکلوتن به دست آمده $1.3\mu\text{m}$ است.

عملیات تغییر سطح سیکلوتن توسط آرگون در محفظه آماده سازی دستگاه XPS^۵ تحت خلاء با استفاده از یک ژنراتور AG21 انرژی 2kV و فشار 5×10^{-6} torr انجام شده است. تحلیل سطح نمونه قبل و بعد از فلزینه کاری در دستگاه طیف سنج 3MK II VGESCALAB تحت فشار 2×10^{-6} torr با استفاده از اشعه MgK α غیر تکفام 1253.6eV صورت پذیرفته است. طیفهای XPS با زاویه عمودی و انرژی عبور 20eV و مراحل 0.5eV به دست آمده است.

عملیات پلاسمای مایکرو ویو (2.45GHz) تحت شرایط بهینه به دست آمده، به منظور افزایش چسبندگی [۵ و ۶] انجام شده است. پوشش مس با سرعت حدود 0.5 Å/s برای به دست آوردن ضخامت 200nm (ضخامت مورد نیاز برای آزمایش ریز خراش سنجی) انجام شده است.

چسبندگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ریز خراش سنج بررسی شده است. فرو رونده نیم کروی راکول در سطح نمونه حرکت

کرده و با افزایش نیروی عمودی (0-25N) به طور خطی بار بحرانی مربوط به شروع کنده شدن پوشش تعیین می‌شود. پیشرفت ریز خراش سنجی توسط میکروسکوپ، ثبت علائم صوتی و نیروی اصطکاک پیگیری می‌شود.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- چسبندگی بین فلز و پلیمر

پلیمر و فلز دارای ضریب انبساط گرمایی و جذب رطوبت متفاوت‌اند. این تفاوت برای ایجاد تنشهای داخلی زیاد که تنها در مرحله ساخت ایجاد می‌شوند و عامل پارگی سیستم خواهند بود کافی است. در صورت وجود چسبندگی کافی و پایدار در فصل مشترک، این تخریب رخ نخواهد داد. چسبندگی پلیمر بر فلز دارای مشکلات کمتری نسبت به حالت فلز بر پلیمر است چرا که در صورت عدم واکنش مستقیم بین پلیمر و گروههای فعال در سطح فلز، امکان استفاده از محرکهای چسبندگی وجود دارد. این مواد از ملکولهایی با دو گروه فعال تشکیل شده‌اند که انتخاب یکی از آنها به علت فعال بودن در سطح فلز و دیگری فعالیت خوبی در سطح پلیمر دارد. بنابر این هدف از محرکهای چسبندگی عبارت از افزودن یک لایه بین فلز و پلیمر با توان واکنش با هر دو ماده است. ارتو استرهای سیلان به این منظور به صورت تجاری در آمده‌اند. بر عکس برای پوشش فلز بر پلیمر محرک چسبندگی قابل استفاده وجود ندارد. در نتیجه، تنها واکنشهای حاصل از انرژی اعمال شده در فرایند پوشش دهی فلز بر پلیمر در ارتباط با چسبندگی کمک خواهند کرد.

در پوششهای اعمال شده به صورت پراکنشی طیف تعداد ذرات بر حسب انرژی دارای یک ماکزیمم است که توسط یک دنباله به طرف انرژیهای بالاتر ادامه می‌یابد [۷]. برای پوشش مس پراکنشی که با استفاده از یونهای آرگون 5KeV انرژی، تولید شده است ماکزیمم در حدود ۹۵۰ کیلو ژول بر مول است [۸]. با مقایسه این انرژی با انرژی پیوند کولان

۳۵۰-۶۵۰ کیلو ژول بر مول [۹ و ۱۰] می‌توان نتیجه گرفت در پوشش دهی پراکنشی امکان شکست این پیوندها و ایجاد واکنش در فصل مشترک وجود دارد. در رابطه با پوشش دهی تبخیری انرژی حاصل از تراکم فلز (برای فلزات مورد استفاده) ۲۵۰-۵۰۰ کیلو ژول بر مول مؤثر خواهد بود [۱۱]. این انرژی در حد پیوند کولان یا کمتر است. بنابر این تبخیر مس روی سیکلوتن نمی‌تواند سبب شکست پیوندها شود. در این صورت مس با اربیتال آروماتیک واکنش کرده که حاصل آن پیوندی ضعیف خواهد بود [۱۲]. در حالی که نتایج تحلیل XPS پس از تغییر سطح پلیمر با استفاده از اشعه آرگون 2KeV در جدول (۱) نشان می‌دهد ساختار سیکلوتن گسیخته شده، که حاصل آن حذف تدریجی C1s در 285eV و تشکیل دو پیک 286.5eV و 288eV علاوه بر پیک اولیه است در طیف O1s نیز یک پیک جدید در 532.8eV که مربوط به Si-O- است ظاهر می‌شود. در طیف Si2p دو پیک جدید در 101eV و 103eV که به ترتیب مربوط به Si- و Si-O- است اضافه می‌شوند. پس از پوشش سیکلوتن تغییر یافته با اشعه آرگون، توسط مس به روش تبخیری یک پیک جدید C1s که مربوط به C-Cu- است در 283.5eV و یک پیک جدید O1s که در رابطه با Si-O-Cu- است در 530.3eV مشاهده می‌شود.

پوشش مس پراکنشی با استفاده از یونهای آرگون 2keV انرژی تحت فشار 5×10^{-6} torr انجام شده است. سرعت پوشش دهی $0.67 \text{ \AA} / \text{s}$ بوده است. نمونه پس از پوشش دهی برای تحلیل، بدون قرار گرفتن در اتمسفر به محفظه تحلیل دستگاه XPS انتقال یافته است. پوشش پراکنشی مس بر سطح سیکلوتن از پیش عملیات شده و نشده، توسط یونهای آرگون، به این معنی است که اتمهای مس با انرژی زیاد در سطوحی که به ترتیب دارای ملکولهای شکسته و نشکسته سیکلوتن‌اند، پوشش شده است. نتایج تحلیل سطح نشان داده که پیکهای جدید مشابه پیکهای ذکر شده در جدول (۱) با اختلاف 0.1eV هستند.

جدول ۱- نتایج تحلیل سطح: انرژی پیوند و در صد نسبی ترکیبات موجود در سطح نمونه‌ها

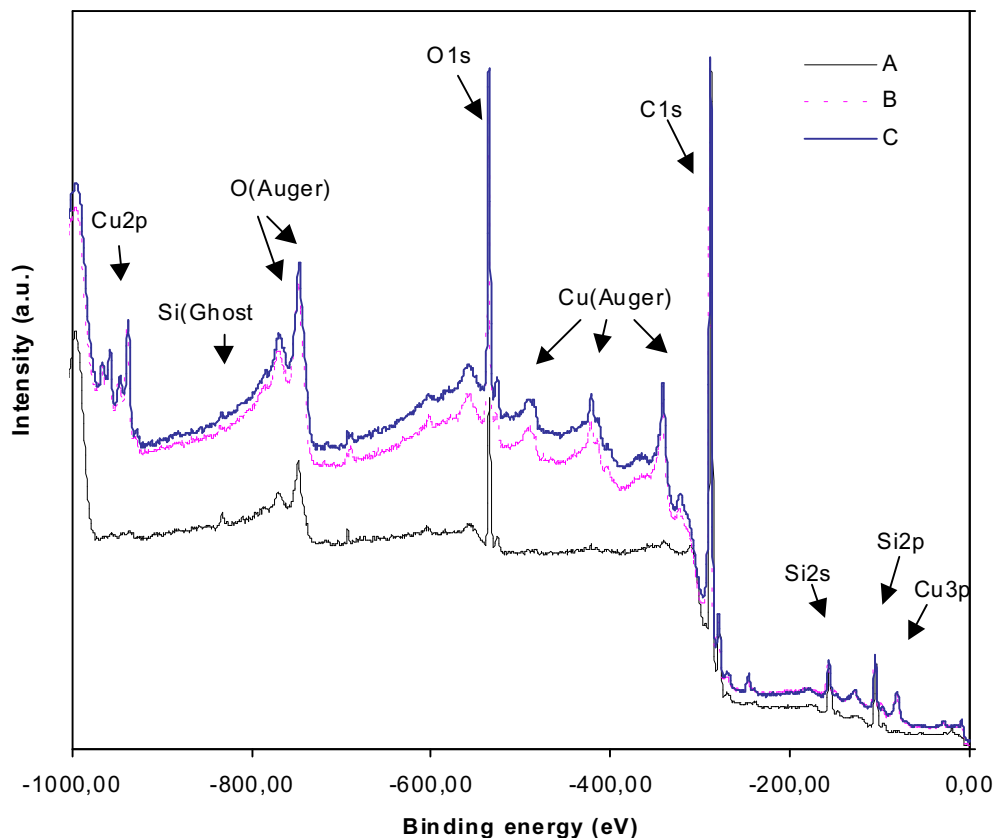
نمونه‌ها	Si2p	O1s	C1s
عملیات نشده (مرجع)	101.7	532.1	285.0
عملیات شده توسط یونهای آرگون ۲۴۰ ثانیه	101.0, 21.7	532.1, 44.8	285.0, 94.0
	101.7, 71	532.7, 55.2	286.5, 3.5
	103.0, 7.3		288.0, 2.5
عملیات شده توسط یونهای آرگون ۲۴۰ ثانیه و پوشش مس 8Å	101.0, 24.6	530.3, 11.9	283.5, 6.3
	101.7, 63.6	532.1, 75.5	285.0, 84.6
	103.0, 11.8	532.7, 15.6	286.5, 8.0
			288.0, 1.1

جدول ۲- نتایج آزمایش ریز خراش سنجی مربوط به چسبندگی مس بر سطح سیکلوتن

غلظت اتمی %			بار بحرانی	عملیات سطحی	پوشش
C	Si	O	Lc1 (N)		
86.9	7.6	5.5	1-2	عملیات نشده	تبخیری
86.9 (5.1)	8.6	4.5 (0.5)	1-3	عملیات شده با آرگون	تبخیری
74.9 (3.8)	9.5	15.6 (1.6)	11	عملیات نشده	پراکنشی
81.2 (4.1)	10.9	7.9 (1.6)	10	عملیات شده با آرگون	پراکنشی

نسبت به پوشش مس تبخیر شده نمی‌تواند به حساب اختلاف قابل توجه چسبندگی در این موارد باشد. به نظر می‌رسد پوشش پراکنشی مس به صورت عمیق تری بر روی سیکلوتن جا گرفته باشد. این مسئله توسط طیف کلی XPS که از نمونه‌های سیکلوتن پس از حذف پوشش با نوار چسب گرفته شده و در شکل (۱) ارائه شده قابل توصیف است. در سطح نمونه‌ای که با مس تبخیر شده پوشش داده شده (طیف A)، پس از حذف پوشش مس پیک مربوط به مس پسماند یا وجود ندارد و یا حضور آن جزئی است در حالی که برای نمونه پوشش پراکنشی (بدون تغییر سطح نمونه توسط اشعه آرگون طیف B و همراه با تغییر سطح توسط اشعه آرگون طیف C) شدت پیک مس باقیمانده قابل توجه است.

جدول (۲) حاوی نتایج اندازه‌گیری چسبندگی مس است که با استفاده از ریز خراش سنجی به دست آمده است. Lc1. بار بحرانی است که در آن اولین علائم کنده شدن پوشش ظاهر می‌شود [۵]. پوشش پراکنشی مس موجب افزایش قابل توجه چسبندگی شده است. مقادیر C و O داخل پرانتز به ترتیب مربوط به درصد اتمی این عناصر در C-Cu و Si-O-Cu هستند که مستقیماً به پوشش مس پیوند خورده‌اند. اثر آنها در چسبندگی قابل توجه است. نتایج موجود در جدول (۲) نشان می‌دهد حضور این ترکیبات، در پوشش مس تبخیر شده، افزایش قابل توجهی در چسبندگی سیکلوتن با آرگون عملیات شده، در مقایسه با سیکلوتن عملیات نشده ایجاد نکرده است. در جدول (۲) تغییرات جزئی درصد C و O در پوشش پراکنشی



شکل ۱- مقایسه طیف کلی تحلیل سطح نمونه‌ها پس از حذف پوشش مس توسط چسب نواری مخصوص
 A- پوشش تبخیری مس B- پوشش پراکنشی مس بدون تغییر سطح
 C- پوشش پراکنشی مس پس از تغییر سطح توسط اشعه آرگون

تولید نمی‌کنند.

پلازما سر چشمه‌ای غنی از ذرات پر انرژی و از بعد شیمیایی فعال (الکترون، یون، فوتون، و رادیکالها) است. واکنش پلازما با سطح پلیمر از طریق شیمی رادیکالهای آزاد انجام می‌شود [۱۹ و ۲۰].

در پلاسمایی که منجر به پوشش لایه نازک نشود معمولاً چهار اثر برجسته مشاهده می‌شود. هر یک از این موارد بر حسب نوع گاز و پلیمر، نوع دستگاه پلازما و شرایط کار می‌توانند نسبت به یکدیگر برتری و اولویت داشته باشند. این چهار اثر عبارت‌اند از [۱۳]:

۱- تمیز کردن سطح مثلاً برطرف کردن آلودگیهای آلی در سطح.

۳-۲- عملیات پلازما به منظور بهبود چسبندگی

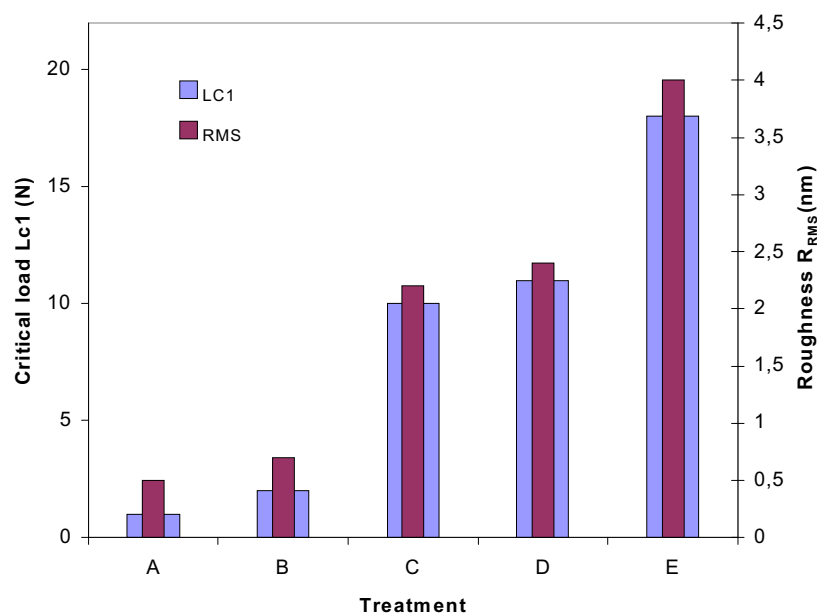
در بین روشهای مختلف بهبود چسبندگی پلیمرها عملیات پلازما با فشار کم به دلایل زیر جلب توجه بیشتری کرده است [۱۲-۱۶].

۱- با کنترل واکنش پلازما در سطح تمام خصوصیات وابسته به هر مدل چسبندگی قابل تغییر است [۱۷ و ۱۸].

۲- عملیات بسیار یکنواخت، تکرار شونده و می‌تواند برای هر نوع فلز و پلیمر بهینه شود.

۳- گسترش اطلاعات در رابطه با سر چشمه، پلازما، شناخت مشکلات پلازما و سطح، فواید اقتصادی بسیاری همراه داشته است [۱۶].

۴- فرایندهای پلازما آلاینده محیط زیست نیستند و مواد سمی



شکل ۲- نتایج ریز خراش سنجی و ریز ناصافی سنجی سطح سیکلوتن پس از عملیات سطحی به منظور افزایش چسبندگی
 A- نمونه مرجع پوشش تبخیری مس
 B- تغییر سطح توسط اشعه آرگون - پوشش تبخیری مس
 C- پوشش پراکنشی مس
 D- تغییر سطح توسط اشعه آرگون - پوشش پراکنشی مس
 E- تغییر سطح توسط پلاسمای نیتروژن - پوشش تبخیری مس

بین عواملی که در فرایند پلاسمای بهینه می‌شوند مهمترین آنها نوع گاز مورد مصرف، توان و فشارند. با استفاده از پلاسمای مایکرو ویو با فشار ۲۰۰ میلی تور، توان ۲۰۰ وات و گاز نیتروژن با دبی 100sccm چسبندگی مناسبی بین مس و سیکلوتن حاصل شده است. در شکل (۲) نتایج ریز خراش سنجی پس از تغییر سطح با یونهای آرگون و پلاسمای نیتروژن مقایسه شده‌اند. افزایش قابل توجه چسبندگی مربوط به پلاسمای نیتروژن می‌تواند حاصل پیوند قوی Cu-N-C که حضور آن توسط تحلیل سطح به اثبات رسیده، باشد. در جدول (۳) نتایج تحلیل C1s, Si2p, N1s پس از یک دقیقه عملیات پلاسمای نیتروژن بر سطح سیکلوتن ارائه شده است. C1s دارای چهار پیک مجزاست. تداخل گروههای شیمیایی مختلف نیز، ممکن است مثلاً پیک C3 می‌تواند شامل N-C و C-O باشد.

۲- برداشت با خراشیدن مواد از سطح که حاصل آن حذف لایه‌های با چسبندگی کم و افزایش سطح مخصوص است (ناهمواریهایی سطح).
 ۳- شاخه‌ای شدن ملکولها که باعث افزایش انعطاف پذیری نواحی نزدیک سطح می‌شود.
 ۴- تغییر ساختار شیمیایی سطح که مستقیماً تحت خلاء توسط واکنش پلاسمای انجام می‌شود. لیکن با قرار گرفتن نمونه در اتمسفر، سطح فوق با اکسیژن اتمسفر و بخار آب واکنش خواهد کرد.
 همه این واکنشها به صورت جدا یا رقابتی اثرات مهمی بر مدل‌های مختلف چسبندگی خواهند داشت.

سیکلوتن دارای انرژی سطح ضعیف و انرژی چسبندگی کمی است. در فرایند پلاسمای تحقیقات در جهت بهینه کردن شرایطی که موجب تمیز شدن سطح و ایجاد مکانهایی در ملکولهای پلیمر که پیوند فلز با سطح را تقویت کند انجام شده است. در

جدول ۳- انرژی پیوند ترکیبات موجود در سطح نمونه‌های سیکلوتن پس از عملیات پلاسمای نیتروژن

تخصیص	سطح نسبی پیک (%)	انرژی پیوند (eV)	محور وسط پیک
O-C-O	4.2	289.0	C1s C1
C=N/C≡N/CO	6.5	287.4	C2
C-N/ C-O	18.9	286.5	C3
C-C/C-H	70.4	285.0	C4
C-O/C=O	22.8	533.5	O1s O1
Si-OH	61.1	532.9	O2
-Si-O-Si-	12.8	532.1	O3
Si=O	3.3	530.5	O4
-O-Si-OH	34.5	104.2	Si1 Si2p
O-Si-O	41.9	103.4	Si2
-Si-O-Si-	21.2	101.7	Si3
-C-Si/	2.4	101.0	Si4
-C=N-H ₂	55.5	400.3	N1s N1
-C≡N-H/-N-Cu (or =N-Cu)	45.5	399.4	N2

جدول ۴- غلظت اتمی عناصر در سطح نمونه‌ها قبل و بعد از عملیات پلاسمای نیتروژن

N/O	Si/O	C/O	N	Si	O	C	زاویه تابش اشعه ایکس	عملیات
-	0.6	11.7	-	4.6	7.5	87.8	0	عملیات نشده
-	1.6	17.8	-	7.9	4.9	87.2	0	عملیات شده با آرگون ۱۰ ثانیه
0.2	0.4	5.1	3.2	5.5	14.9	76.4	0	عملیات شده با
0.1	0.45	3.9	2.0	8.2	18.2	71.6	60	پلاسمای N ₂

و اکسیداسیون بخشی از نیتروژن شده است. همچنین سطح آزاد نمونه می‌تواند با ترکیبات هوا (آب و اکسیژن) واکنش نشان دهد. فاز بین فلزی شامل یک لایه فشرده با دهها نانومتر ضخامت همراه با یک ناحیه تغییر شیمیایی یافته است که ترجیحاً دارای پیوند از نوع N-C است می‌باشد. لازم به ذکر است چسبندگی خوب به بهینه کردن عوامل و شرایط پلاسمای (به منظور تمیز کردن سطح، ایجاد شبکه و اتصالات شیمیایی از نوع لایه-فلز-زیر لایه، برای دیگر پوششها و زیر پوشش مثل نقره روی پلی اتیلن [۲۱]، Si₃N₅ روی پلی کربنات و SiO₂ روی فولاد ضد زنگ) بستگی دارد. در همه این موارد افزایش ریز ناصافیهای سطح همان گونه که در شکل (۲) ارائه شده است می‌تواند در بهبود چسبندگی نقش اساسی داشته باشد.

O1s نیز با چهار پیک تکمیل شده است. اکسیژن پیوند شده در سطح می‌تواند از اکسیژن پسماند در گاز پلاسمای بخار آب باشد. Si2p شامل چهار پیک است در اینجا -Si-O می‌تواند حاصل شکست -Si-O-Si- که مورد حمله پلاسمای نیتروژن قرار گرفته باشد. N1s شامل دو پیک است که حاصل برقراری پیوند مستقیم بین کربن و نیتروژن است. نتایج تحلیل ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که در تحلیل با زاویه ۶۰ درجه غلظت نیتروژن نسبت به تحلیل با زاویه صفر درجه کمتر است. بر عکس در زاویه ۶۰ درجه غلظت اکسیژن افزایش یافته است. این نتایج نشانه وجود فاز بین لایه‌ای است. زمان کوتاهی که نمونه پس از عملیات پلاسمای نیتروژن به منظور حمل به دستگاه تحلیل در اتمسفر قرار گرفته است موجب واکنش سطح

بر مس و سیکلوتن بحث و بررسی شده است. به خصوص که واکنشهای فصل مشترک ضعیف و اتصالات ایجاد شده به منظور حفظ ساختار (تحت تنشهای حاصل از اختلاف ضریب انبساط گرمایی و جذب رطوبت مواد فلزی و پلیمری) کافی نخواهد بود. نهایتاً استفاده از پلاسما به منظور تغییر سطح پلیمر و اثر مناسب آن در بهبود چسبندگی بحث و بررسی شده است.

واکنشهای فوق می‌توانند برای دیگر پلیمرها مثل فلورو پلیمر با ضریب k کم مورد مصرف در چند لایه‌های الکترونیک همچنین تفلون AF و فلورو پلیمرهای پلاسما پلیمریزه شده و پراکنشی تعمیم داده شود [۲۲].

۴- نتیجه گیری

مشکلات مربوط در به کار گیری سیستمهای چند لایه، با تکیه

واژه نامه

- | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1. LSI: large scale integration | 3. GSI: giga scale integration | 5. X ray photoelectron spectroscopy |
| 2. VLSI: very large scale integration | 4. ULSI: ultra large scale integration | |

مراجع

- Murarka, S.P., Gutmann, R.J., Kaloyeros, A.E., and Lanford, W.A., *Thin Solid Films*, 236, pp.257, 1993.
- J.H.Im, J.H., Shaffer, E.O., Stkich Jr, T., Strandjord, A., Hetzner, J., Curphy, J., Karas, C., Meyers, S., Hawn, D., Chakrabaru, A., and Froelicher, S., "J.Electr.Packaging", 122, pp. 28, 2000.
- Kirchhoff, R.A., and Bruza, "K., Prog. Polym. SCI", 18 pp. 85, 1993.
- Poulin, S., Yang, D.-Q., Sacher, E., Hyett, C. and Ellis, T.H., *Appl. Surf. Sci.*, 165, pp. 15, 2000.
- Sadough-Vanini, A., Yang, D.-Q., Martinu, L., and Sacher, E., *J. Adhesion.*, 77, pp.309, 2001.
- Yang, D.-Q., Martinu, L., Sacher, E. and Sadough-Vanini, A., *Appl. Surf. Sci.*, 177, pp.85, 2001.
- Oechsner, H., and Physik, Z., 238 pp. 105, 1970.
- Hart, R. G., and Cooper, C. B., *Surf. Sci.* 94 pp. 105, 1980.
- Gordon, A.J. and Ford, R.A., *The Chemist's Companion*, Wiley-Interscience, New York, pp. 112, 1972.
- Huheey, J.E., *Inorganic Chemistry*, Harper and Row, New York, Second Edition, Appendix F, 1978.
- Honig, R.E., *RCA Rev.* 18 pp. 195, 1957.
- Yang, D.-Q., Poulin, S., Sacher, E., and Hyett, C., *Appl. Surf. Sci.*, 165, pp. 116, 2000.
- Liston, E.M., Martinu, L., and Wertheimer, M.R., *J. Adhesion Sci. Technol.* 7, pp. 1091, 1993.
- Novak, S. and Kuttel, O.M., in "Plasma Properties, Deposition and Etching", *J. Pauch and S.A. Alterowitz, eds.* (Trans. Tech. Publication, Aedermensdorf) pp. 705, 1994.
- Editto, F.D., and Martienzo, L.J., *IBM J. Res. Develop.* 38, pp. 423, 1994.
- Wertheimer, M.R., Martinu, L., and Lison, E.M., in *Handbook of Thin Film Process Technology*, (IOP Publishing, Bristol) Chapter E3.0. 1996.
- Mittal, K.L., J., *Vac Sci. Technol.* 13, pp. 19, 1976.
- Sharpe, L.H., in "The Interfacial Interactions in Polymeric Composites," G. Akovali, ed. (NATO-ASI Ser. E: Applied Sciences, kluwer, Dordrecht) p. 230, 1994.
- Hollahan. J. R., and Bell, A., *Techniques and Applications of Plasma Chemistry*, eds. (Wiley, New York,) 1974.
- d'Agostino, D., *Plasma Deposition, Treatment and Etching of Polymers*, ed. (Academic Press, Boston,) 1990.
- Gerenser, L., *J. Vac. Sci Technol. A*, 6, pp. 2897, 1988.
- Alptekin, A., Sacher, E., Czeremuszkina, G., Martinu, L., and DiRenzo, M., in "Low and High Dielectric Constant Materials: Materials Science, Processing and Reliability Issues," H.S. Rathore, R. Singh, R.P.S. Thakur and S.C. Sun, eds., *Electrochemical Society*, Pennington, NJ, pp. 58, 1997.