

بهینه سازی میکرو قید با استفاده از میکرو فیلم

با خاصیت حافظه داری

احمد رضا دوراندیش^۱، غلامحسین پایگانه^۲، سیروس آقاجفی^۳ و غلامحسین دهقان^۴

چکیده

هدف از ارائه این مقاله بررسی روش طراحی یک میکرو قید است که با عملکرد مناسب، بتواند با توجه به پارامترهای مهم زمان عکس العملی و نیروی مناسب، یک میکرو قطعه را به صورت خودکار گرفته و بعد از انجام مراحل کاری مختلف که روی قطعه انجام می شود. قطعه را رها سازد و برای گرفتن قطعه بعدی آماده باشد. استفاده از فناوری CMOS در طراحی دیوارهای قید و بکارگیری فناوری SMA در طراحی نگهدارنده قید و جایگزین کردن آن به جای دیگر طرح های موجود در بهینه کردن توان مصرف انرژی و زمان عکس العملی، همچنین تلفیق دو فناوری اخیر نقش اساسی در این مقاله را بر عهده دارد. در ادامه به بررسی طرح مذکور از طریق مدل سازی محرک بر اساس سیستم جرم و فنر پرداخته و با استفاده از نرم افزارهای ریاضی، معادلات تحلیلی حرکت محرک را بر اساس زمان استخراج می شود چنان که بتوان به صورت پارامتری زمان تغییر شکل محرک را محاسبه نمود.

واژه های کلیدی: میکرو قید، مدل جرم و فنر، مدل حرارتی، نگهدارنده SMA

۱- مقدمه

از آنجایی که در ساخت مدارهای مجتمع نیز به وفور از سیلیکان استفاده می شود و فرآیندهای لازم برای ساخت وسایل سیلیکانی وجود داشتند. این مقاله باعث شد که ساخت قطعات مکانیکی سیلیکانی، به سرعت رواج یافته و پیشرفت کند. در طول سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ بیشتر تحقیقاتی بر روی زدایش ناهمسانگرد سیلیکان تک کریستالی متمرکز بود. بعد از نیمه دوم دهه ۱۹۸۰ تحقیقات بر روی ریزمکانیسم ها و ریزموتورهای الکترواستاتیکی بر سطح پلی کریستال ریزماشین ها متمرکز شد. با آغاز دهه ۱۹۹۰ جریان قابل توجه تحقیقات مهم دولتی یک انقلاب تکنولوژیکی به راه انداخت که سیستم های پیچیده میکروالکترومکانیکی کاملاً مجتمع شامل انواع سنسورها، محرکها و توابع کنترل را برای ما بوجود آورده است. در سال ۱۹۹۲ میکروماشین کاری توده ای در طراحی سیستم های میکرو الکترونیک مورد استفاده قرار گرفت [۱-۱۲]. در اوایل سال ۲۰۰۰ محققان دانشگاه کالیفرنیا با استفاده از خاصیت تفاوت انبساط حرارتی لایه ها MEMS توانستند میکرو نگهدارنده ای را طراحی کنند که با توان حدود ۵۰ میکرو نیوتن دامنه وسیعی از میکرو قطعات را نگهداری کند. در این مقاله

اولین بار فیزیکدان مشهور، ریچارد فاینمن، در دهه ۶۰ نظریه ای را مطرح کرد که باعث ایجاد جرعه در اذهان دانشمندان بعدی شد و محصول آن، یکی از شاخه های فناوری تاثیر گذار در زندگی بشر، به عرصه رقابت قدم نهاد که در یک سخنرانی با عنوان "آن پایین مقداری جا هست" مطرح گردید [۱-۱۰]. در سال ۱۹۸۲ کورت پیترسن از شرکت بزرگ IBM پس از چند سال پژوهش و آزمایش مقاله ای ارائه داد که در آن نشان داد سیلیکان دارای خواص و قابلیت های بسیار خوبی (از جمله استحکام) برای ساخت قطعات مکانیکی خیلی کوچک است.

مقاله در تاریخ ۸۶/۳/۲۳ دریافت و در تاریخ ۸۶/۶/۲۵ به تصویب نهایی رسید.

^۱ کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی نویسنده مسئول (پست الکترونیکی):

Dourandish_paper@yahoo.com

^۲ استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

^۳ دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

^۴ استادیار، عضو هیأت علمی سازمان انرژی اتمی

۲- دیوارها

یکی از معمولی ترین فرآیندهای بکار برده شده در میکروالکترونیک، فناوری CMOS می باشد، که در سال ۱۹۷۰ مطرح شد. ترتیب لایه های قرارگیری در تولید ساختار الکتریکی متناسب با ساختار مکانیکی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اگر چه امروزه تنوع زیادی در فرآیندهای CMOS مشهود است ولی زمینه اصلی این فن آوری به میزان بسیاری، در تمامی موارد مشابه است. در سیستم های میکروالکترومکانیکی که متشکل از میکروالکترونیک و مایکرو مکانیک می باشد، قسمت عمده محصولات از فرآیندهای CMOS بهره مند می باشند.

برای ساخت دیواره های میکرو قید از فناوری CMOS استفاده می شود مراحل انجام این پروسه به شرح ذیل انجام می پذیرد.

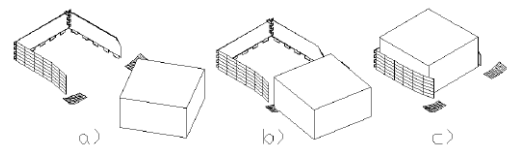
- ۱- پردازش ویفر برای تولید یک زیر بنا از نوع مناسب
- ۲- لیتوگرافی نوری برای تعریف دقیق هر ناحیه
- ۳- اکسیداسیون، لایه نشانی و کاشت یونی برای افزودن مواد به ویفر
- ۴- زدایش جهت زدودن مواد ویفر. [۴]

فرآیند CMOS ویفر اولیه باید با کیفیت بالایی تولید شود، یعنی اینکه ویفر باید به صورت سیلیکان تک بعدی رشد داده شود و تعداد بسیار کمی «نقص» داشته باشد. باید به عبارتی دیگر نابعایی های بلوری و یا ناخالصی های مزاحم در آن بسیار اندک باشد. اولین گام برای انتقال اطلاعات مربوط به الگوی مدار روی ویفر، لیتوگرافی نوری می باشد. چنین اطلاعات به صورت چند ضلعی هایی است که نمایانگر لایه های مختلف می باشند. در این قسمت لایه های مورد نیاز در فرآیند CMOS با دقت و به ترتیب روی ویفر ایجاد می شوند. استفاده از سیلیکان امکان ایجاد لایه بسیار یکنواخت اکسید روی سطح

سعی شده است تا با جایگزینی روش CMOS به جای دیگر روش ها در ساخت میکرو قطعات و همچنین به کارگیری فناوری فیلم های SMA، میکرو قیدی طراحی نمود تا به لحاظ نیروی عکس عملی، زمان پاسخگویی و توان مصرفی بهینه باشد. [۶] برای این منظور ابتدا به نحوه عملکرد میکرو قید اشاره می شود و پس از توضیحاتی در رابطه با اجزاء میکرو قید مشخصه ها و پارامتر های طراحی هریک ارائه می شود. در رابطه با قسمت محرک میکرو قید با انتخاب مدل جرم و فنر، سیستم مدل سازی می شود و معادلات مربوط به این سیستم و مدل حرارتی ارائه می شود. سپس نمودار های مربوط به نرخ گرم شدن و سرد شدن محرک میکرو قید استخراج و در قسمت نتیجه گیری مزایای روش پیشنهادی ارائه می شود.

۲- عملکرد میکرو قید

همانطوری که شکل ۱ نشان می دهد، میکرو قید به گونه ای طراحی شده است که بتواند دامنه وسیعی از میکرو قطعات را پس از بارگیری در خود نگه داشته تا مراحل بعدی از جمله ماشینکاری، روی قطعات صورت گیرد [۵]. باید توجه داشت میکرو قطعات به صورت اتفاقی توسط ارتعاشهایی که توسط یک پیزو الکتریک ایجاد می شود، وارد دهانه میکرو قید شده و به کمک چمفر هایی که به این منظور طراحی شده است به طور کامل درون قید یا قیدها قرار می گیرند.



شکل ۱ مراحل بارگیری یک میکرو قطعه توسط یک میکرو قید را نشان می دهد.

باتوجه به معلومات ارائه شده می توان مقدار نیروی لازم بر این شتاب را بدست آورد [۵].

$$\rho = \frac{m}{V}, F = ma \Rightarrow F = \rho.V.a$$

$$\Rightarrow F = (n.\rho.V.g)\mu N \quad (1)$$

از آنجائی که جرم دیواره ها در مقابل جرم قطعه بسیار اندک و ناچیز است از آن صرفنظر می کنیم و در مجموع فقط جرم قطعه، محسوب می شود. لایه های موجود در دیواره به سطح زیربنایی امتداد یافته و به آن متصل می شوند بنابراین گشتاور ایجاد شده در دیواره معادل $M = F.h$ می باشد. از طرفی ممان دوم سطح برای دیواره مستطیلی معادل I_y و فشار وارده بر پایه برابر است با خارج قسمت (حاصلضرب نصف ضخامت دیواره در گشتاور) بر ممان دوم سطحی آن.

$$I_y = \frac{t^3.l}{12}$$

$$\sigma = \left(M \cdot \frac{t}{2} \right) / I_y \quad (2)$$

با توجه به رابطه فوق حداقل ضخامت دیواره معادل (t) بر حسب میکرومتر محاسبه می شود. لایه اکسیدی که نخستین لایه در فرآیند CMOS محسوب می شود. توسط حرارت رشد می یابد از این رو زمانی که لایه سرد شود تنش در لایه افزایش می یابد. از طرف دیگر، آخرین لایه، لایه اورگلس است که روی ویفر کشیده شده است و در هنگام خمیدگی تحت تنش کششی قرار میگیرد. هر دو تنش ایجاد شده با هم منجر به ساختاری خارج از فرم ایده آل طرح می شوند.

رابطه (۳) می توان مقدار حداقل ضخامت دیوار را محاسبه نمود.

$$\Rightarrow \sigma = \frac{12.F.h.t}{2.t^3.L} \Rightarrow \varepsilon.E = \frac{6.F.h.t}{t^3.L}$$

$$t^2 = \frac{6.F.h}{\varepsilon.E.L} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{6.F.h}{\varepsilon.E.L}} \quad (3)$$

۴- قفل

با تنش پایین را فراهم می سازد تا بتوان لایه های اکسید گیت را با ضخامت چندده انگستریم با آن ساخت. دی اکسید سلیکان علاوه بر آنکه به صورت عایق گیت به کار می رود می تواند به صورت پوشش محافظی در بسیاری از مراحل ساخت عمل کند. ساخت افزاره نیاز به نشانندن مواد مختلفی شامل پلی سلیکین، مواد عایق برای جداسازی لایه های اتصالات و لایه های فلزی که نقش اتصال را بر عهده دارند، می باشد. یک روش رایج برای تشکیل پلی سلیکان روی لایه های ضخیم عایق، روش لایه نشانی با بخار شیمیایی CVD است که در آن ویفرها در یک کوره شامل گازی که مواد مطلوب را از طریق واکنش شیمیایی ایجاد می کند، قرار می گیرند. جدول ۱ تمامی لایه های موجود در فرآیند CMOS برای ساخت دیواره ها همراه با ضخامت هر یک از لایه ها و همچنین ضریب انبساط حرارتی هر یک از نشان می دهد.

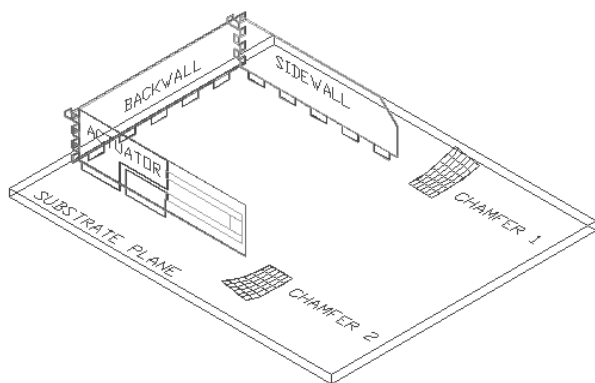
جدول ۱ لایه های ایجاد شده در فرآیند CMOS [5]

(t = layer thickness; E = Young's Modulus;
 α = thermal expansion coefficient).

Material	Shortcut	t	E [GPa]	α [10 ⁻⁶ /K]
Field Oxide	FOX	0.6	74	0.4
Polysilicon 1	POLY1	0.4	100	2.33
Oxide 0	OX0	0.075	74	0.4
Polysilicon 2	POLY2	0.4	100	2.33
Oxide 1	OX1	0.85	74	0.4
Metal 1	MTL1	0.85	69	23
Oxide 2	OX2	0.65	74	0.4
Metal 2	MTL2	1.15	69	23
Overglass	OG	1	-	-

باتوجه به ابعاد قطعه موردنظر، ابعاد دیوار با ارتفاع (h)، طول (L) در نظر گرفته می شود. حد کششی نسبی (حدود) ε (و مدول یانگ آن (E) هر دو برای آلومینیوم می باشد. برای آزمایش مقدماتی از قطعه ای به شکل مکعب از سلیسیم با اضلاع (a,b,c) و چگالی (ρ) استفاده می شود. آزمایشات صورت گرفته نشان می دهد، شتاب ایجاد شده توسط دستگاه پیزوالکتریک بر روی قطعه مورد نظر برای به ارتعاش درآوردن قطعه شتابی معادل ng می باشد.

دیواره به خوبی عمل کنند. شکل ۲، نمایش اتصال دیواره های روی پلتفرم با کمک لولاها و اتصال دیواره ها به یکدیگر به کمک قفل ها را نشان می دهد. لولاهای آلومینیومی در اثر تکرار در خم و راست شدن بالاخره می شکنند و این از معایب لولاهای آلومینیومی محسوب می شود.



شکل ۲ چگونگی استفاده از لولا ها و قفل ها برای مونتاژ

میکروکپد

اما با توجه به ساختار پیشنهاد شده، یک بار تاشدن لولا برای مونتاژ دیواره ها کافی می باشد.

۶- قسمتهای مختلف نگهدارنده SMA

ساختار نگهدارنده پیشنهادی در این مقاله از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. یکی قسمت ثابت

عامل شتاب زیاد ناشی از ارتعاش ایجاد شده توسط پلتفرم در قید و مهار نبودن دیواره ها از طرفین ضرورت بررسی لازم برای پایداری و حفظ تعادل دیواره هادر موقعیت مونتاژ شده را موجب می شود. با یک محاسبه ساده میتوان دریافت که لولا ها به تنهایی قادر به ممانعت از انحراف دیواره ها نمی شود. با توجه به مقادیر معلوم و رابطه (۴) می توان مقدار انحراف مجاز بالای دیواره را برای حفظ تعادل بدست آورد.

)

۴

$$I_y = \frac{t^3 \cdot l}{12}$$

)

$$y(x) = \frac{F}{E_2 - I_2} \left(\frac{x^3}{6} - \frac{L}{2} x^2 \right) + \frac{F}{E_1 - I_1} \left(\frac{L_h^2}{2} - L L_h \right)$$

۵

$$+ \frac{F}{E_1 - I_1} \left(\frac{L_h^3}{6} - \frac{L}{2} L_h^2 \right)$$

)

با در نظر گرفتن $y(x=1)$ و مقدار معلوم L ، نتیجه می شود چنانچه مقدار انحراف کمتر از ۲۰ درصد از ارتفاع دیوار باشد، تعادل دیوار حفظ می شود [۵]. برای این منظور، طراحی یک ساختار تکیه گاهی برای برقراری اتصال بین دیواره های کناری و پشتی که شبیه به یک زیپ عمل می کند، پیشنهاد می شود. زبانه های انتهایی دیواره با زبانه های دیواره دیگری به صورت متوالی هم پوشانی داشته و پس از عملیات مونتاژ دیواره روی پلتفرم باتا کردن ۹۰ درجه ای زبانه ها بر روی دیواره مجاور، هر کدام از زبانه ها به صورت یک قفل عمل کرده و منجر به اتصال دو دیواره به یکدیگر می شود. (قابل ذکر است حداقل تغییر زاویه مورد نیاز هر یک از زبانه ها، جهت برقراری اتصال دو دیواره ۲۰ درجه است). جنس زبانه ها از آلومینیوم می باشد زیرا استفاده از سیلیکان به تنهایی موجب ایجاد شکنندگی زیاد و حالت فنریت زبانه می شود.

۵- لولاها

در هنگام مونتاژ برای چرخاندن دیوارها و قرار گرفتن آنها به صورت عمودی از لولاهای آلومینیومی استفاده می کنیم. لولاها باید تحت etch قرار گیرند تا بتوانند در هنگام تاشدن مونتاژ شدن

شکل ۳ قسمت های مختلف محرک را نشان می دهد.

همانگونه که در شکل ۴ دیده می شود تیرمیانی هنگامی که به تیر انتهایی جانبی متصل نباشد. دارای شکل ثانویه تخت است. و چنانچه تیر کاملاً گرم شود و به دمای آستینیت برسد. شکل آن به شکل اولیه حافظه داری خود می رسد. که در قسمت d مشخص شده است. اگر تیرمیانی توسط تیر انتهایی به تیرهای جانبی متصل شود به علت کوتاهاتر بودن تیرمیانی در موقعیت a نسبت به تیرهای جانبی امکان خمش تیر به موقعیت c فراهم می شود. با عمل اتصال و گرم کردن تیر موقعیت تیر بین حالت c,b نسبت به حرارت منتقل شده به آن تغییر می کند و این بدان معنی است که تیر حتی با گرم شدن در دمای آستینیت به علت تحت بار بودن به موقعیت d نمی رسد. گردش حرارتی برای جابه جایی قسمت انتهایی نگهدارنده در موقعیت های c,b به ترتیب می باشد [۱].



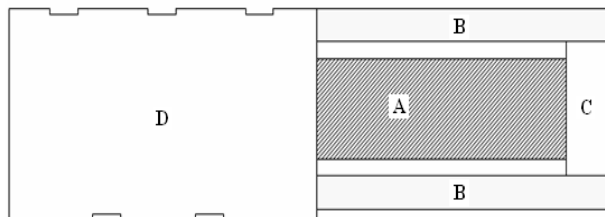
شکل ۴ حالت های مختلف فیلم SMA در هنگام گرم کردن آن

a. تیر بدون قرار گرفتن بار (از طریق اتصال در دمای آستینیت گرم می شود.

نگهدارنده که وظیفه تکیه گاه و انتقال حرارت قسمت متحرک نگهدارنده را بر عهده دارد. دیگری قسمت متحرک نگهدارنده است که در اثر گرم شدن موجب تغییر شکل در آن شده و با انحنایی که در آن بوجود می آید موجب می شود به قطعه واقع در قید نیرو اعمال شود و آنرا نگهداری کند.

چنانچه بخواهیم قسمت های مختلف متحرک نگهدارنده را بررسی کنیم، نیاز است ماهیت و عملکرد هر یک از این قسمت ها را شناسایی کنیم. شکل ۳، سه بخش متفاوت از قسمت متحرک نگهدارنده را نشان می دهد.

۱. قسمت A یا تیرمیانی: این قسمت از خاصیت حافظه داری شکلی برخوردار است و از طریق عملیات ترمو مکانیکی ویژه روی این قسمت، امکان برگشت پذیری به شکل اولیه برای آن فراهم شده است.
۲. قسمت B یا تیرهای جانبی: این قسمت از جنس نایتینول می باشد ولی عملیات ویژه ترمو مکانیکی روی آن واقع نشده است
۳. قسمت C یا تیرانتهایی: وظیفه این قسمت برقراری اتصال بین دو قسمت اول است. قسمت انتهایی نگهدارنده نیز دارای خاصیت حافظه داری شکلی نمی باشد.
۴. قسمت D: قسمتی است که به لحاظ رفتار مکانیکی همانند قسمت های B و C می باشد.
۵. قسمت های بین A و B که دو شیار خالی شده می باشد هدف از این شیار ها ایجاد خاصیت فنریت توسط قسمت های B روی قسمت میانی A و برگشت پذیری آن می باشد [۱].



سرعت به وسیله نیروی جرم تعیین می شود. برای محاسبه انرژی پتانسیل از فنری با ضریب سختی استفاده می شود که نیروی وابسته به آن همان جابه جایی است. ضریب دمپینگ برای دمپر می باشد. دمپر جهت میرا کردن انرژی استفاده می شود. و نیروی وابسته آن مربوط به سرعت حرکت، از جهت مخالف می باشد. هدف از به کارگیری سیستم با اجزاء مذکور دستیابی به ارتباط بین انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی سیستم می باشد.

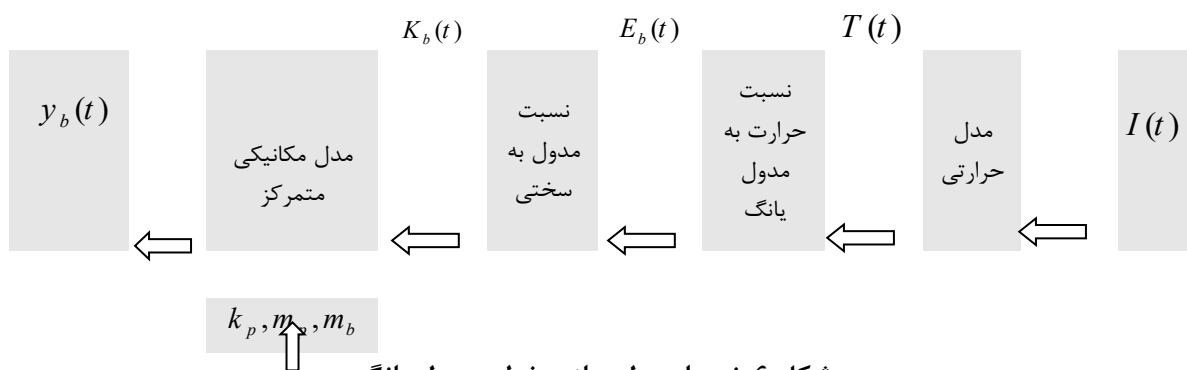
در این مقاله با صرف نظر از ضریب دمپینگ به دلیل دشواری استخراج روابط مربوطه برای مدل سازی و دستیابی به روابط از سیستم جرم و فنر استفاده می شود، سیستم مدل متمرکز مربوط به تیرمیانی و تیرجانبی بوسیله استفاده از دو فنر با سختی متفاوت در شکل ۵، نشان داده شده است.

- b. تیر در دمای آستینیت قرار دارد و تحت بار است .
- c. تیر در دمای مارتنزیت قرار دارد و تحت بار است .
- d. تیر در دمای مارتنزیت قرار دارد و تحت بار نیست .

در دمای پایین تیرهای جانبی به مانند یک مکانیزم کشش عمل می کند و با افزایش حرارت تا مرز آستینیتی نیروی زیادتری که از تیرهای جانبی به تیرمیانی وارد می شود موجب ایجاد انحناء در تیر میانی می شوند. و افزایش درجه حرارت از فاز مارتزیتی به آستینیتی باعث حرکت به سمت داخل قید تیرهای میانی می شود [۷، ۸].

۷- انتخاب مدل سیستم

ابتدا به تعریف مدل های المان توزیع شده و



شکل ۶ نمودار مدل سازی خطی مدول یانگ

قسمت چپ شکل ۵ مربوط به شکل هندسی نگهدارنده می باشد و در سمت راست معادل سازی آن با مدل متمرکز نمایش داده شده است.

المان متمرکز می پردازیم. در مدل المان توزیع شده یک معادله دیفرانسیلی پارشال که در آن زمان و مکان متغیرهای مستقل می باشند سیستم را توصیف می کند. در المان متمرکز یک پارامتر فیزیکی که در یک نقطه متمرکز شده است در معادله دیفرانسیلی معمولی که زمان در آن متغیر مستقل می باشد استفاده می شود. در اینجا برای طراحی مقدماتی نگهدارنده معادلات تحلیلی از مدل متمرکز با استفاده از انتهای نقطه خیزش به عنوان شرایط مرزی استفاده می شود. اولین قدم پس از انتخاب مدل تحلیلی سیستم، اینست که اجزاء مدل را شناسایی کنیم. برای تحلیل مدل مذکور می توان از مدل جرم، فنر و دمپر استفاده کرد. جرم با توجه به تغییر

نگهدارنده به فیلم SMA انجام می شود سپس در تیر SMA حرارت منتقل می شود. با توجه به ضخامت های بسیار کم لایه اکسیدی مابین SMA و المان حرارتی، فرض می کنیم حرارت ایجاد شده از طریق جریان I در المان حرارتی واقع در قسمت ثابت نگهدارنده بطور کامل به فیلم SMA منتقل می شود، با استفاده از قانون اول ترمودینامیک مدل حرارتی تیر SMA را با به کارگیری ترم های انرژی بررسی می کنیم [۹].

رابطه (۷) رابطه بقاء انرژی را بیان می کنند.

$$\frac{dE_{st}}{dt} = \frac{dE_{in}}{dt} - \frac{dE_{out}}{dt} + \frac{dE_{gen}}{dt} \quad (7)$$

در رابطه (۷) E_{st} ، انرژی ذخیره شده و E_{gen} انرژی تولید شده می باشد. حرارت منتقل شده به خاطر اختلاف دمای متفاوت دو مقطع است. انتقال حرارت با توجه به ابعاد فیلم ثابت در نظر گرفته می شود. همچنین از اتلاف انرژی توسط تابش حرارتی صرف نظر می شود. اگر حرارت مخصوص تیر C_{sh} ، حجم تیر V_b ، سطح تیر A_b ، مقاومت ویژه ρ_e و چگالی آن ρ_m فرض شود. همچنین دمای محیط T_∞ ، و توان الکتریکی Pe و h_{tc} ضریب هدایت گرمایی در نظر گرفته شود. معادله انرژی معادل است با [۸].

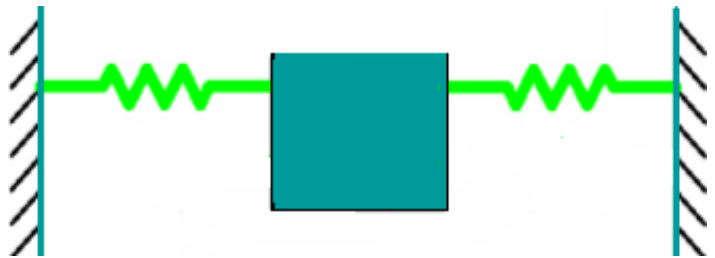
$$\rho_m c_{sh} V_b \frac{dT}{dt} = P_e - h_{tc} A_b (T - T_\infty) \quad (8)$$

با حل معادله به کمک لاپلاس و فرض شرط مرزی معادله (۸) بدست می آید [۱۰].

با استفاده از حل پارامتری معادلات فوق، می توان علاوه بر محاسبه نیروی درگیری بین میکرو قید و میکرو قطعه (رابطه ۹)، نرخ گرم شدن و سرد شدن فیلم SMA (رابطه ۱۰) را از طریق نمودار های ۱ و ۲ نشان داد [۱۱].



نگهدارنده می باشد و در سمت راست معادل سازی آن با مدل متمرکز نمایش داده شده است. شکل ۶، نمایش مدل سازی نحوه ارتباط پارامترهای مربوط به مدل خطی مدول یانگ می باشد. نقطه انتهایی خیز تیر از طریق آنالیز دیاگرام جسم آزاد از معادلات مکانیکی مدل متمرکز بدست می آید. سختی معادل و جرم تیرمیان و جرم تیرهای جانبی ورودی های معادله مکانیکی مدل متمرکز می باشد. در مدل خطی، مدول یانگ در مارتنزیت و آستنیت مقادیر ثابتی فرض می شوند، همانطور که می دانید می توان تیر میانی و تیر جانبی و تیر انتهایی را به طور مجزا تجزیه استاتیکی کرد.



نمودار ۲ منحنی گرم شدن فیلم SMA

رابطه (۶) مربوط به معادله دینامیکی حاکم برای مدل جرم-فنر پیشنهادی می باشد.

$$m_b + m_p \ddot{y}_b + (k_p + k_b)y_b - k_p y_{flat} = \quad (6)$$

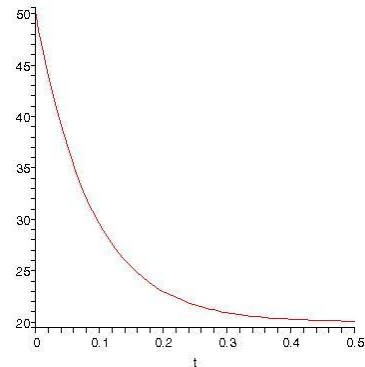
۸- مدل حرارتی
مدل سازی حرارتی سیستم در دو قسمت صورت

می گیرد. به طوریکه ابتدا انتقال حرارت قسمت ثابت شکل ۵ معادل سازی محرک در میکرو قید

۹- نتیجه گیری

روش های گوناگونی برای تولید قطعات مورد نظر در ابعاد میکرو وجود دارد، در این میان فناوری CMOS به دلیل ارزانی و سهولت در تولید، به عنوان روش تولید قطعات میکرو قید به کار گرفته می شود کاربرد لولا در میکرو قید برای ثابت کردن اجزاء مختلف میکرو قید ضروری بوده و برای جلوگیری از انحراف اجزاء میکرو قید، از زبانه آلومینیمی استفاده می شود. به دلیل رفتار الاستیکی کاذب آلیاژهای حافظه دار، استفاده از آلیاژهای حافظه دار در قسمت محرک میکرو قید مورد بررسی قرار گرفت. هرچه ضخامت فیلم SMA کم شود در خصوصیات فیزیکی آن تاثیر می گذارد. و تا حدودی پارامترهای طراحی را بهبود می بخشد. با استخراج روابط مربوط به مدل سازی با استفاده از سیستم جرم و فنر می توان تغییرات درجه حرارت را نسبت به زمان به دست آورد. از مقایسه نمودارهای درجه حرارت نسبت به زمان می توان دریافت که انتقال حرارت در آلیاژ حافظه دار به مراتب کمتر از دیگر روشها است همچنین نسبت گرمایش به سرد شدن، نسبت کوچکی است. برای جبران برگشت پذیری فیلم SMA بعد از حرارت دادن می توان قیودی مناسب تعریف کرد به صورتی که حالت کششی این قیدها می توانند پس از قطع توان الکتریکی، فیلم SMA را به حالت اولیه خود باز گردانند. نسبت توان مصرفی برای یک میکرو نگهدارنده SMA به مراتب کمتر از نمونه مکانیزم انبساط حرارتی می باشد. می توان با قراردادن صحیح میکرو قیدها در کنار یکدیگر، قطعات بیشتری در مدت زمان معلوم را ماشینکاری یا حمل کرد.

$$T(s) = \frac{P_e}{s \frac{\rho_m c_{sh} b_b^2 t_b^2}{h_{tc} 2(b_b + t_b)} I^2 + T_{\infty} + \frac{\rho_m c_{sh} b_b t_b}{\rho}} \quad (9)$$



نمودار ۱ منحنی سرد شدن فیلم SMA

مقایسه منحنی مربوط به نرخ گرم شدن و سرد شدن محرک حاکی از آن است که نسبت گرم شدن محرک (نمودار ۲) به مراتب بالاتر از نرخ سرد شدن (نمودار ۱) است. لذا باید دقت داشت کنترلر مقدار جریان ورودی مدار، تا قبل از رسیدن محرک به دمای اشباع حتی کمتر از آن جریان را به سرعت قطع و در کنترل خود داشته باشد. با مقایسه این محرک با محرک انبساط حرارتی در می یابیم.

که برای بدست آوردن مقدار جابجایی مورد نیاز در این روش نسبت به روش های دیگر، مقدار توان ورودی به مراتب کمتر است [۱].

- [5] Tahhan, Isam and Zhuang, Yan and Böhringer, Karl and Pister Kris, S. Jand Goldberg Ken "MEMS Fixtures for Handling and Assembly of Microparts", University of California, Berkeley, CA 94720-1777, **2000**.
- [6] Read, B.C and Bright, V.M and Comtois, J. "Mechanical and optical characterization of thermal actuators fabricated in a CMOS process" Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, vol. 2642, **1995**, pp. 22-32, October.
- [7] Mizar, Shivananda Pai, "Thermomechanical characterization of NiTiNOL and NiTiNOL based structures using ACES methodology", Worcester Polytechnic Institute, in partial fulfillment of the requirement for the Doctor of Philosophy In Mechanical Engineering, December **2005**.
- [8] Fu, Y.Q and Zhang, Sam and Wu, M. Jand Huang, Du and W.M, Luo and J.K, Flewitt and A.J, Milne. W.I, On "The lower thickness boundary of sputtered NiTi films for shape memory application, Elsevire, Thin Solid Films", 515 80 – 86, **2006**.
- [9] Toews, Leslie Marilyn . "THE DEVELOPMENT OF A MONOLITHIC SHAPE MEMORY ALLOY ACTUATOR", A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering Waterloo, Ontario, Canada, **2004**.
- [10] Castro. Mario H. "The MEMS Applications Engineer , Cedeno Rochester Institute of Technology", Lomb Memorial Drive Rochester, NY 14623-5603, **2003**.

- ¹ micro electro mechanical system
² complementary Metal-oxide semiconductor
³ shape memory alloy

⁴ chemical vapor deposition

مراجع

- [۱] دوراندیش احمد رضا، آقاجفی سیروس، طراحی بهینه میکرو قیدها، ۱۳۸۵.
- [۲] دوراندیش احمد رضا، بررسی ساختار آلیاژهای حافظه دار در مهندسی پزشکی، مجله مهندسی پزشکی آبان ۱۳۸۴.
- [۳] دوراندیش احمد رضا، بررسی ساختار و عملکرد نایتینول در مهندسی پزشکی، انجمن مهندسان مکانیک ایران اسفند ۱۳۸۴.
- [۴] رضوی بهزاد، طراحی مدارهای مجتمع CMOS آنالوگ، انتشارات نص، ۵۸۶-۵۹۰، ۱۳۸۳.