[آسان داک](http://www.asandoc.com/) (www.Asandoc.com)

**خطوط به هم پیوسته مدار یکپارچه در ماده سیلیکونی پر اتلاف با روش اجزاء محدود**

**چکیده**

ماده سیلیکونی دارای اثرات معنی داری بر پارامتر القایی خط به هم پیوسته پر اتلاف در مدار یکپارچه است. لازم است که این موضوع را در تعیین پارامترهای الکتریکی خط گذرا در نظر بگیریم. در این مقاله، یک تحلیل القایی و ظرفیت شبه TEM بهم پیوستگی چند لایه چند القایی به طور موفقیت آمیزی با استفاده از روش اجزاء محدود (FEM) نشان داده شده است. به طور ویژه، ما مدل سازی الکترواستاتیک خطوط به هم پیوسته مجزا و متصل در یک ماده اکسید سیلیکون – سیلیکون را نشان می دهیم. همچنین، ما طیف شبه استاتیک را برای توزیع پتانسیل مدار یکپارچه سیلیکونی تعیین می کنیم.

**کلمات کلیدی**

روش اجزاء محدود، ظرفیت، القایی، به هم پیوسته، ماده سیلیکونی

1. **مقدمه**

به دلیل پیچیدگی مدل سازی الکترومغناطیس، محققان و دانشمندان همواره به دنبال ایجاد مدل های صحیح و سریع برای استخراج پارامترهای به هم پیوسته الکترونیکی و ساختارهای بسته ای هستند. در سالهای گذشته، ما یک کاربرد و توسعه عالی را در پیچیدگی، شدت و سرعت عملیات مدارهای یکپارچه (ICs)، مدول های چند چیپ (MCMs) و صفحات مداری چاپ شده (PCBs) مشاهده کرده ایم. به طور مثال، MCMs به طور گسترده ای برای کاهش تاخیر به هم پیوستگی و اثرات متقابل در سیستم های الکترونیکی پیچیده به کار گرفته می شود. خطوط گذار چند القایی که در واسطه دی الکتریک چند لایه ای گنجانده شده است بهعنوان واحدهای به هم پیوسته اصلی در ICs و MCMs شناخته شده اند و با پارامترهای مدار توزیع یافته مانند ظرفیت C و ماتریس های القایی L تحت شرایط شبه TEM مشخص شده اند.

همچنین، این پارامترهای مدار توزیع یافته ، فاکتورهای بسیاری مهمی در رفتار الکتریکی و عملکرد دیگر مدارهای مایکرویو یکپارچه (MIC) و چیپ های یکپارچه مقیاس های بسیار بزرگ (VLSI) هستند. امروزه، برای ساخت مدارهای یکپارچه با سرعت بسیار بالا، ضروری است که محدودیت های ناشی از مکانیزم های اتصال یافته پارازیتی که در فرآیندهای مدار یکپارچه سیلیکونی موجود است را بررسی کنیم. برای بهبود ویژگی های الکتریکی به هم پیوستگی IC مانند کاهش طول خطوط به هم پیوسته، توجه کافی باید به اندازه هندسی بخش های مقطع میانی عرضی آنها معطوف شود، تخمین پارامترهای خط گذار به یک طراحی سیستم صحیح نیاز دارد. ساختارهای چند لایه ای چند القایی برای سیستم های ICs، MCMs و PCBs به دلیل اثرات مهم بر ویژگی های گذاری سیگنال ها با سرعت بالا ضروری هستند. همچنین، خطوط گذارا بر به هم پیوستگی IC تاثیر می گذارد برای گذر و انتقال بسیار مهم است.

رفتار خطوط به هم پیوسته در سیلیکون – اکسید سیلیکون ماده را شبه رسانا می سازد. ماده سیلیکونی رسانا منجر به اثرات القایی و ظرفیتی در ساختار می شود. بنابراین، در این کار ما از FEM برای استخراج پارامتر برای مدل سازی الکترواستاتیک خطوط به هم پیوسته جفت و تک در ماده سیلیکون – اکسید سیلیکون استفاده می کنیم. بسیاری از محققان انواع مختلفی از روش ها را برای حل مشکل ارائه کرده اند. این روش ها شامل منبع معادل و معادله اندازه گیری شده تابع گرین دی الکتریک و دیدگاه معادله یکپارچه مرزی، CAD و محدوده طیفی شبه استاتیک، روش تصویر پیچیده، تحلیل با موج کامل شبه ثابت و تغییر یکپارچه فوریر و روش نقشه نگاری می شود. ما نشان می دهیم که مدل ما با استفاده از FEM مانند دیگر روشها برای مدلسازی به هم پیوسته چند القایی شبه استاتیک ناهمگن در واسطه دی الکتریک چند لایه مناسب و اثر بخش است. در این کار، ما خطوط به هم پیوسته جفت و تک را در ماده سیلیکون- اکسید سیلیکون با استفاده از FEM طراحی می کنیم. ما بر محاسبه هر واحد ظرفیت طول و هر واحد القای طول خطوط به هم پیوسته جفت و تک در ماده سیلیکونی – اکسید سیلیکون تمرکز می کنیم و طیف شبه استاتیک را برای توزیع پتانسیل مدار یکپارچه سیلیکونی تعیین می کنیم.

**2- بحث و نتایج**

مدل هایی در دو بعدی با استفاده از محیط الکترواستاتیک طراحی شده اند تا نتایج ما را با دیگر روش های موجود مقایسه کنند. در شرایط مرزی طراحی مدل ، ما از مرز زمینی که دارای پتانسیل صفر( V=0)برای پوشش است استفاده می کنیم. ما از شرایط دریچه برای رسانا استفاده می کنیم تا پتانسیل یا جریان را به سمت یک یا صفر بسته به تنظیمات حرکت دهیم ما از FEM در محاسبات خود استفاده می کنیم، زیرا برای محاسبه زمینه های الکترومغناطیس در واسطه های ناهمگن مناسب است و دارای دقت محاسباتی بالا و سرعت محاسباتی سریعی می باشد. در بخش های دیگر، ما کارمان را در مدلسازی خطوط به هم پیوسته جفت و تک در ماده سیلیکون –اکسید سیلیکون (Si-SiO2) نشان می دهیم و طیف شبه استاتیک را برای توزیع پتانسیل مدار یکپارچه سیلیکونی تعیین می کنیم. محاسبه ما بر محاسبه ظرفیت هر واحد طول و رسانای هر واحد طول به هم پیوستگی خطوط گذرا در ماده (Si-SiO2) است.

**2.1 – خط به هم پیوسته تک در ماده Si-SiO2**

در این بخش، ما مدل سازی خط به هم پیوسته تک را بر ماده سیلیکون – اکسید سیلیکون با تمرکز بر محاسبات ظرفیت هر واحد طول و القای هر وحد طول انجام می دهیم. شکل 1 هندسه این مدل را نشان می دهد.



ماده سیلیکونی

صفحه زمینی

شکل 1- مقطع میانی خط به هم پیوسته تک در ماده **Si-SiO2**

ظرفیت هر واحد طول در خط تک که در لایه اکسید و سیلیکون عمده قرار داده شده است در (13) ارائه شده است.



جاییکه 

* = عرض رسانای تک، = ضخامت رسانای تک، = عرض ماده سیلیکون- اکسید سیلیکون، = ضخامت لایه ،  = ضخامت لایه  است.

ارزش ظرفیت خط تک در شکل یک با استفاده از معادله یک به صورت نشان داده شده است. به علاوه، با استفاده از روش ما، ارزش است.

عدم انتشار یا ماده دی الکتریک کم، اقای هر واحد طول خط تک می تواند به طور مستقیم و متداول از معادله شماره دو محاسبه شود.



جاییکه  = ثابت دی الکتریک فضای آزاد است



نفوذ پذیری فضای آزاد یا وکیوم =  = ،  = القای خط گذرای تک،  = ظرفیت خط گذرای تک هنگامیکه تمامی ثابت های دی الکتریک به یک تنظیم شده اند.

از طرف دیگر، معادله 2 به اندازه کافی برای استفاده برای خطوط پر اتلاف مناسب نیست، زیرا ماده سیلیکونی دارای رسانایی بالایی است که منجر به روش موج آهسته می شود. در این روش، ذخیره انرژی الکتریکی و مغناطیسی به طور قسمتی مجزا می شوند، در نتیجه، مدل هم بستگی مدار یکپارچهبدون اثرات شبه رسانایی نمی تواند برای یکپارچگی مقیاس بسیار بالای عملکرد بالای امروز و طراحی مدار پذیرفته شود.

بنابراین، مدل القایی  یک خط به هم پیوسته تک در ماده سیلیکونی توسط (15) ارائه شده است.



جاییکه  = نفوذ پذیری فضای آزاد یا وکیوم =  ،  = ضخامت لایه سیلیکونی است. با استفاده از معادله 3 نتایج به صورت  می باشد.

جدول 1 نتایج مقایسه ای برای القای  هر واحد طول ساختار را هنگامیکه خط به هم پیوسته تک بر روی ماده سیلیکون – دی اکسید سیلیکون وجود دارد را نشان می دهد.

جدول 1- مقادیر القای هر واحد طول برای خط به هم پیوسته تک بر روی سیلیکون – دی اکسید سیلیکون



معادله 3 آزمایشات دیدگاه القای خط تک در هر واحد طول

به علاوه، شکل 2 از طریق 4 توزیع پتانسیل مدل را با اختلافات آنها در اوج طیف و حداقل عرض کامل نشان می دهد، از  به ، از به ، از  به  و از  به 



شکل 2- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون – دی اکسید سیلیکون از به 



شکل 3- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون – دی اکسید سیلیکون از  به 



شکل 4- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون – دی اکسید سیلیکون از به 

شکل 5 تحلیل مقایسه ای توزیع پتانسیل مدل را با و بدون ماده دی الکتریک نشان می دهد. مشاهده شده است که مقدار حداکثر پتانسیل دی الکتریک هنگامیکه دی الکتریک در ماده قرار داده می شود، افزایش می یابد.



شکل 5- تحلیل مقایسه ای توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک بر روی ماده سیلیکون- دی اکسید سیلیکون از  به 

**2.2- خطوط به هم پیوسته جفت بر روی ماده سیلیکون – دی اکسید سیلیکون**

در این بخش، ما مدسای الکترواستاتیک خطوط به هم پیوسته جفت را بر ماده سیلیکون، اکسید سیلیکون با تمرکز بر محاسبه القای هر واحد ماتریس طول نشان می دهد. شکل 6، هندسه مد را با مقادیر پارامتر نشان می دهد.



شکل 6- مقطع میانی خطوط به هم پیوسته جفت بر روی ماده 

ما از نتایج محاسبات ظرفیت برای یافتن ماتریس القا استفاده می کنیم. ماتریس القا و ظرفیت هر واحد ماتریس طول سیستم خطوط گذاری شبه رسانا به طور معمول برای خطوط با افت پایین یا بدون افت مانند 14 وابسته هستند.



جاییکه

 = ثابت دی الکتریک فضای آزاد است = 

* = نفوذ پذیری فضای آزاد یا وکیوم است =

= ماتریس القا

= ماتریس معکوس ظرفیت خط گذرای شبه رسانا هنگامیکه ثابت دی الکتریک با یک مساوی است.

اما اثرات افت ماده سیلیکونی باید برای محاسبه  با استفاده از ثابت دی الکتریک موثر  در معادله 4 در نظر گرفته شود.



جدول 2 نتایج مقایسه ای برای القای متقابل و خود القایی ساختار را هنگامیکه خطوط به هم پیوسته جفت بر روی ماده سیلیکون –اکسید سیلیکون موجود هستند را نشان می دهد.

جدول 2- مقادیر ضرایب ماتریس القایی  برای خطوط به هم پیوسته جفت بر ماده سیلیکون – اکسید سیلیکون



کار ما دیدگاه ماتریس القایی و LI

براساس جدول 2، ما مشاهده می کنیم که  با بسته  برای محاسبه پارامترهای خط گذاری جفت به هم پیوسته ها اثر بخش و صحیح است. نتایج با کار قبلی مقایسه شد و در انطباق خوبی با یکدیگر یافت شدند. به علاوه، شکل 7 از طریق 9 توزیع پتانسیل مدل را با تغییرات آنها در حداکثر طیف و حداکثر عرض کامل نشان می دهد 

از  به، از  به و از  به 



شکل 7- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون –اکسید سیلیکون از به 



شکل 8- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون –اکسید سیلیکون از به 



شکل 8- توزیع پتانسیل خط به هم پیوسته تک ماده سیلیکون –اکسید سیلیکون از به 

**3- نتیجه گیری**

در این مقاله، ما مدل سازی خطوط به هم پیوسته جفت و مجزا را بر روی ماده سیلیکون- اکسید سیلیکون نشان داده ایم. نتایج به دست آمده با استفاده از FEM برای ظرفیت هر واحد طول و القای هر وحد طول با نتایجی که در این مقاله یافته شده است تطابق دارد. به علاوه، ما نتایجی را برای مدلسازی توزیع پتانسیل به دست آوردیم.