٨٧/١/١٠٦٤٩٣
٨٧/١٢/١٩

بسم الله الرحمن الرحيم

١١٠٨٠٤

QV/1/09E4F
AV 12/19

دانشکده‌ی علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته شیمی تجزیه

اندازه گیری آمونیاک با استفاده از ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون

به وسیله‌ی:

امین فرهنگ فر

۱۳۸۷ /۱۲/۱۵

استاد راهنما:

آقای نوروز ملکی

شهریور ۱۳۸۷

۱۱۰۸۰۴

به نام خدا

اندازه گیری آمونیاک با استفاده از ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون

به وسیله‌ی:

امین فرهنگ فر

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

شیمی تجزیه

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیتهٔ پایان نامه با درجه‌ی: ...عالی....

آقایٔ نوروز ملکی، استادیار بخش شیمی (استاد راهنما و رئیس کمیته).....

دکتر افسانه صفوی، استاد بخش شیمی (استاد مشاور).....

دکتر مرتضی آخوند، استادیار بخش شیمی (استاد مشاور).....

شهریور ۱۳۸۷

چکیده

اندازه گیری آمونیاک با استفاده از ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون

به وسیله‌ی

امین فرهنگ فر

یک ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون از ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی طراحی و ساخته شده است. مناسب سازی ولتاژ و دیگر پارامترها ی الکترود با استفاده از محلول های مختلف انجام شده است. حساسیت الکترود برای محلول های اسیدی ۶۴,۵ میلی ولت بر واحد pH می باشد. با استفاده از این اکترود اندازه گیری آمونیاک در سطح مقادیر آمونیاک سیستم های پرورش ماهی انجام شده است. دقت و حد تشخیص برای این روش به ترتیب ۰,۴ تا ۱,۵ درصد و ۰۳۴۹. میلی گرم بر لیتر،بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱
مقدمه ۱
۱,۱- تعریف ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون ۲
۱,۲- آنالیز شیمیایی سنسورهای یونی ۳
۱,۳ - مزایای ISFET ٤
۱,۴ - نمادها و نامگذاری ٥
۱,۵ - مفهوم ترانزیستور های اثر میدانی حساس به یون ٦
۱,۶ - مدل حدفاصل مایع – جامد ۷
۱,۵,۱ – حد فاصل اکسید الکترولیت ۷
۱,۶,۱- مبنای عملکرد ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون ۹
۱,۷,۱- مدهای ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون ۹
۱,۸ - ساخت ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون ۱۰
۱,۹,۱- ویژگی های یک الکترود انتخابگر یون ۱۱
۱,۹,۱,۱- انتخابگری : ۱۱
۱,۹,۲- شیب ۱۲
۱,۹,۳- محدوده خطی سیگنال ۱۲
۱,۹,۴- حد تشخیص ۱۲
۱,۹,۵- زمان پاسخگویی ۱۳
۱,۱۰- ویژگیهای جریان و ولتاژ ترانزیستورهای اثر میدانی ۱۳
۱,۱۱- کاربردهای ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون ۱٤
۱,۱۱,۱- کاربرد ترانزستورهای اثر میدانی حساس به یون در سلول های روان (Flow) ۱٥
۱,۱۲- آمونیاک ۱٥
۱,۱۲,۱- اندازه گیری آمونیاک ۱٥
فصل دوم ۱٦
دستگاهوری ۱٦

عنوان صفحه

۱,۲- مواد به کار رفته ۱۷
۲,۲- وسایل و دستگاه ها ۱۷
۳,۲- روش کار ۱۸
۱,۳,۲- تهیه کردن الکترود ترانزستور اثر میدانی حساس به یون ۱۸
۱,۱,۳,۲ پوشش دهی ترانزیستور ۱۸
۲,۱,۳,۲- پوشش دهی سیمهای متصل شده به ترانزیستور ۱۹
۲,۳,۲- کاهش دادن نوفه ۲۱
۳,۳,۲- نرم افزار به کار رفته ۲۲
۱,۳,۳,۲- طرز عملکرد منوهای مختلف از نرم افزار ۲۲
۱,۱,۳,۳,۲- منو ISFET ۲۲
۲,۱,۳,۳,۲- منو Time ۲۳
۳,۱,۳,۳,۲- منو کالیبراسیون (Calibration) ۲۵
۴,۱,۳,۳,۲- عملکرد کلید Run ۲۶
۴,۲- نمایش کلی سیستم ISFET ۲۷
فصل سوم ۲۸
بحث و نتیجه گیری ۲۸
۱,۳- ویژگی های ISFET ۲۹
۱,۱,۳- انتخاب ترانزیستور اثر میدانی اکسید سیلیکونی (MOSFET) ۲۹
۲,۱,۳- اپتیموم کردن ولتاژ اندازه گیری ۲۹
۳,۱,۳- پاسخگویی ترانزیستور اثر میدانی به تعدادی از یون ها ۳۱
۴,۱,۳ – تست کردن ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون نسبت به یون هیدرونیوم ۳۲
۲,۳ – اندازه گیری آمونیاک با استفاده از ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون (ISFET) ... ۳۳
۲,۲,۳- مبنای اندازه گیری آمونیاک با استفاده از معرف Nessler ۳۳
۳,۲,۳- نمودارکالیبراسیون برای اند ازه گیری آمونیاک با استفاده از ترانزیستور اثر می دانی حساس به یون ۳۵
۴,۲,۳- دقت ۳۷
۵,۲,۳- حد تشخیص ۳۷
۶,۲,۳- پایداری الکترود در معرف و محلول های با pH مختلف ۳۸
۷,۲,۳- آنالیز نمونه واقعی ۳۸

۳,۳- مزایای این روش..... ٤٠
۴,۳- نتیجه گیری..... ٤٠

فصل اول

مقدمه

فصل اول

۱,۱- تعریف ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون

سنسورهای الکتروشیمیایی وسایلی مرتبط با محدوده شیمیایی و الکترونیکی هستند که می توانند اطلاعات شیمیایی را به سیگنال الکتریکی تبدیل کنند.مهمترین قسمت از چنین وسایلی بخشی است که قادر است قسمت شیمیایی را که شامل آلی، معدنی و حتی بیولوژیکی را تشخیص دهد.پیشرفت حاصل شده در چند دهه اخیر شامل ترکیب شدن الکترودهای حساس به یون و نیمه رساناها می باشد.

در سال ۱۹۷۰ ، برگولد ، دستگاه های میکروالکترونیک را گزارش کرد که با تکنولوژی الکترونیک حالت جامد کوپل شده با سنسور های شیمیایی ترکیب شده بودف او این دستگاه را را ترانزستور اثر میدانی حساس به یون نامید. این دستگاه شامل ترانزیستورهای نیمه رسانای اکسید فلزی بود که سطح مدخل رسانای آن با محلول مورد اندازه گیری جایگزین شده است.

ISFET می تواند به عنوان دستگاهی تعریف شود که شامل الکترودهای انتخابگر یون مرسوم و ترانزیستور اثرمیدانی مدخل عایق (FET) می باشد. آن مدخل عایق نقش الکترود انتخابگر یون را بازی می کند.

ISFET یک ترانزیستوراثر میدانی حساس به یون اکسید فلزی است که از یک مدخل عایق استفاده می کند تا اینکه بتواند غلظت یون یا تغییر موضعی دانسیته بار در محلول الکترولیت را اندازه گیری کند.

ساختار سنسورهای شیمیای نیاز دارند که شامل ترکیبی از یک گیرنده شیمیایی و عنصر تبدیل کننده به یک سیستم تعریف شده شیمیایی باشند. سنسورهای اثر میدانی بسیار مورد نظر هستند زیرا آنها می توانند با استفاده از تکنولوژی IC در ابعاد بسیار کوچک ساخته شوند و دارای مزیت جوابدهی سریع باشند. به بیان دیگر ISFET مورد نظر است به خاطر مزیت های قیمت کم، جوابدهی سریع، ابعاد کم که آنها در مقایسه با الکترودهای انتخابگر یون دارند.

به منظور اینکه به ارزشهای ISFETs پی ببریم و مکانیسم عملکرد آنها را بدانیم ابتدا باید درباره کلیت عملکرد پایه سنسورهای پتانسیومتری خصوصا الکترود غشای شیشه ای که مشهورترین مثال است بحث کنیم.

۲,۱- آنالیز شیمیایی سنسورهای یونی

سنسورهای یونی سنسورهای شیمیایی هستند، این به معنی آن است که تفاوت در پتانسیل الکتریکی در حدفاصل جامد مایع به عنوان تابعی از غلظت یون مورد اندازه گیری قرار می گیرد.این اندازه گیری بر طبق معدله نرنست می باشد :

$$\Delta\varphi = RT/F \ln a_{i_1}/a_{i_2}$$

که در اینجا R ثابت گازها، T دمای مطلق و F ثابت فارادی می باشد. حساسبت بر طبق RT/F مشابه با kT/q در فیزیک حالت جامد است. غلظت های یونی c_i بر مبنای فعالیت آورده شده اند. $a_i = f_i c_i$ ، که در آن f_i ضریب فعالیت است.در محلول های رقیق مقدار f_i برابر با یک است. این معادله بیان می کند که اگر در یک طرف حدفاصل فعالیت یون مورد نظر ثابت باشد، مقدار پتانسیل الکتریکی مستقیما متناسب با لگاریتم فعالیت یون در طرف دیگر است. بنابراین به عنوان مثال یک الکترود فلزی در محلول خودش مثلا مس در یک محلول سولفات مس ، یک پتانسیل مشخص را نتیجه خواهد داد که در حدفاصل هیچ گونه واکنشی اتفاق نمی افتد.

یک الکترود مشهور، الکترود غشای شیشه ای رساناست که در آن یون های مورد نظر در یک لایه نازک از غشا نگه داشته می شوند. ترکیبهای حساس به یون هیدروژن، پتاسیم، سدیم، ساخته شده اند که به صورت حبابی، شکل داده شده اند و در یک ستون شیشه ای قرار داده شده اند.حجم ردونی حباب ستون با یک محلول مشخص با یک ترکیب ثابت پر شده است. این به آن معنی است که در حقیقت یک سل با یک افت پتانسیل مشخص در سطح داخلی غشای شیشه ای و پتانسیل حس شده در سطح بیرونی، هر دو بر طبق معادله نرنست ساخته شده است.که این پتانسیل در صورتی قابل اندازه گیری است که محلول داخلی و خارجی هر دو در تماس با محلول یک الکترود مرجع باشند. یک الکترود مرجع از تماس مستقیم بین الکترود فلزی و محلول آبی که پتانسیل آن مورد اندازه گیری است جلوگیری می کند.

در عمل یک الکترود مرجع شامل یک سیم نقره ای کلرینه شده (سیم نقره ای که با کلرید نقره نامحلول پوشیده شده است) در یک محلول پتاسیم کلرید با یک غلظت ثابت تشکیل شده است. بنابراین یک کوپل الکتروشیمیایی در یک پتانیسل ثابت بر طبق معادله نرنست تشکیل می شود. محلول داخلی الکترود مرجع تماس محلول خارجی که پتانسیل آن مورد نظر است را با استفاده از یک مانع ممکن می سازد. اغلب الکترود غشای شیشه ای به صورت کوپل شده با الکترود مرجع در یک سیستم قرار می گیرد.

کاربردهای مختلفی از چنین سیستمهایی مثل سیستم های الکترودی بالکی، هم به صورت الکترود pH جداگانه و الکترود مرجع و هم به صورت سیتم های کوپل شده، بـه صـورت کـاربرد روزانه در آزمایشگاه های آنالیز شیمیایی و فرایندهای شیمیایی و غیره، وجود دارد.

باید توجه کرد که دراین نوع از سنسورهای پتانسیومتری، ضروری است که مواد حـسگر کـه در غشا به کار برده می شوند رسانا باشند، زیرا مدار اندازه گیری باید بسته باشـند.مـواد صـنعتی که به یون حساس هستند نباید به کار برده شوند.انواع الکترودهای غـشای شیـشه ای مینیـاتور شده به نظر می رسند که پایداری کمتری دارند و برای in vivo monitoring به علت شکـستنی بودن به کار نمی روند. بنابراین، خصوصا برای کاربردهای دارویی، مـوارد جدیـدی بایـد بـه کـار برده شوند، که در آنها ISFET به عنوان اولین گزینه است.

امروزه ISFETs به صورت تجاری در چندین کمپانی به عنوان بتـدیل کننـده سـاخته مـی شـوند (Orion, Orion Research, Boston, MA; Corning, New York, NY; Sentron Integrated ensor Technology, Roden, The Netherlands).

۳,۱ - مزایای ISFET

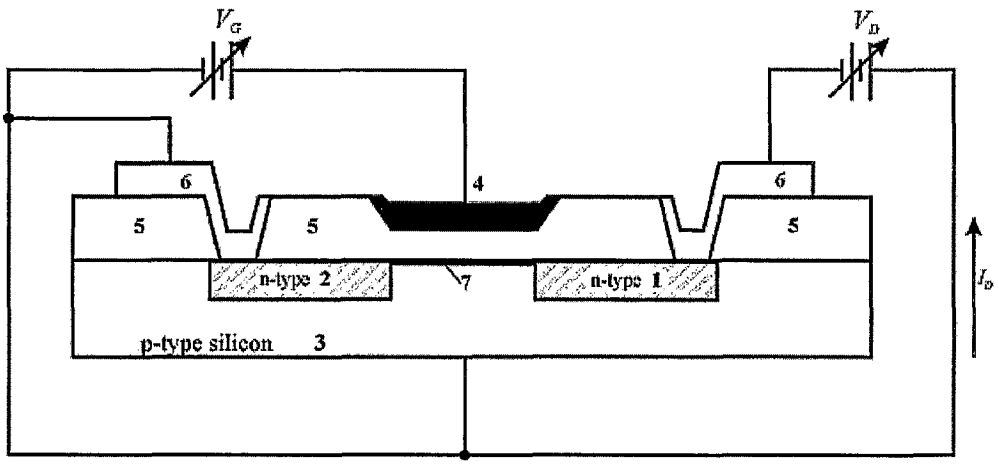
ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون، نسبت به الکترودهای انتخابگر یونف مزایایی دارند، از جمله این مزایا، پاسخگویی سریع آنها، اندازه کوچک و مقاومت خروجی کم آنها می باشد.علاوه بر آن با به کارگیری تکنولوژی IC می توان ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون را ساخت که برای شناسایی چندین گونه یونی به طور همزمان استفاده کردف این مزایای ترانزیستورهای اثر میدانی حـساس بـه یـون از نظـر دارویـی بـسیار مـورد توجـه اسـت. بـا توجـه بـه سـاختار ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون،که در آن ماده حساس به یون از نظر الکتریکی رسانا نمی باشد، امکان این وجود دارد که تغییرات پتانسیل سطحی لایه غیـر هیدراتـه و عـایق لایـه حسگر را، تعریف کنیم. این مورد از مزیت بسیار مورد توجه نسبت به الکترودهای انتخابگر یـون است.

آنها می توانند به طور همزمان تبدیل مقاومت زیاد و کم را انجام دهند، ضمنا مشکل پوشش دهی (Shielding) و پاسخگویی آرام نسبت به الکترود غشای شیشه ای حذف کنند. با توجه بـه تکنیک ساخت IC، ابعاد و جرم ترانزستورهای اثر میدانی حساس به یون را می توان به آسـانی کنترل کرد.

۴,۱ - نمادها و نامگذاری

همه دستگاه های نیمه رسانای شیمیایی حساس بر مبنای ترانزیستور اثر میدانی، ترانزیستور اثر میدانی نیمه رسانای اکسید فلزی یا ترانزیستور اثر میدانی مدخل عایق نیستند. همچنین همه ترانزیستورهای اثر میدانی شیمیایی حساس نیز ترانزستور اثر میدانی حساس به یون نیستند. اما تقزریبا توجهات به سوی ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون محدود می شود. عموما ترانزیستورهای اثر میدانی شیمیایی حساس به گازها و بسترهای آنزیمی به خوبی یون ها حساس هستند.

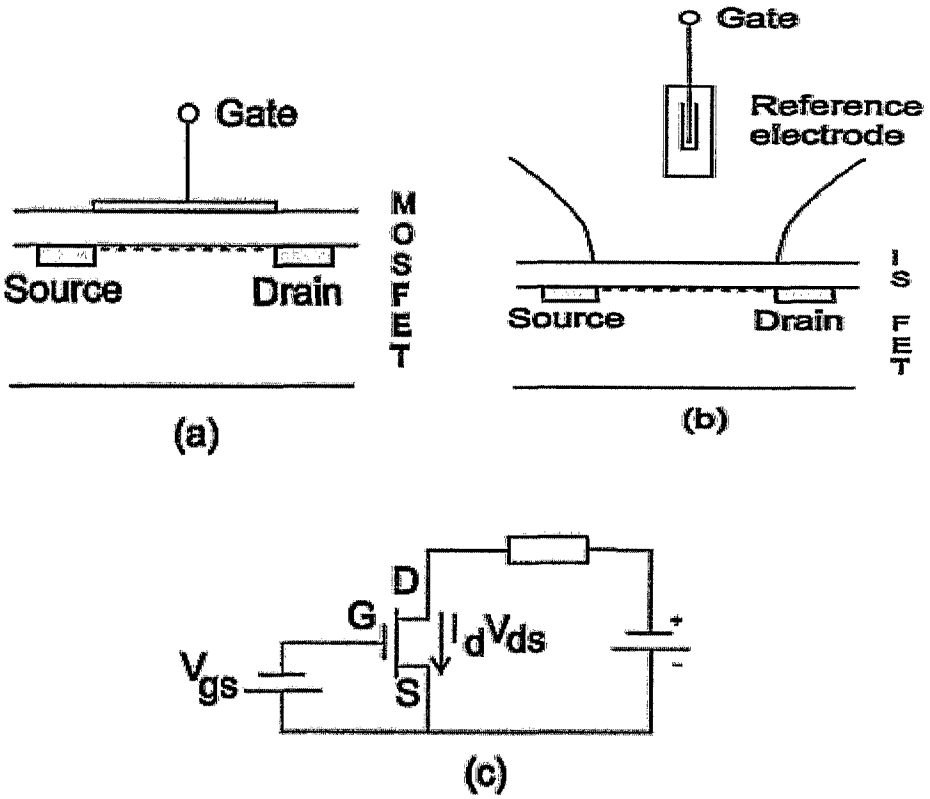
از نظر ساختاری، ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون، بسیار مشابه با ترانزیستور اثر میدانی مدخل عایق هستند. ترانزیستورهای اثر میدانی مدخل عایق، شامل یک بستر سیلیکونی نوع P به همراه منبع (Source) و تخلیه (Drain) هستند که به وسیله لایه SIO_2 به عنوان عایق و مدخل فلزی، جدا شده اند. یک ساختار نوعی از ترانزیستور اثر میدانی مدخل عایق از نوع N در شکل ۱,۱ نشان داده شده است.



شکل ۱,۱ ذیاگرام شماتیکی از تراتزیستور اثر میدانی مدخل عایق – (۱) تخلیه ; (۲) منبع ; (۳) بستر; (۴) مدخل عایق ; (۵) عایق ; (۶) اتصالات فلزی ; (۷) کانال هدایت کننده

۵,۱ - مفهوم ترانزیستور های اثر میدانی حساس به یون

نحوه عملکرد ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون را به بهترین شیوه می توان با مقایسه با یک آنالوگ کاملا الکترونی توصیف کرد. شکل ۱,۲، شباهت ها و تفاوت های بین این دو وسیله را بیان می کند.



شکل ۱,۲- دیاگرام شماتیکی از a) ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی (MOSFET) b) ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون (ISFET) c) دیاگرام الکترونی ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون (ISFET) و ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی (MOSFET)

مدخل فلزی ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی در شکل ۱,۲.(a) به وسیله الکترود مرجع در ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون جایگزین می شود. در حالی که آن که مایع در تماس با این الکترود است، امکان اتصال با مدخل عایق را ایجاد می کند ((۱,۲.(b)). هر دو وسیله دارای مدار الکترونیکی مشابه هستند که در شکل ۱,۲.(c) نشان داده شده است. پوشش دو نوع ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلزی و حساس به یون فرق دارد.یک ترانزیستور اثر میدانی اکسید

فلزی می تواند کاملا پوشیده شود، در حالی که رابط های منبع و تخلیه باید بـه دقـت پوشـیده شوند، صمنا ناحیه مدخل برای تماس با محلول باید آزاد باشد.

۶,۱ - مدل حدفاصل مایع – جامد

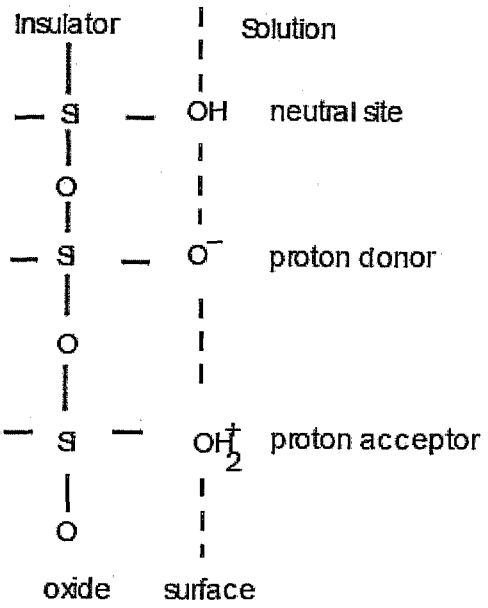
مطالعه تئوری قوانینی که در حدفاصل جامـد – مـایع در سنـسورهای ترانزیـستور اثـر نیـدانی حساس به یون(که در این مورد که در اینجا گفته شد، حدفاصل بـین الکترولیـت و مـدخل دی الکتریک منظور است) توسط مولفان زیادی مطالعه شده است. معمولا نحوه عملکرد ترانزیـستور اثر میدانی حساس به یون توسط تئوری سایت – بانـد توضـیح داده مـی شـود کـه رابطـه بـین پتانسیل حدفاصل و غلظت یون های هیدروژن در محلول مورد اندازه گیری می باشد.

بر طبق این تئوری یون هایی که در محلول حاظر هستند بـا بارهـای مثبـت یـا منفـی، بـا سایت های فعال در سطح دی الکتریک واکنش می کنند و تولید زوجهـای هیـدروزن – سـایت فعال در سطح عایق می کنند. این عمل از طریق تغییر در ولتاژمدخل، در میزان جریـان کانـال ترانزیستور تاثیر می گذارد. علاوه بر آن، سایت های فعال ممکن است کـه فقـط بـا یـون هـای هیدروژن واکنش انجام ندهند، بلکه با یون های دیگر حاظر در محلول مورد اندازه گیـری هـم واکنش می کنند. که این یون ها را اغتشاش کننده گویند.

۱,۵,۱ – حد فاصل اکسید الکترولیت

ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون به عنوان یک عنصر تبدیل کننده هـستند، بـه خـاطر اینکه سطح SIO_2 حاوی گروه های SiOH است که می تواند برای ایجاد پیوند کوالانسی، گونـه های آلی و پلیمرها به کار رود.

سطح هر اکسید فلزی معمولا محتوی گروه های هیدروکسیل به صـورت SiOH مـی باشـد. این گروه ها ممکن است که دهنده یا پذیرنده یک پروتون از محلـول باشـند، کـه باعـث ایجـاد گروه سطحی با بار منفی یا بار مثبت به ترتیب می شوند که به صورت شـماتیک در شـکل ۱,۳ آورده شده است.



شکل ۱,۳- شماتیک مدل سایت باند

در شکل ۱,۳ نشان داده شده است که واکنش تعادلی بین پروتون ها در محلول و گروه های هیدروکسیل در حدفاصل محلول – SIO_2 می تواند تشکیل شود. مکانیسم مرتبط برای بار سطح اکسید، به وسیله مدل سایت باند می تواند توصیف شود که تعادل بین سایت های سطح آمفوتر SiOH و یون های H^+ در محلول را بیان می کند.

واکنشها این گونه هستند :

$$\mathbf{SiOH \leftrightarrow SiO^- + H^+}$$
$$\mathbf{SiOH_2^+ \leftrightarrow SiO^- + H^+}$$

H^+ نشان دهنده پروتون در توده محلول است. از این واکنش های شیمیایی مشخص می شود که یک سایت سطح هیدروکسیل خنثی می تواند با یک پروتون از محلول پیوند برقرار کند و یک سایت مثبت را ایجاد کند. همچنین پروتون را به محلول نیز می تواند بدخد و یک سایت منفی را در سطح اکسید ایجاد کند. به همین منظور این سایت ها را سایت های آمفوتریک می نامند.

انتخابگری و حساسیت شیمیایی در ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون کاملا به وسیله خواص حد فاصل الکترولیت – عایق کنترل می شود. دیگر مواد معدنی در مدخل

(Gate) برای اندازه گیری pH، مثل Al_2O_3، SI_3N_4 و Ta_2O_5 نسبت بـه SiO_2 سـیگنال بهتـری برای pH، و خواص بهتـری بـرای عقـب افتـادگی سـیگنال (Hystersis)، و تغییـر نـاخود آگـاه سیگنال (Drift) را دارند. در عمل این لایه ها روی سطح لایه اول، از SiO_2 بوسیله پوشش دهـی بخار شیمیایی (CVD) قرار داده می شوند.

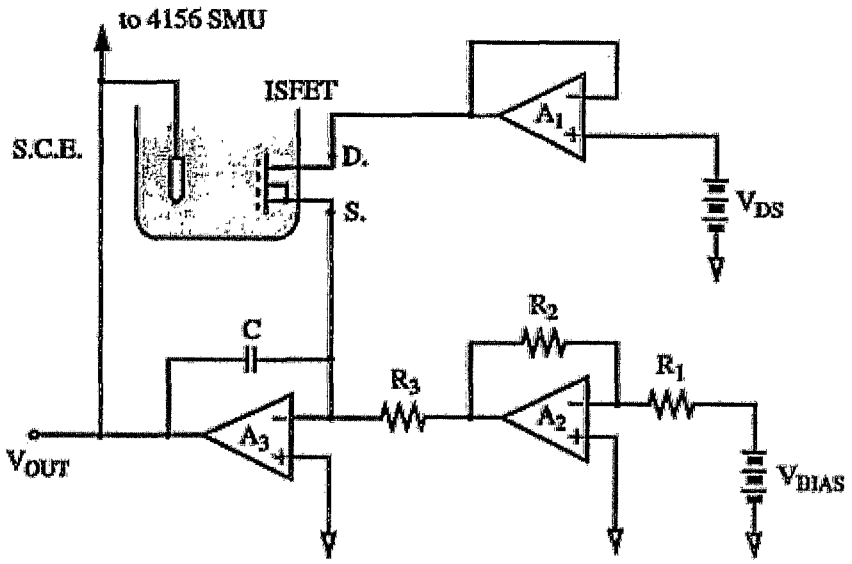
۶,۱- مبنای عملکرد ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون

مبنای عملکـرد ترانزیـستورهای اثـر میـدانی حـساس بـه یـون، مـشابه بـا دیگـر سنـسورهای پتانسیومتری می باشد.ترانزیستورهای اثر میدانی حساس بـه یـون از یـک پتانـسیل الکتریکـی مرتبط با تعداد یون ها در محلول استفاده می کنند که این پتانـسیل زمـانی کـه یـون هـای در محلول بتوانند با غشا تبادل برقرار کنند ایجاد می شوند. بنـابراین زمـانی یـک غلظتـی از یـون هایی که غشا به آن حساس است وجود دارد، بسیاری از یون در روی سـطح مـدخل جمـع مـی شوند و باعث تقویت کانال می شوند. و این عملکرد باعث ایجاد ولتاژ بر روی سطح مـدخل مـی شود.

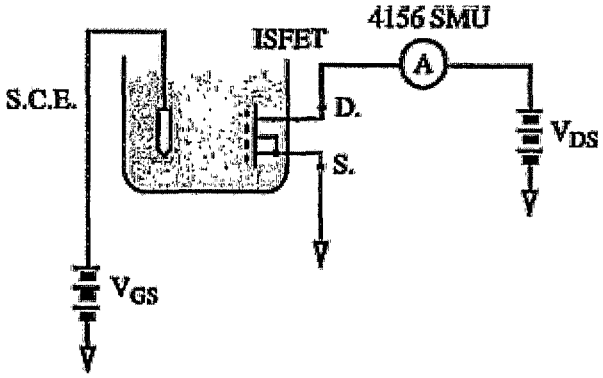
۷,۱- مدهای ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون

یک مدار نوعی که برای اندازه گیری بوسیله ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یـون طراحـی شده است، در اصل یک تقویـت کننـده بـرای ان اسـت کـه بـه عنـوان follower بـرای منبـع (Source) و تخلیه (Drain) شناخته شده است.

ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یـون بـه دو صـورت (mode) کـار مـی کننـد. در نـوع feedback، جریان تخلیه به وسیله اعمال یک ولتاژ جبران کننده به مدخل از جانب محلول (بـا استفاده از الکترود مرجع دو اتصالی کالومل) ثابت نگه داشته می شود، که در شکل ۱,۴ نـشان داده شده است. به صورت ایده آل تغییر در این ولتاژ feedback معرفـی از سـیگنال ترانزیـستور اثر میدانی حساس به یون به تغییر در غلظت یون ها می باشد، و در مورد بعدی یک ولتاژ ثابـت می تواند به الکترود مرجع با استفاده از یک منبع تغذیه جریـان مـستقیم اعمـال شـود، کـه در شکل ۱,۵ نشان داده شده است. در این مورد سیگنال ترانزیستور اثـر نیـدانی حـساس بـه یـون بوسیله تغییر در جریان تخلیه مشخص می شود.



شکل ۱,۴- مدار استفاده شده در feedback mode



شکل ۱,۵ – مدار به کار رفته برای مشخص کردن drift در ISFET با یک ولتاژ اعمال شده ثابت به الکترود مرجع

۸,۱ - ساخت ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون

ترکیب کردن ترانزیتور اثر میدانی حساس به یون که به pH حساس باشد و مدار الکترونیکی آن نیاز به تکنولوژی CMOS دارد.به هر حال یک پدیده پیچیده نیست.مهمترین مشکل این

است که در یک ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون استاندارد، فقط نواحی عایق روی سطح مدخل باید در تماس با محلول قرار گیرد.در فرایند CMOS یک الکترود سیلیکونی پلی کریستال (پلی سیلیکونی) در ناحیه مدخل نیاز است تا اینکه منبع و مدخل برای ترانزیستورهای سیلیکونی اکسید فلزی ترکیب شود. این به آن معنی است فرایند های خاص یا ساختارهای طراحی شده باید استفاده شود تا اینکه ترانزیستورهای اثر میدانی حساس به یون در یک فرایند CMOS ساخته شود. اولین مورد این است که از فرایندهای CMOS با مراحل ISFET استفاده کنیم چون که مزایایی دارد. طراحی سیستم به مقدار زیادی می تواند ساده شود. اگر که یک فرایند صنعتی با استفاده از CMOS استفاده شود، که در این مورد یک محیط به خوبی طراحی شده به کار می رود.

برای بدست آوردن نواحی Source و Drain دریک ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون با استفاده از فرایند CMOS، یک الکترود پلی سیلیکونی می بایست در ناحیه Gate نگه داشته شود.اگر که یک لایه حساس به pH عایق روی سطح پلی سیلیکون قرار داده شود یک ترانزیستور اثر میدانی با عملکرد قابل قبول بدست می آید. و به همین دلیل است که یک ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون به صورت بالقوه یک الکترود انتخابگر یون بر مبنای عملکرد ترانزیستور اثر میدانی است. با استفاده از این مفاهیم یک ساختار ترانزیستور اثر میدانی حساس به یون با gate بزرگ به دست می آید که در آن یک لایه حساس شیمیایی بر روی یک فلز که آن فلز به وسیله یک میله فلزی بر روی gate یک MOSFET قرار گرفته است.

۹,۱- ویژگی های یک الکترود انتخابگر یون

خواص یک الکترود انتخابگر یون به وسیله پارامترهای زیر توصیف می شود.

۱,۹,۱- انتخابگری :

انتخابگر بودن یک ویژگی بسیار مهم یک الکترود است که اغلب یک پارامتر تعیین کننده است که آیا یک اندازه گیری بر روی نمونه قابل انجام است یا خیر.ضریب انتخابگری K_{xy} ، در معادله Nikolski – Eisenmen وارد شده است. اغلب اوقات به صورت لگاریتم K_{xy} تعریف می شود.

مقادیر منفی نشان دهنده ترجیح برای یون مورد نظر نسبت به گونه مزاهم است. ضریب انتخابگری عملا وابسته به فعالیت و روش اندازه گیری است.روش های متفاوت برای مشخص

کردن انتخابگری در مقاله ها یافت مـی شـود. IUPAC دو روش را پیـشنهاد مـی کنـد: روش Separate Solution و روش Fixed interference method (FIM). یک روش جـایگزین بـرای اندازه گیری انتخابگری وجود دارد که Matched potential method نامیده می شود. هر کـدام از این ها مزایا و معـایبی دارنـد و هـیچ روش کلـی یـرای بدسـت آوردن نتـایج درسـت وجـود ندارد.این روشها که بوسیله IUPAC پیشنهاد می شود، تخـت یـک فرضـیات و احتیـاط هـایی نتایج قابل قبولی را بدست خواهد داد.

۲,۹,۱- شیب

برای شیب، قسمت خطی نمودار کالیبراسیون الکترود مورد نظر است. مقـدار تئـوری، بـر طبـق معادله نرنست برابـر بـا $mV/log(a_x)$ ۵۹,۱۶ در دمـای K ۲۹۸ بـرای یـون تـک بـار یـا اینکـه $mV/log(a_x)$ ۲۹,۵۸ برای یون های دو مرتبه می باشـد. یـک شـیب خـوب و مفیـد در حـدود $mV/log(a_x)$ ۵۰-۶۰ می باشد. ($mV/log(a_x)$ ۲۵-۳۰ برای یون های دو مرتبه می باشـد).بـه هر حال در کاربردهای خاص مقادیر شیب الکترود، نشان دهنده کارا بودن یا نبودن آن نیست.

۳,۹,۱- محدوده خطی سیگنال

در محدوده فعالیت های خیلی کم و ز یاد، انحرافاتی از خطـی بـودن مـشاهده مـی شـود.نوعـا، منحنی کالیبراسیون الکترود، نشان دهنده محدوده خطی بین M $۱۰^{-۵}$ تا M $۱۰^{-۱}$ می باشد.

۴,۹,۱- حد تشخیص

بر طبق توصیه های IUPAC، حد تشخیص برابر با تقاطع خط های مماس شده بـر دو قـسمت خطی نمودار است.به طور عملی، حد تشخیص، برای بسیاری از الکترودهـای انتخـابگر یـون، در محدوده M $۱۰^{-۶}$- $۱۰^{-۵}$ می باشد. حدتشخیص مشاهده شده به وسیله حضور ناخالصی هـا و دیگـر مواد مزاهم تحت تاثیر قرار می گیرد. به عنوان مثال اگر که بافرهای فلزی را به کـار بـریم مـی توانیم اثرهای آلودگی سـرب را در محلولهـای خیلـی رقیـق حـذف کنـیم و ایـن گونـه میـزان حدتشخیص M $۱۰^{-۱۰}$ نیز برای ما ممکن می شود.

۵,۹,۱- زمان پاسخگویی

در توصیه های اولیه IUPAC، زمان پاسخگویی به عنوان زمانی تعریف میشود که از لحظه وارد کردن الکترود انتخابگر یون و الکترود مرجع در درون محلول قرار می گیرد تا زمانی که میزان پتانسیل به حلت پایا برسد، یا اینکه مقدار پتانسیل به ٪۹۰ مقدار نهایی خودش برسد (در موارد خاص ٪۶۳ یا ٪ ۹۵). این تعریف می تواند به صورت گسترده بیان شود تا اینکه به مفهوم dirft در سیستم برسیم. در این مورد زمان ثانویه زمانی است که شیب EMF/time برابر با مقدار نهایی شود. به هر حال به این نکته باید توجه شود که با یک زمان تک نمی توان تابع سیگنال الکترود را تعریف کرد.علاوه برآن در بسیاری از کارها، زمان پاسخگویی را در کل سیستم اندازه گیری به دست می آورند، که بر روی زمان پاسخدهی الکترود انتخابگر یون موثر است.

۱۰,۱- ویژگیهای جریان و ولتاژ ترانزیستورهای اثر میدانی

ویژگی های هر ترانزیستور به وسیله رسم منحنی I_{DS} بر حسب V_{DS} در مقادیر مختلف V_{GS} مشخص می شود. به عنوان مثال، ویژگی های ترانزستور از نوع اثر میدانی در شکل ۱,۶ نشان داده شده است

همان گونه که در شکل توصیف شده است زمانی که V_{DS} برابر با صفر است میزان I_{DS} تقریبا برابر با صفر است و با افزایش V_{DS}، مقدار I_{DS} افزایش پیدا می کند.