

# آموزش ابزار دقیق مهندسی پزشکی

## فصل دوم: الکترودهای پتانسیل حیاتی

دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی \_ گروه مهندسی پزشکی

مدرس: سوسن پورامینائی

## الکتروود



برای اندازه گیری و ثبت پتانسیل‌هایی که در بدن انسان وجود دارد نیاز به واسطه داریم.

الکتروود چیست؟



- تبدیلی است که جریان بدن را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند.
- این تبدیل در نزدیکی سطح الکتروود صورت می‌گیرد.
- جریان داخل بدن توسط یون‌ها می‌باشد.
- تفاوت جریان داخل بدن و سیم

## الکترولیت

برای تبدیل جریان های یونی در بدن به جریان الکتریکی در الکترودها نیاز به واسطه‌ای داریم.



انواع الکترولیت:

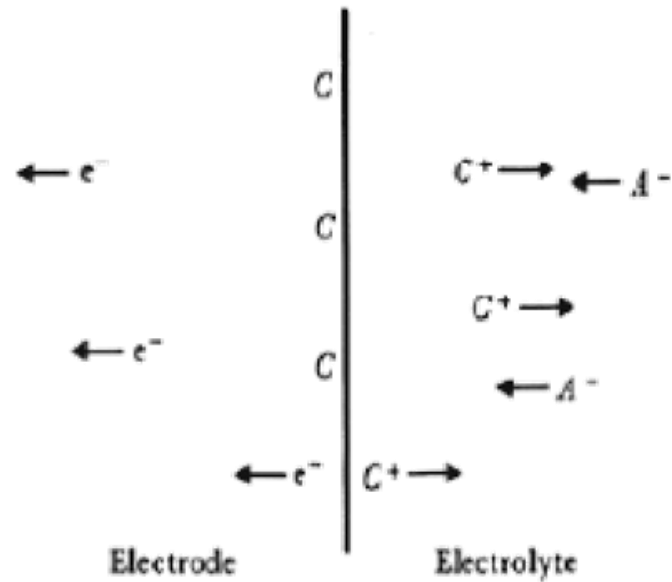


- ژل هادی مانند آب نمک، ژل KCl، ماده ژلاتینی
- چسب هادی پودر فلز یا پودر کربن

بعد از استفاده الکترودها بایستی ژل روی الکترودها کاملاً تمیز شود.



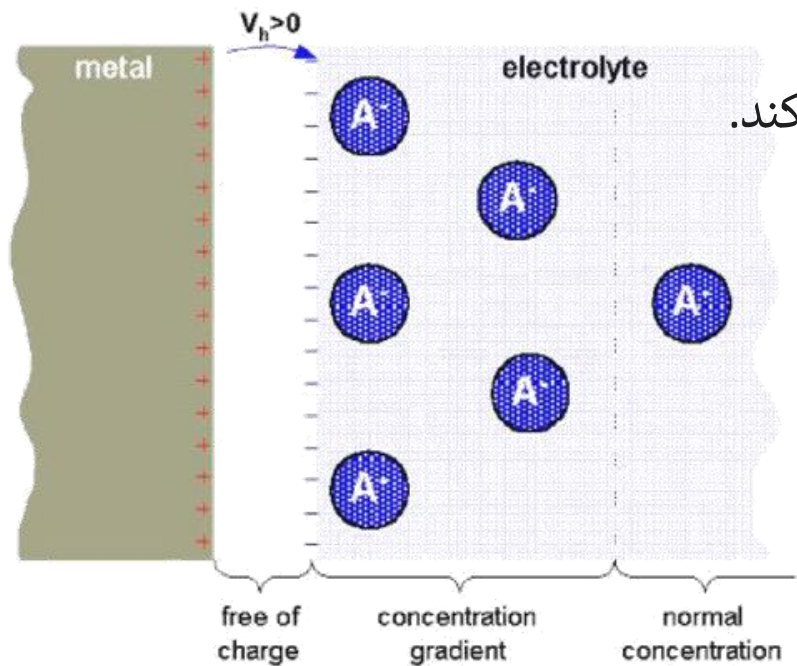
## واسطه الکتروود - الکتروولیت



- طبق رابطه اکسیداسیون یونهای فلز الکتروود (کاتیونها) ( $C^+$ ) در الکتروولیت غوطه‌ور شده و الکترون ( $e^-$ ) در فلز باقی می‌ماند.
- همچنین رابطه احیا آنیون ها ( $A^-$ ) را به اتم خنثی تبدیل می‌کند.
- جهت جریان از سمت الکتروود به سمت الکتروولیت است.

## پتانسیل نیم پیل

- وقتی یک الکترود فلزی در الکترولیتی غوطه ور می شود بعضی از الکترون های آن وارد محلول شده و جدا شدن این الکترون ها از فلز باعث تجمع بار مثبت در سطح الکترود و یون های منفی در الکترولیت می شود.



- این تجمع بارهای الکتریکی اختلاف پتانسیلی را به نام پتانسیل نیم پیل ایجاد می کند.

## فراولتاژ

پتانسیل نیم‌پیل در هنگام عبور جریان تغییر می‌کند.

ولتاژ اضافه ایجاد شده در هنگام عبور جریان نسبت به ولتاژ نیم‌پیل اولیه را فراولتاژ می‌نامند.

## فراولتاژ

### انواع فراولتاژ:

- اهمی: تغییر ولتاژ به دلیل وجود مقاومت در مسیر الکتروودالکتروولیت.
- غلظتی: در اثر عبور جریان بین الکتروود و الکتروولیت، غلظت یون ها تغییر می کند و پتانسیل را تغییر می دهد.
- فعالیتی: غالب شدن یکی از فرایندهای اکسیداسیون باعث ایجاد اختلاف ولتاژ می شود.

## عوامل تخیردهنده پتانسیل نیم‌پیل

$$V_P = V_r + V_c + V_a$$

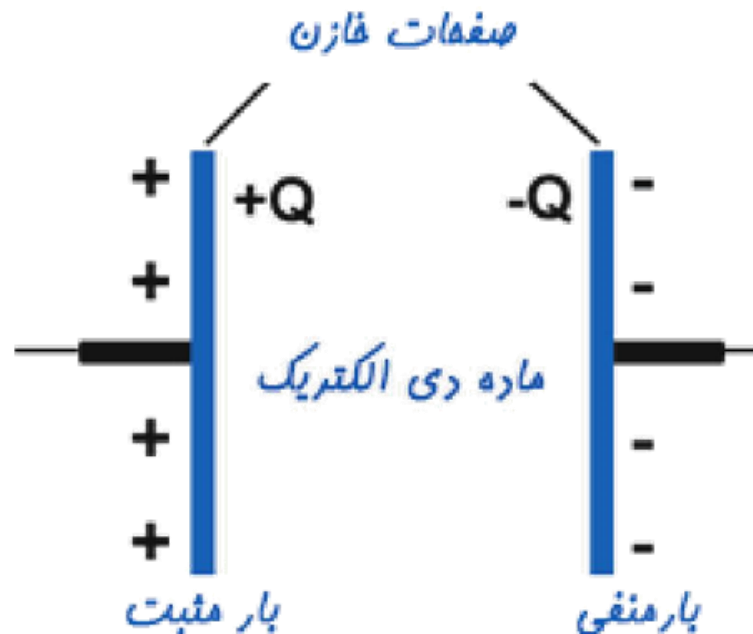
$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln(a_{c^{n+}})$$

فراولتاژ

دما

میزان فعالیت یون ها

## الکترودهای قابل پلاریزه



الکترودهایی هستند که در هنگام برقراری جریان عملاً هیچ باری از حد فاصل بین الکترودها و الکترولیت عبور نمی‌کند و جریان‌های عبوری از حد فاصل جریان‌های جابه‌جایی (مشابه خازن) می‌باشند.

الکترودهایی از جنس طلا، نقره و پلاتین از این نوع هستند.

## الکتروود قابل پلاریزه



به چه دلیل ما با خازن الکترودهای قابل پلاریزه را مقایسه می‌کنیم؟

به این دلیل است که نوع مواد غیر فعال بوده و قابلیت یونیزاسیون ندارند. بنابراین عبور جریان غلظت یون‌ها را تغییر

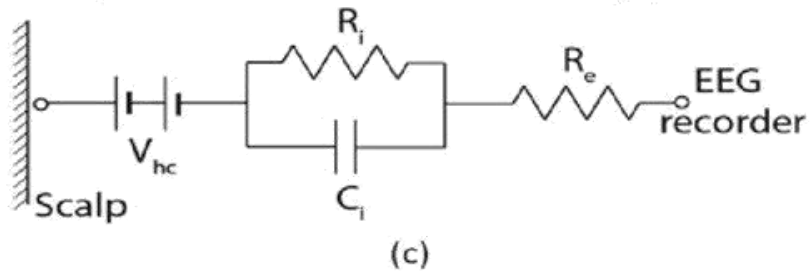
داده و تغییر ولتاژ را به وجود می‌آورد.

## الکترودهای غیر قابل پلاریزه



(a)

(b)



(c)

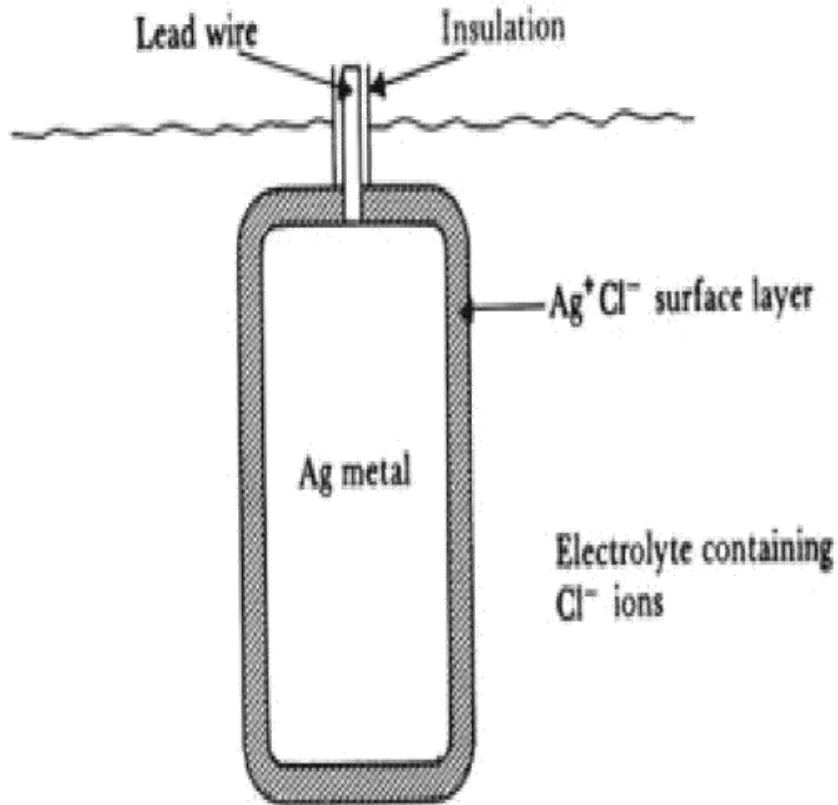
Ag/AgCl

جریان در اثر فرایندهای اکسیداسیون و احیا بین الکتروود و الکترولیت به طور آزادانه عبور می‌کند. بدون آنکه برای انتقال نیاز به مصرف انرژی داشته باشد.



جریانهای فراولتاژی در این الکتروود وجود نخواهد داشت.

## الکتروود نقره کلرید نقره (Ag/AgCl)



- از نوع غیر قابل پلاریزه است.
- این الکتروود از یک صفحه نقره تشکیل شده است.
- روی صفحه نقره لایه‌ای از ترکیب یونی کلرید نقره است.
- محیط حاوی  $\text{Cl}^-$  اکسیداسیون و احیا رخ می‌دهد.

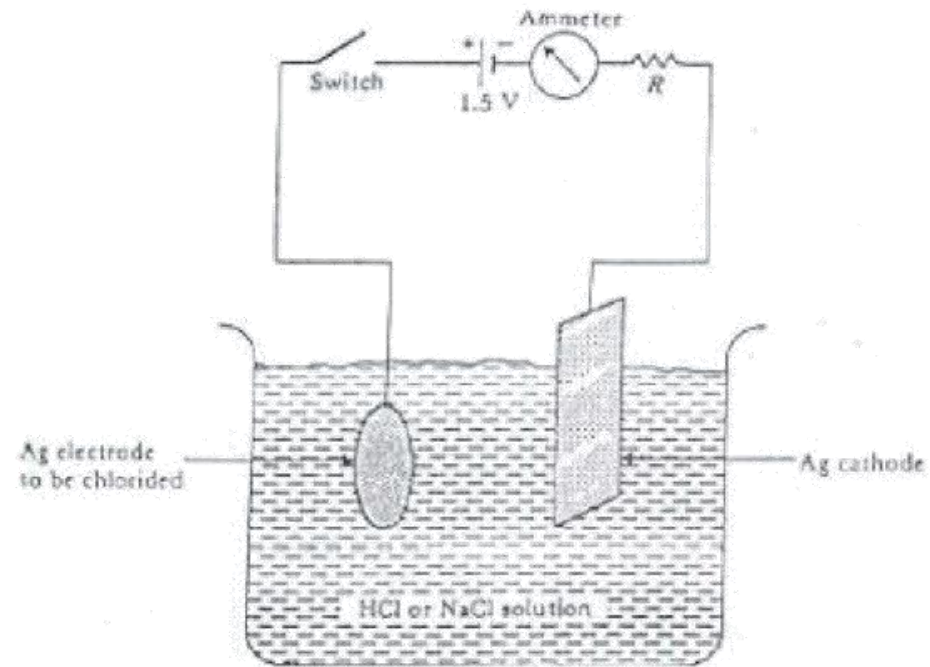
ویژگی‌های الکتروود نقره کلرید نقره (Ag/AgCl):

- کم‌نویز بودن
- کم بودن اثر آرتیفکت‌های حرکتی بر روی آن

## نحوه ساخت الکترود نقره کلرید نقره (Ag/AgCl)

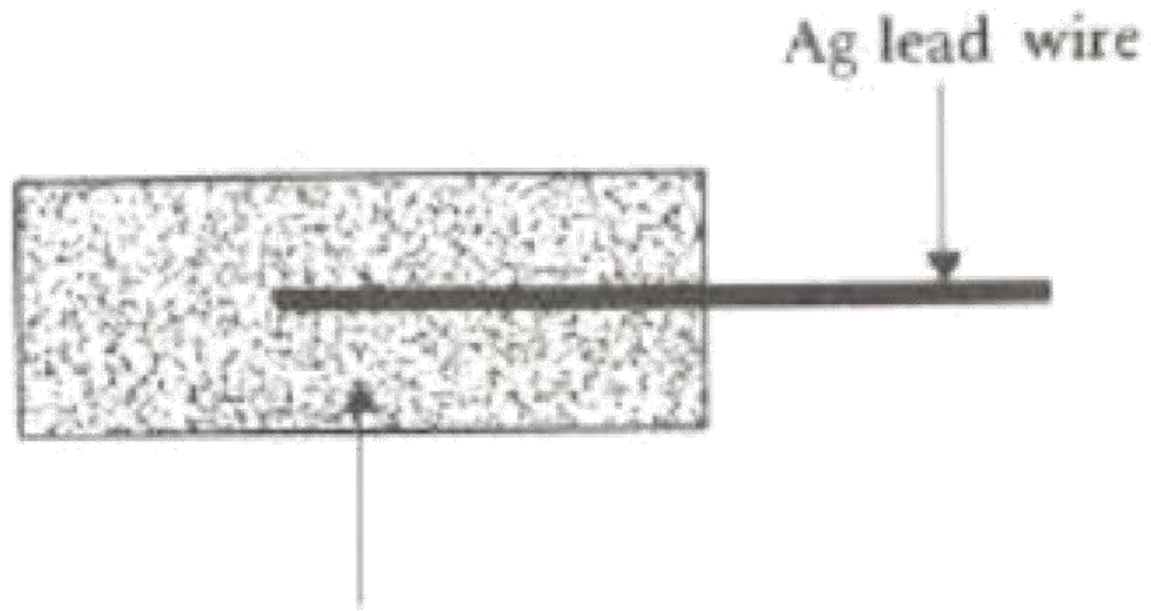
استفاده از مدار الکترونی

$$I = 100mA e^{-t/10}$$



## نمونه ساخت الکترود نقره کلرید نقره (Ag/AgCl)

استفاده از الکترودهای متخلخل



## دسته اول الکترودها از نظر شکل و نوع کاربرد

الکترودهای سطحی یا پوستی

- فلزی
- مکشی
- شناور
- قابل انعطاف
- خشک

## الکتروود صفحه فلزی



- بر اساس شکل ساخت برای ثبت ECG از روی سینه، EEG و EMG به کار می‌روند و از نوع نقره کلرید نقره هستند.
- در کلینیک‌ها از الکتروودهای یکبار مصرف که در داخل خود ژل دارند و روی آنها چسب‌هایی برای نصب الکتروود بر روی بدن وجود دارد، استفاده می‌شود.

## الکتروود مکشی

نیاز به نوار یا چسب برای نصب روی بدن ندارد.

به صورت گسترده در کلینیک برای ثبت ECG به عنوان لیدهای سینه‌ای به همراه ژل به کار می‌رود.

قسمت فلزی به صورت استوانه‌ای است که قاعده آن با پوست در تماس بوده و سیگنال‌های پوستی را دریافت می‌کند.

## الکتروده مکشی

این الکترودها در ثبت کوتاه مدت استفاده می‌شوند.

چون سطح تماس الکتروده با پوست کم است، امپدانس آن نسبت به الکترودهای صفحه فلزی بیشتر است.

قسمت فلزی الکتروده با روکش نقره/کلرید نقره ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ )



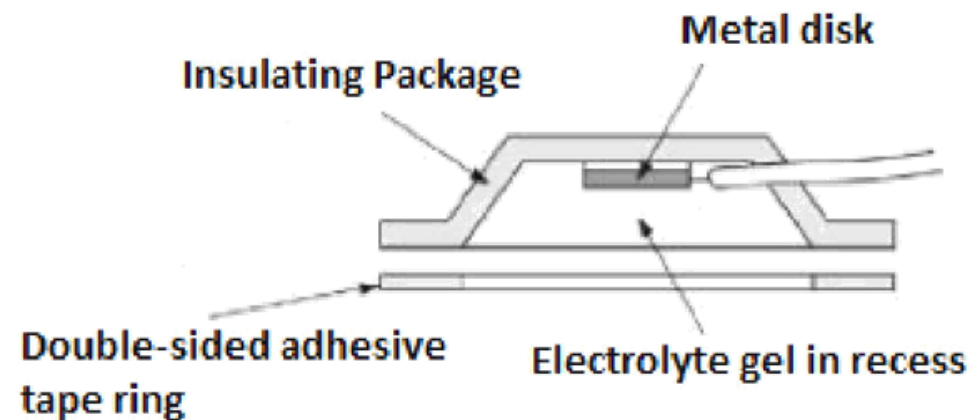
## الکتروود شناور

حفره الکتروود با خمیر KCl کاملاً پر می‌شود. این محلول نسبت به الکتروود حرکت مکانیکی ندارد.

ویژگی این الکتروود در این است که فلز الکتروود در حفره‌ای قرار داشته و هیچ تماس مکانیکی مستقیمی با پوست ندارد.

جنس فلز این الکتروودها از نوع نقره‌کلرید نقره است.

برای حذف کامل آرتیفکت‌های حرکتی نیاز به پایدارکردن شرایط مکانیکی الکتروود است.



## الکتروود قابل انعطاف

- چون سطح بدن شکل‌های غیر منظمی دارد، الکتروودهای با بدنه سخت نمی‌توانند سازگاری مناسبی را با تغییرات هندسی سطح بدن نشان دهند. در نتیجه اغتشاشات حرکتی بیشتری را ایجاد می‌کند.



## الکترودهای خشک



الکترودهای خشک بدون استفاده از الکترولیت به کار می‌روند.

نقش الکترولیت را عرق روی سطح پوست ایفا می‌کند.

در الکترودهای قبلی در کاربردهای دراز مدت الکترولیت خشک شده و خواص خود را از دست می‌دهد.

## دسته دوم الکترودها از نظر شکل و نوع کاربرد



الکترودهای ماتریسی: اندازه گیری توزیع های پتانسیل الکتریکی در اطراف ناحیه ای از یک اندام.

انواع الکترودهای ماتریسی:

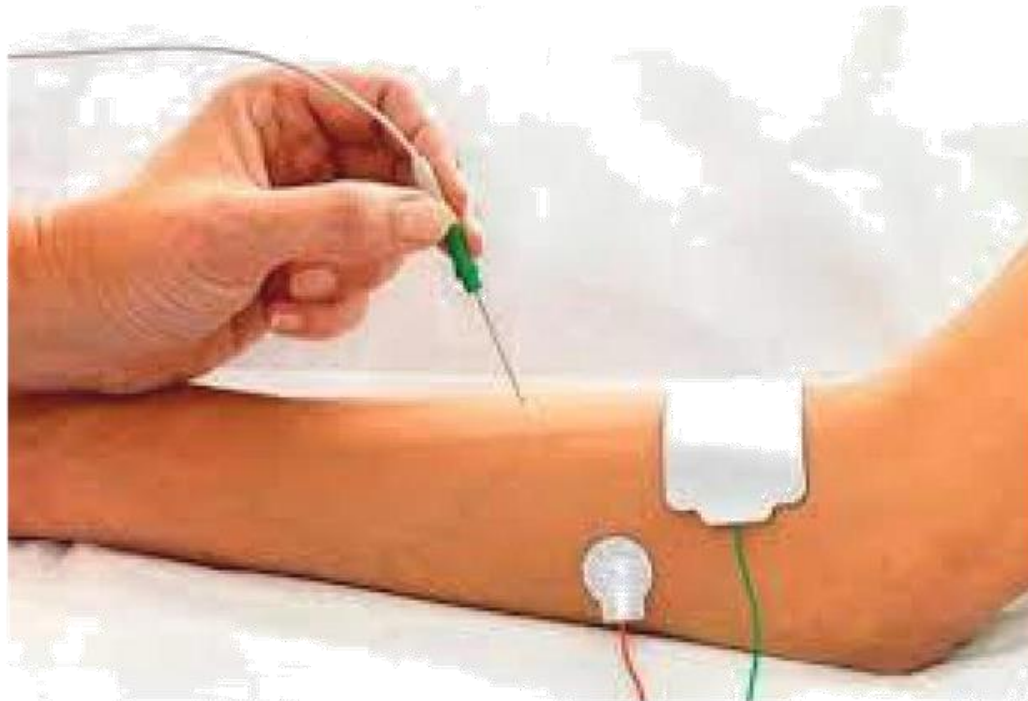
- الکترودهای تک بعدی
- الکترودهای دوبعدی
- الکترودهای سه بعدی

## دسته سوم الکترودها از نظر شکل و نوع کاربرد

### الکترودهای داخلی

- برداشت ولتاژهای زیر سطح پوست و نزدیک منابع بیوالکتریکی
- این الکترودها داخل بدن یا زیر پوست نصب می‌شوند.
- چون این الکترودها درون بافت‌های بدن فرو می‌روند و مایعات خارج سلولی وجود دارند، نیازی به استفاده از ژل الکترولیتی نیست.
- انتخاب آخر باید روش‌های تهاجمی باشد مگر نیاز ضروری باشد.

## انواع الکترودهای داخلی



الکترودهای سوزنی و سیمی برای ثبت ECG و EMG

جنین در طول بارداری ECG الکترودهای آشکارساز

الکترودهای قابل کاشت برای کاربرد رادیو تله متري

## دسته چهارم الکترودها از نظر شکل و نوع کاربرد

### میکروالکترودها

- برای اندازه گیری پتانسیل استراحت یا پتانسیل عمل استفاده می شود.

- این الکترودها باید نسبت به ابعاد سلول کوچک باشند تا از ایجاد صدمه جدی به سلول جلوگیری شود.

- همچنین بایستی از آلیاژهای محکم و قوی ساخته شود به طوری که بتواند غشای سلول را سوراخ کند و از لحاظ مکانیکی پایدار باقی بماند.

- قطر آنها بین پنج صدم تا ده میکرومتر است.

- امپدانس نوك آنها بین ۱۰ تا ۱۰۰ مگا اهم است.

## انواع میکروالکترودها

میکروالکترودهای فلزی

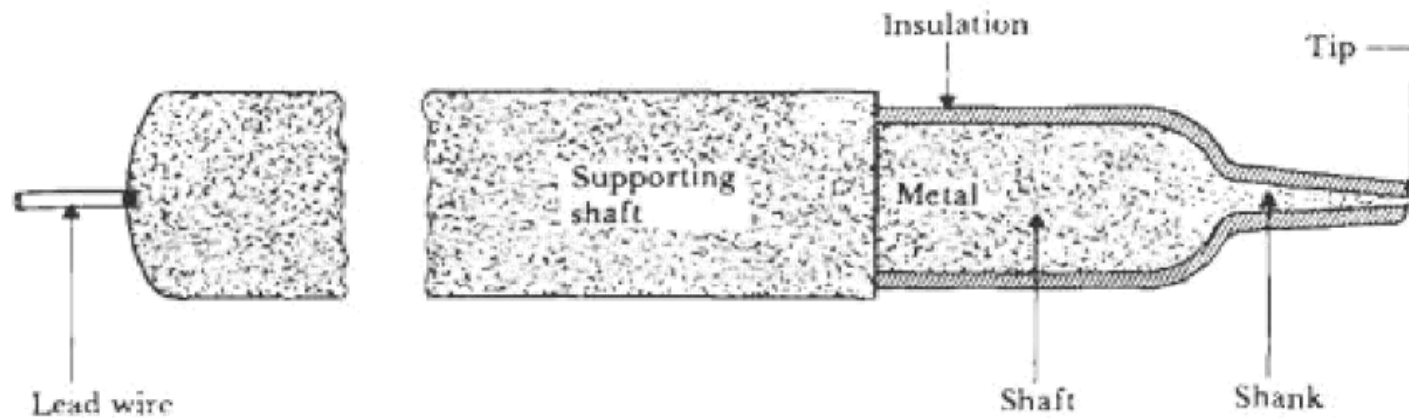
میکروالکترودهای فلزی پوشش داده شده

میکروالکترودهای میکروپیت

میکروالکترودهای مبتنی بر تکنولوژی میکروالکترونیک

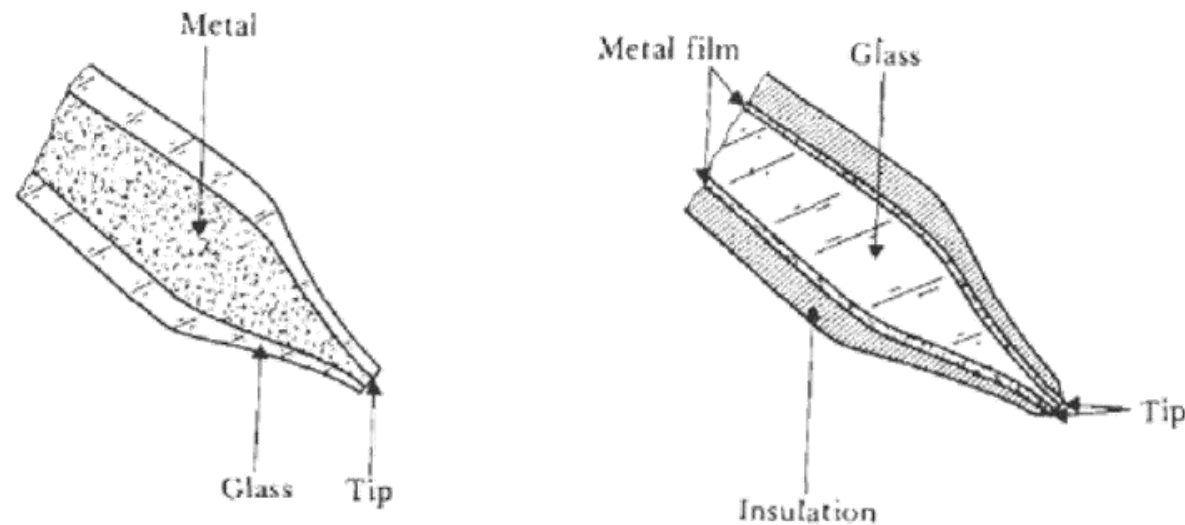
## میکروالکتروود فلزی

- میکروالکتروود از سوزنی باریک از جنس فلز عایق بندیشده ساخته شده است.
- جنس فلز آن ها از استیل ضدزنگ، لوله های پلاتینیومریدیم و تنگستن هستند.



## میکروالکتروود فلزی پوشش داده شده

- از خواص دو ماده مختلف در این نوع میکروالکتروود استفاده شده است.
- یک ماده عایق محکم که پوشش اصلی را تشکیل می دهد و یک فلز با ضریب هدایت الکتریکی خوب، قسمت داخلی و محل تماس الکتروود را تشکیل می دهد.



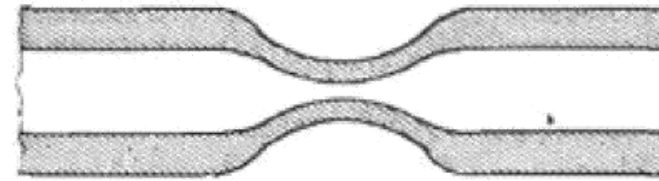
## میکروالکترومیکروپیپت

- این میکروالکترودها از لوله‌های باریک شیشه‌ای ساخته می‌شوند.
- ناحیه مرکزی این لوله‌ها گرم می‌شود تا کاملاً نازک شود و سپس به طور سریع کشیده می‌شود.
- در نیمه لوله، شیشه شکسته شده و الکترودهایی با قطر یک میکرومتر در نوک ساخته می‌شود.
- داخل لوله با محلول الکترولیتی KCL پر شده و الکتروود فلزی در انتهای ظرف درون KCL همراه با سیم رابط نصب می‌شود.
- الکتروود فلزی معمولاً از جنس نقره کلرید نقره، پلاتینیوم و گاهی استیل است.

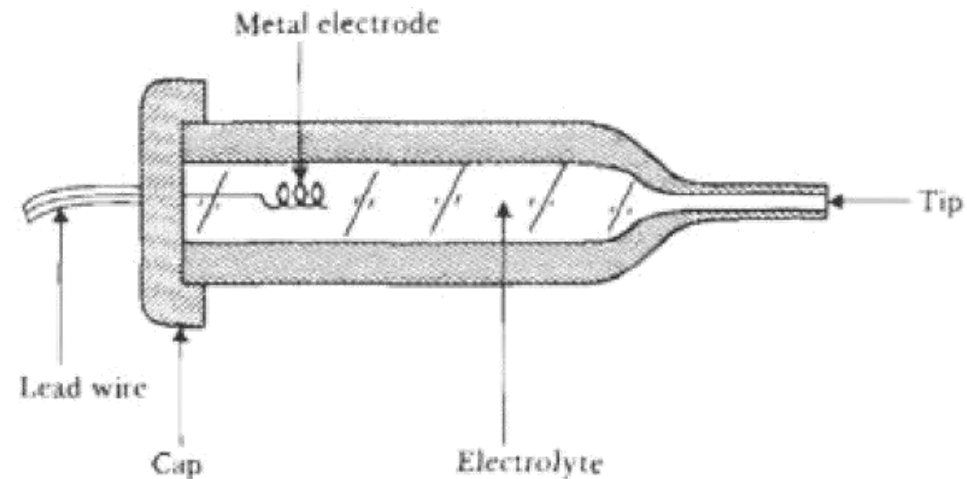
## یک میکروالکتروود میکروپیپت پرشده با محلول الکترولیتی



(a)

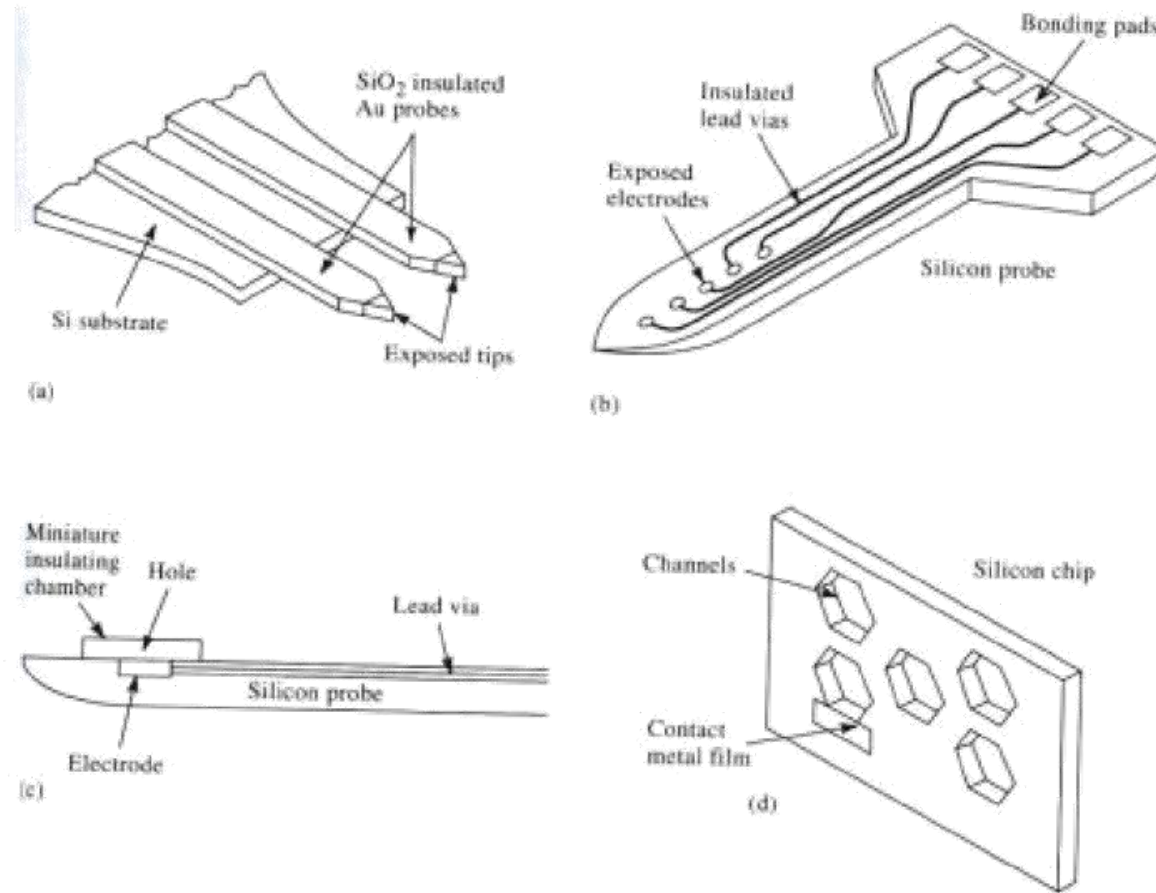


(b)

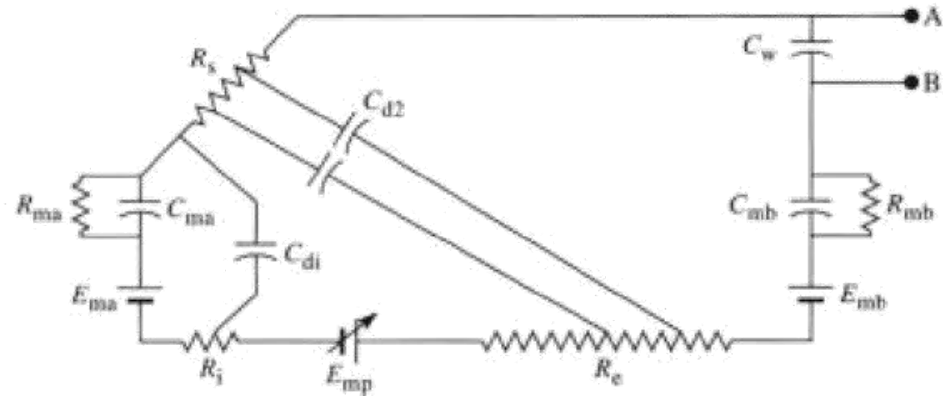


(c)

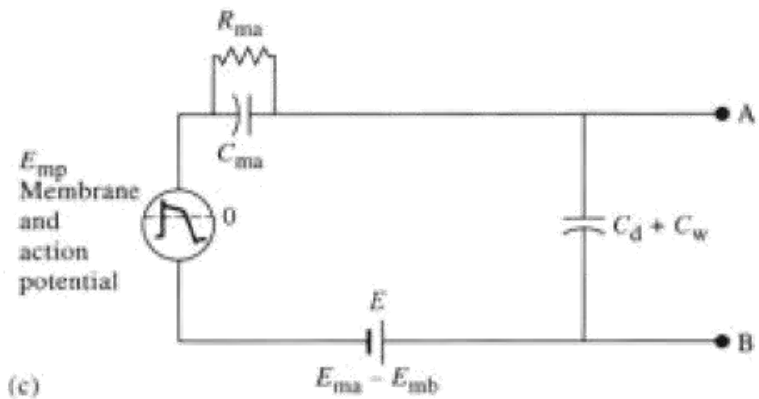
# میکروالکترون مبنی بر تکنولوژی میکروالکترونیک



## مدار معادل میکروالکترودهای فلزی

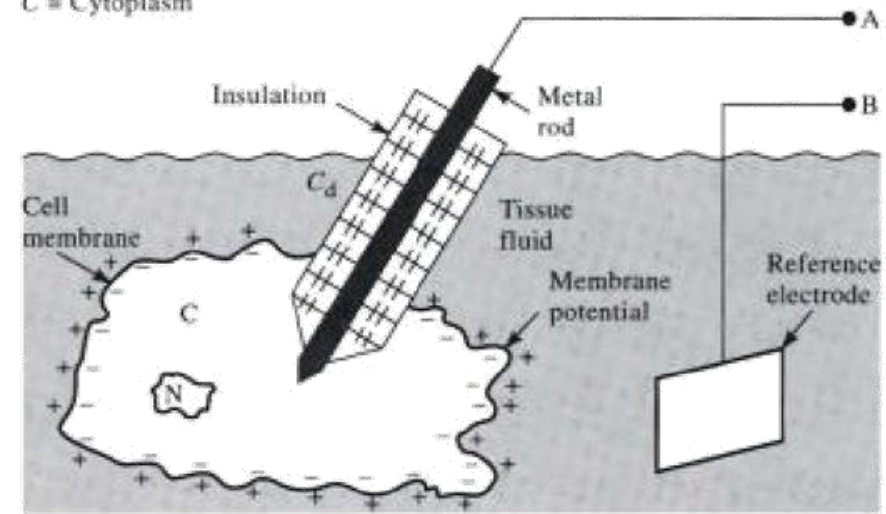


(b)



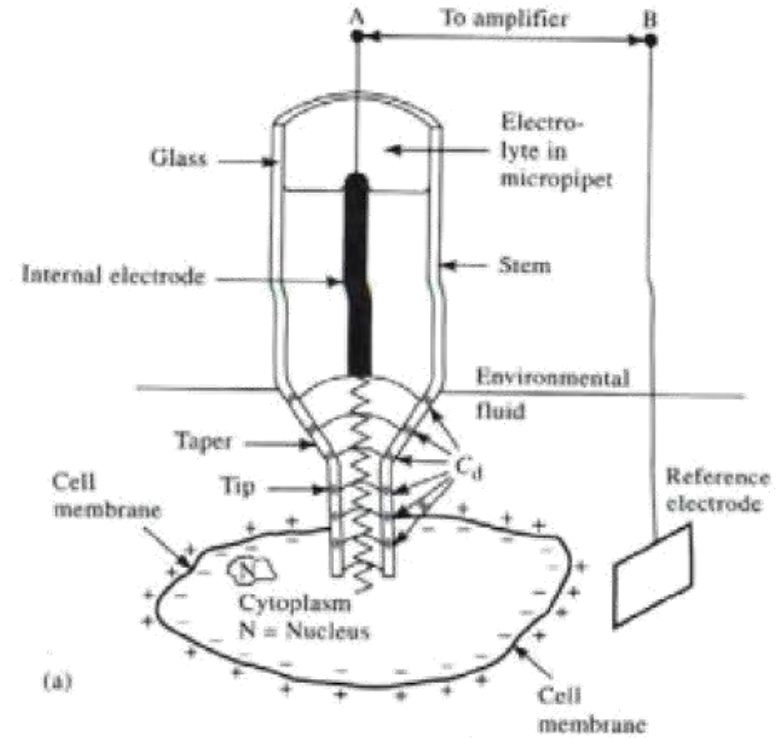
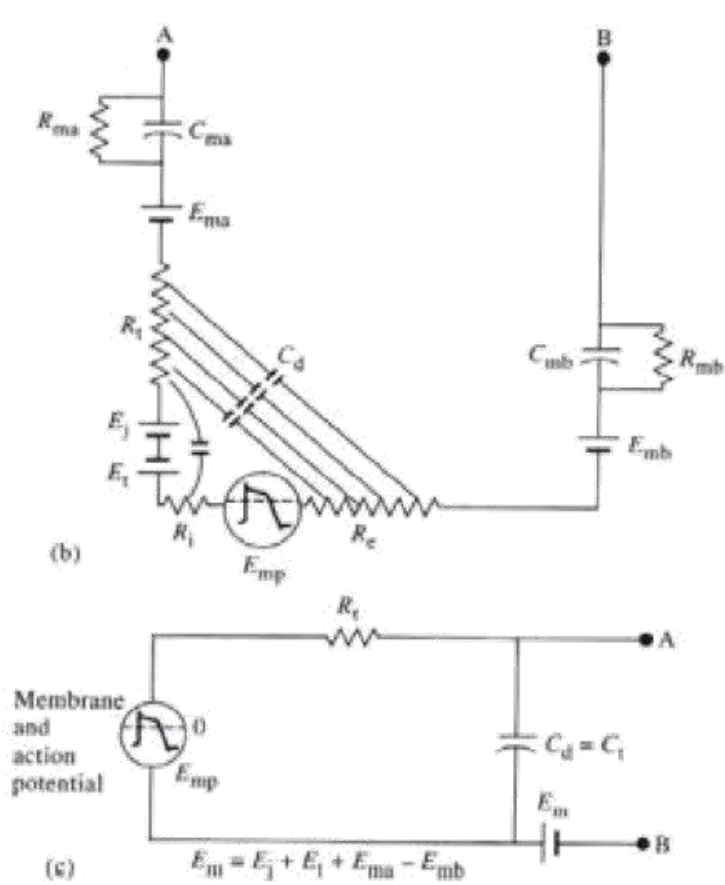
(c)

$N = \text{Nucleus}$   
 $C = \text{Cytoplasm}$



(a)

## مدار معادل میکروپپیت



## الکترودهای تمریک الکتریکی بافت

کاربردها:

- فیزیوتراپی
- ضربان سازهای قلبی (پیس میکر)
- محرك هاي الکتریکی عملکردی (FES) و الکتروشوک

## الکترودهای تمریک الکتریکی بافت

### محدوده تحریک

- جریان تحریک در حد چند میلی آمپر
- ولتاژ تحریک در حد چند ولت تا چند کیلوولت

از نظر نحوه طراحی مشابه الکترودهای ثبت پتانسیل‌های بیولوژیکی هستند.

معمولا از الکترودهای پلاریزه و از جنس فولاد ضدزنگ، یا فلزات گران بها ساخته می‌شوند.

## نکات عملی در استفاده از الکترودها

- استفاده از فلزهای مشابه در الکترودها
- بخش‌هایی از الکترودها که در تماس با پوست قرار می‌گیرند از یک جنس باشند.
- الکترودها بر روی بدن کاملاً ثابت شده باشند.
- امپدانس الکترودها پوست حداقل ممکن باشد.
- سیم‌های رابط انعطاف‌پذیر باشند.
- عایق سیم‌های رابط نفوذپذیری پایینی نسبت به الکترولیت داشته باشند.

