بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق– الکترونیک

ساخت ترانزیستورهای ارگانیک با عایق فروالکتریک، اتصالات فلزی و نانو لوله‌های کربنی

توسط:

میثم نجفی

استاد راهنما:

دکتر فرهاد اکبری برومند

آذرماه سال ۱۳۹۱

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: **میثم نجفی**

را با عنوان: **ساخت ترانزیستور ارگانیک با عایق فرو الکتریک، اتصالات فلزی و نانو لوله‌های کربنی**

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر فرهاد اکبری برومند	استادیار	
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن	دکتر صالحی	استاد	
۵- استاد ممتحن	دکتر فتحی پور	استاد	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر صالحی	استاد	

اظهارنامه دانشجو

اینجانب **میثم نجفی** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه با عنوان **ساخت ترانزیستورهای ارگانیک با عایق فروالکتریک، اتصالات فلزی و نانو لوله‌های کربنی** با راهنمایی استاد محترم جناب آقای **دکتر فرهاد اکبری برومند**، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضا دانشجو:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به مادر و پدر
عزیزتر از جانم

تشکر و قدردانی

در انجام این پروژه چه در مراحل آماده سازی و چه در مرحله‌ی ساخت از زحمات و تجارب بسیاری از اساتید و دانشجویان استفاده شده است. در مرحله اول از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرهاد اکبری برومند که در طول اجرای کار صبورانه به راهنمایی بنده پرداخته و به صورت پیوسته پیگیر پیشرفت پروژه بودند، تشکر کرده و آرزوی توفیق در تمام لحظات زندگی را از خدای منان برای ایشان خواستارم. در مرحله بعد از دانشجویان آزمایشگاه ادوات نیمه هادی چون آقای مهدی لاجوردی دانشجوی دکتری و آقای مهندس خادمی وخانم مهندس رئوف که در بخش‌های مختلف کار از راهنمایی آنها استفاده شده است، تشکر به عمل می‌آورم و آرزومندم که کیفیت این پروژه جوابی به زحمات آنها باشد.

چکیده

اکثر موارد کاربردی که در الکترونیک ارگانیک با آن روبرو هستیم، به یک حافظه غیر فرار نیاز دارد که بتوان آن را به صورت الکتریکی برنامه ریزی نمود، پاک کرد و خواند. حافظه‌های پلیمری، به عنوان محدوه‌ای ضروری در الکترونیک ارگانیک، در سال‌های اخیر از موضوعات فعال تحقیقاتی شده است، چراکه این ساختار احتمالا تکنولوژی جایگزین و مکمل تکنولوژی حافظه های معمول می‌باشد که با مشکلات فراوانی در حوزه کوچک سازی از ابعاد میکرو به نانو روبرو شده است. از میان ساختارهای متفاوت موجود برای حافظه‌های ارگانیک، حافظه هایی بر پایه ترانزیستورهای اثر میدان ارگانیک (OFET)، تکنولوژیی می‌باشد که پتانسیل محقق کردن وزن کم، هزینه پایین و محیطی انعطاف پذیر برای ذخیره بار را دارد. در این پروژه ما بر حافظه‌های غیر فرار ارگانیک با قابلیت برنامه ریزی مجدد متمرکز میشویم. به عنوان مقدمه‌ای بر بحث، انواع حافظه‌ها و ترانزیستورهای اثر میدان فروالکتریک غیر ارگانیک (FeFET) معرفی شده‌اند. فصل‌های بعدی مروری کامل بر مواد ارگانیک، نانو لوله‌های ارگانیک و ترانزیستورهای اثر میدان ارگانیک (OFET) ارائه می‌دهد. در ادامه ما تاکید ویژه‌ای بر ترانزیستورهای اثر میدان فروالکتریک ارگانیک (FerrOFET) خواهیم داشت. فرایند ساخت و پیش نیازهایی مانند مدارها و نرم افزاری که برای کنترل دستگاه‌های اندازه گیری نوشته شده است، مورد بحث قرار می‌گیرد. سرانجام ما نتایج حاصله را با هم مقایسه کرده، نتیجه گیری می‌کنیم و پیشنهادات مختلفی را برای کارهای آینده ارایه خواهیم داد.

کلید واژه: حافظه فروالکتریک، ترانزیستور ارگانیک، حافظه غیرفرار، عایق فروالکتریک ارگانیک.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها	**ج**
فهرست شکلها	**د**
فصل اول: حافظه و فروالکتریسیته	**۱**
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- مفاهیم پایه	۴
۱-۲-۱- حافظه الکترونیکی چیست	۴
۱-۲-۲- نیاز به سرعت دلیلی بر وجود حافظه‌های متنوع	۴
۱-۲-۳- انواع حافظه‌های الکترونیکی	۵
۱-۲-۴- حافظه RAM	۷
۱-۲-۵- مبانی حافظه RAM	۷
۱-۲-۶- حافظه ROM	۹
۱-۲-۷- مبانی حافظه ROM	۹
۱-۲-۸- تاریخچه‌ای مختصر از فروالکتریک‌های ارگانیک	۱۰
۱-۳- فروالکتریسیته	۱۲
۱-۳-۱- مقدمه	۱۲
۱-۳-۲- گشتاور دو قطبی	۱۲
۱-۳-۳- قطبش	۱۴
۱-۳-۴- قطبش سوییچینگ	۱۶
۱-۳-۵- اندازه‌گیری قطبش	۱۸
۱-۴- خلاصه	۱۹
فصل دوم: مواد ارگانیک	**۲۰**
۲-۱- مقدمه	۲۱
۲-۲- نیمه هادی‌های ارگانیک	۲۱
۲-۳- عایق‌های ارگانیک	۲۵
۲-۳-۱- عایق‌های فروالکتریک ارگانیک	۲۵
۲-۴- نانولوله‌های کربنی	۲۷
۲-۴-۱- نانولوله‌های کربنی تک دیواره	۲۸
۲-۴-۲- نانولوله‌های کربنی چند دیواره	۲۸
۲-۴-۳- روش‌های تولید	۲۹
۲-۴-۳-۱- شیوه‌ی دشارژ قوس الکتریکی	۲۹
۲-۴-۳-۲- فرایند ایجاد سایش با لیزر	۳۰
۲-۴-۳-۳- لایه نشانی به روش تبخیر شیمیایی	۳۰
۲-۵- خلاصه	۳۱
فصل سوم: ترانزیستورهای لایه نازک ارگانیک	**۳۲**
۳-۱- مقدمه	۳۳

۳-۲- مواد بکار رفته در ترانزیستورهای ارگانیک ۳۸
۳-۲-۱- زیرلایه‌ها ۳۸
۳-۲-۲- الکترودها ۳۸
۳-۲-۳- لایه‌ی نیمه‌هادی ۳۹
۳-۲-۴- لایه‌ی عایقی ۴۲
۳-۳- برخی از مولفه‌های عملکردی یک قطعه OFET ۴۳
۳-۳-۱- تحرک پذیری اثر میدان ۴۳
۳-۳-۲- مدلاسیون جریان ۴۶
۳-۳-۳- سوییِنگ زیر آستانه ۴۶
۳-۴- خلاصه ۴۷
فصل چهارم: ترانزیستورهای فروالکتریک ارگانیک **۴۸**
۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- پارامترهای مورد استفاده برای توصیف حافظه‌های OFET ۴۹
۴-۳- حافظه‌های OFET با گیت شناور ۵۰
۴-۴- حافظه‌های OFET بر اساس خاصیت فروالکتریک ۵۳
۴-۵- خلاصه ۵۵
فصل پنجم: ساخت مدار مورد نیاز و نوشتن نرم‌افزار جهت کنترل تجهیزات اندازه‌گیری دقیق **۵۶**
۵-۱- مقدمه ۵۷
۵-۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری و منابع تغذیه ۵۸
۵-۳- مدار تقویت کننده ۶۰
فصل ششم: ساخت ترانزیستور و اندازه‌گیری مشخصه‌ها **۶۲**
۶-۱- مقدمه ۶۳
۶-۲- ساخت ترانزیستور ۶۳
۶-۳- اندازه‌گیری مشخصه‌ها و محاسبه پارامترها (اتصال بالای فلزی) ۷۰
۶-۴- اندازه‌گیری مشخصه‌ها و محاسبه پارامترها (اتصال پایین فلزی و نانولوله‌ای) ۷۶
۶-۵- اعمال سیگنال متناوب به ترانزیستور ۷۹
۶-۶- خلاصه ۸۰
فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها **۸۲**
۷-۱- نتایج حاصله در این پایان نامه ۸۳
۷-۲- پیشنهادهایی برای کارهای آینده ۸۵
پیوست شماره ۱: کد برنامه کنترل تجهیزات اندازه‌گیری **۸۷**
فهرست مراجع **۹۳**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول شماره ۳-۱) مقایسه‌ی نیمه‌هادی‌های قطعات ارگانیک و غیر ارگانیک	۳۳
جدول شماره ۳-۲) تحرک پذیری و نسبت جریان روشن به خاموش اندازه‌گیری شده‌ی برای نیمه‌هادی‌های ارگانیک	۴۰
جدول شماره ۳-۳) تحرک پذیری گروه Acene	۴۰
جدول شماره ۳-۴) مواد عایق مورد استفاده برای ترانزیستورهای لایه نازک ارگانیک	۴۲
جدول شماره ۷-۱) مقایسه پارامترهای دو نوع ترانزیستور با معماری اتصال پایین	۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل شماره ۱-۱) مدارهای منطقی چاپ شده مورد استفاده برای RFID	۳
شکل شماره۱-۲) دسته‌بندی حافظه‌های الکترونیکی	۶
شکل شماره ۱-۳) نمونه‌ای از کاربرد RFID	۶
شکل شماره ۱-۴) ساختار شیمیایی ماده PVDF	۱۱
شکل شماره ۱-۵) ساختار شیمیایی ماده PVK	۱۱
شکل شماره ۱-۶) ساختار شیمیایی ماده Sexithiophene	۱۲
شکل شماره ۱-۷) گشتاور دوقطبی	۱۲
شکل شماره ۱-۸ (الف)) یک ساختار غیر قطبی به شکل چهار وجهی	۱۳
شکل شماره ۱-۸ (ب)) یک ساختار قطبی به شکل چهار وجهی	۱۳
شکل شماره ۱-۹) راستاهای اصلی محورهای مکعب (سلول) واحد کریستال	۱۴
شکل شماره ۱-۱۰) گشتاورهای دوقطبی در دامنه‌های یک ماده	۱۵
شکل شماره ۱-۱۱) دامنه‌های یک دانه	۱۵
شکل شماره ۱-۱۲ (الف)) نمودار انرژی آزاد ماده در میدان الکتریکی صفر	۱۶
شکل شماره ۱-۱۲ (ب)) قطبش به سمت چپ	۱۶
شکل شماره ۱-۱۲ (ج)) قطبش به سمت چپ موجب اصلاح پروفایل انرژی می‌شود	۱۷
شکل شماره ۱-۱۲ (د)) سوییچ گشتاور دو قطبی	۱۷
شکل شماره ۱-۱۳ (الف)) اعمال میدان به ماده‌ای با قطبش ذاتی	۱۷
شکل شماره ۱-۱۳ (ب)) با رسیدن ساختار پلاریزه به سمت دیگر، ساختار شروع به عریض شدن می‌کند	۱۸
شکل شماره ۱-۱۴) مدار کلاسیک Sawyer-Tower	۱۸
شکل شماره ۲-۱ (الف)) راستای لایه نشانی مولکول‌های پنتاسین	۲۲
شکل شماره ۲-۱ (ب)) راستای لایه نشانی مولکول‌های P3HT	۲۲
شکل شماره ۲-۲) نیمه‌هادی‌های ارگانیک نوع-p	۲۳
شکل شماره ۲-۳) نیمه‌هادی‌های ارگانیک نوع-n	۲۴
شکل شماره ۲-۴) عایق‌های ارگانیک	۲۴
شکل شماره ۲-۵) ساختار مولکولی P(VDF-TrFE)	۲۵
شکل شماره ۲-۶) شکل نمادین کلیدزنی در مولکول PVDF	۲۶
شکل شماره ۲-۷) ساختار شیمیایی MXD6	۲۷
شکل شماره ۲-۸) اولین نانولوله کربنی چند دیواره مشاهده شده توسط Iijima	۲۷
شکل شماره ۲-۹) شیوه‌ی دشارژ قوس الکتریکی	۲۹
شکل شماره ۲-۱۰) فرایند سایش با لیزر	۳۰
شکل شماره ۲-۱۱) رشد نانولوله‌ها در اثر تبخیر به روش شیمیایی	۳۱
شکل شماره ۳-۱) شمای کلی ترانزیستورهای اثر میدان غیرارگانیک	۳۴
شکل شماره ۳-۲ (الف)) ترانزیستور لایه نازیک ارگانیک اتصال بالا	۳۵
شکل شماره ۳-۲ (ب)) ترانزیستور لایه نازیک ارگانیک اتصال پایین	۳۵
شکل شماره ۳-۳) شکل سه بعدی از یک ترانزیستور لایه نازیک ارگانیک	۳۶
شکل شماره ۳-۴) ساختار کریستالی موسوم به استخوان شاه‌ماهی	۴۱
شکل شماره ۳-۵) نمونه‌ی مشخصه‌ی جریان درین بر حسب ولتاژ درین	۴۴
شکل شماره ۴-۱) فرایند ساخت یک ترانزیستور OFET با گیت شناور [۷۲]	۵۱
شکل شماره ۴-۲) پارامترهای مهم ترانزیستورهای OFET فروالکتریک	۵۱

شکل شماره ۴-۳) دیاگرام شماتیک برای حافظه OFET گیت بالا ۵۲
شکل شماره ۴-۴) حلقه هیسترزیس فروالکتریک برای خازن P(VDF/TrFE) ۵۳
شکل شماره ۴-۵ (الف)) یک حافظه ترانزیستوری ارگانیک فروالکتریک ۵۴
شکل شماره ۴-۵ (ب)) ساختار شیمیایی برخی از فروالکتریک‌های متداول ارگانیک ۵۴
شکل شماره ۵-۱) شکل یک کارت PCI-1670 ۵۷
شکل شماره ۵-۲) ساختار داخلی دستگاه Keithley 238 ۵۸
شکل شماره ۵-۳) دیاگرام بلوکی keithley 238 ۵۸
شکل شماره ۵-۴) واسط نرم افزاری برنامه نوشته شده برای کنترل Keithley 238 ۵۹
شکل شماره ۵-۵) مدار تقویت کننده سیگنال مورد استفاده ۶۰
شکل شماره ۶-۱) ساختار شیمیایی MXD6 ۶۳
شکل شماره ۶-۲) ساختار شیمیایی m-cresol ۶۳
شکل شماره ۶-۳) شکل هودهای مورد استفاده در آزمایشگاه ۶۴
شکل شماره ۶-۴) ساختار کلی ترانزیستور ساخته شده ۶۴
شکل شماره ۶-۵) دستگاه مورد استفاده برای لایه نشانی به صورت چرخشی ۶۵
شکل شماره ۶-۶) کوره مورد استفاده در مراحل ساخت ۶۶
شکل شماره ۶-۷) دستگاه لایه نشانی تحت خلا که برای لایه نشانی نیمه هادی و فلزات مورد استفاده قرار گرفته است ۶۷
شکل شماره ۶- ۸) ماسک فلزی مورد استفاده برای لایه نشانی الکترودها ۶۸
شکل شماره ۶-۹) نمونه‌ای از ترانزیستور ساخته شده ۶۸
شکل شماره ۶-۱۰) تصاویر ترانزیستور ساخته شده با کانال ۶۰ میکرومتر زیر میکروسکوپ نوری با لنزهای مختلف ۶۹
شکل شماره ۶-۱۱) مشخصه ولتاژ مستقیم ترانزیستور ساخته شده ۷۰
شکل شماره ۶-۱۲) منحنی مشخصه ولتاژ مستقیم ترانزیستور در تمام نواحی ۷۱
شکل شماره ۶-۱۳) نمودار لگاریتمی مشخصه ولتاژ مستقیم ۷۲
شکل شماره ۶-۱۴) جریان نشتی ترانزیستور در ولتاژ درین ۵- ولت ۷۲
شکل شماره ۶-۱۵) نمودار مورد استفاده برای محاسبه تحرک پذیری ۷۳
شکل شماره ۶-۱۶) شکل مجاورت آلومینیوم (سمت راست) و MXD6 (سمت چپ) – وجود سوراخ‌هایی بسیار ریز در شکل مشهود است که موجب نشتی جریان می‌شوند ۷۴
شکل شماره ۶-۱۷) چگونگی اتصال به الکترودهای سورس و درین با چسب نقره ۷۵
شکل شماره ۶-۱۸) منحنی هیسترزیس ترانزیستور تحت ولتاژ مستقیم ۷۵
شکل شماره ۶-۱۹) الکترودهایی از جنس نانولوله کربنی ۷۷
شکل شماره ۶-۲۰) نمودار مشخصه ولتاژ مستقیم برای ساختار اتصال پایین فلزی و نانولوله کربنی ۷۸
شکل شماره ۶-۲۱) منحنی هیسترزیس برای ساختارهای اتصال پایین ۷۸
شکل شماره ۶-۲۲) مدار مورد استفاده برای اعمال سیگنال متناوب ۷۹
شکل شماره ۶-۲۳) مشخصه ترانزیستور با اعمال سیگنال متناوب ۸۰

فصل ۱–

حافظه و فروالکتریسیته

۱-۱- مقدمه

امروزه فناوری اطلاعات (IT)[1] تبدیل به بخش بسیار مهمی از زندگی ما شده است. فناوری اطلاعات به شکل تلفن‌های همراه، رایانه‌های شخصی، دستیار شخصی دیجیتال (PDA)[2]، ماشین‌های دورنما، پخش کننده‌های صوتی و بسیاری دیگر، همواره و در همه جا دیده می‌شود. همزمان با افزایش پیچیدگی ابزار همراه، کوچک سازی و ذخیره سازی اطلاعات تبدیل به مطلب مهمی شده است. همه‌ی ادوات فناوری اطلاعات نیازمند ذخیره سازی اطلاعات و حافظه‌ها می‌باشند. حافظه‌های متعارف بر روی مدارهای مجتمع بر پایه نیمه‌هادی مانند ترانزیستورها و خازن‌ها پیاده سازی می‌شوند. از آنجایی که تقاضا برای فعالیت‌های همراه، عامل اصلی محرک در تکنولوژی حافظه‌ها و قطعات است، همواره تقاضا برای ظرفیت بیشتر، عملکرد بهتر سیستم، مصرف توان کمتر و هزینه‌ی کمتر وجود دارد [۱،۲]. با این وجود، تعدادی از عوامل فیزیکی و اقتصادی، پیوستگی این فرایند کوچک سازی را تهدید می‌کند [۵-۳]. فرصت‌های جدیدی در راستای تولید ساختارهای حافظه و مواد جدید در حال شکل گیری هستند که صنعت تلاش می‌کند از طریق آن‌ها روند منحنی قانون مور[3] را حفظ کند.

بیشتر تلاش‌های صورت گرفته، اختصاص به کوچک سازی بیشتر چیپ‌های دو بعدی موجود با استفاده از روش‌های زیر دارد.

- تکنیک‌های ساخت جدید مانند الگوهای چاپی، ماورا بنفش شدید (EUV)[4] و لیتوگرافی-های غوطه‌وری
- ساختارها و پیکربندی‌های جدید مانند معماری دو گیتی، معماری سه گیتی و چند هسته‌ایی
- مواد جدید مانند سیلیکن‌های تحت تنش، دی‌الکتریک‌هایی با ضریب بالا، مواد فلزی به عنوان الکترود گیت [۶]

تلاش‌هایی نیز وقف پشته سازی قطعات حافظه گردیده است، که به وسیله آن چیپ‌هایی که به صورت سنتی بر روی ویفر سیلیکنی در کنار هم قرار گرفته‌اند را به صورت پشته‌ای بر روی هم قرار می-دهد [۷]. این تکنولوژی‌ها قوانین مور را به صورتی فراتر از محدودیت‌های مورد انتظار گسترش می‌دهد. تلاش‌هایی نیز در راستای تکنولوژی‌های جایگزین صورت گرفته است که در آن از مواد و مفاهیم جدید در راستای کوچک سازی بهتر و افزایش عملکرد حافظه، استفاده می‌شود. این تکنولوژی‌ها شامل حافظه-

[1] Information Technology
[2] Person digital assistant
[3] Moore
[4] Extreme ultraviolet

های فروالکتریک با دسترسی تصادفی (FeRAM) [۸]، حافظه‌های با دسترسی تصادفی مغناطیسی (MRAM) [۹]، حافظه‌های تغییر فاز دهنده (PCM , OUM) [۱۰] و حافظه‌های ارگانیک یا پلیمری [۱۱] می‌باشد. برخلاف تکنولوژی رایج حافظه‌ها با ساختارهای سلولی ویژه، تکنولوژی جدید بر اساس دوحالتی[1] الکتریکی مواد که ناشی از تغییر در خواص ذاتی مواد است، شکل گرفته است. این خواص ذاتی شامل تغییر خواص مغناطیسی، پلاریته، فاز و هدایت در اثر اعمال میدان الکتریکی است.

شکل شماره ۱-۱) مدارهای منطقی چاپ شده مورد استفاده برای RFID [۲۲]

مواد ارگانیک و پلیمری کاندیدای امید بخشی برای کاربردهای عملی حافظه‌های آینده در ابعاد مولکولی می‌باشد. خواص جذاب آنها شامل فرایند پذیری بالای آنها، کوچک سازی ابعاد و امکان طراحی مولکولی از طریق سنتز شیمیایی می‌باشد [۱۲]. نشان داده شده است که مولکول‌های ویژه‌ای که در چهارچوب‌های قابل آدرس دهی قرار گرفته‌اند، می‌توانند جریان الکتریکی را هدایت کنند و می‌توانند بیت‌های الکتریکی اطلاعات را در خود حفظ کنند [۱۳]. مزایای حافظه‌های ارگانیک و پلیمری شامل سادگی ساختار قطعه، توانایی کوچک سازی مناسب، پتانسیل کاهش هزینه مناسب، مصرف توان عملکردی پایین، توانایی پشته سازی سه بعدی و ظرفیت بالای ذخیره داده می‌باشد [۲۱-۱۴]. مواد پلیمری دارای خواص ویژه‌ای هستند مانند مقاومت مکانیکی، انعطاف پذیری و از همه مهمتر سادگی فرایند. به عنوان جایگزینی برای فرایندهای دشواری چون تبخیر تحت خلا و لایه نشانی مواد ارگانیک و غیر ارگانیک، فرایندهای حالت محلول چون پوشش تحت چرخش، پوشش به وسیله پاشش، پوشش با غوطه وری، پوشاندن با استفاده از غلطک و چاپ با استفاده از پرینتر بر روی زیرلایه‌های مختلف را می-توان برای مواد پلیمری مورد استفاده قرار داد [۲۱]. شکل شماره ۱-۱ مدارهای منطقی چاپ شده را برای استفاده در برچسب‌های شناسایی با فرکانس رادیویی (RFID) که به وسیله شرکت PolyIC تولید شده

[1] Bistability

است، از خود نشان می‌دهد [۲۲].

۱-۲- مفاهیم پایه

۱-۲-۱- حافظه الکترونیک چیست؟

در الکترونیک، مفهوم حافظه معمولا به قطعه‌ای گفته می‌شود که اطلاعات قابل بازیابی دیجیتال را در یک بازه زمانی در خود نگه می‌دارد. این بخش یکی از اجزای بنیادی کامپیوترهای مدرن و سیستم-های الکترونیک است [۲۳]. یک حافظه الکترونیک از نظر سرعت پاسخگویی سریع و از لحاظ اندازه فشرده است و زمانی که به یک مرکز پردازشگر متصل می‌شود، می‌توان آن را خواند و درون آن نوشت. این مشخصه‌ها باعث تفکیک بین حافظه‌های الکترونیک و دیگر اشکال حافظه مانند CD، DVD، دیسک-های ZIP، floppy disk، دیسک سخت و نوارهای صوتی- ویدیویی می‌شود. این واحدهای حافظه، برای شناخته شدن توسط واحد پردازشگر مرکزی، به تجهیزات مکانیکی برای تبدیل سیگنال‌های نوری، مغناطیسی یا دیگر انواع آن به سیگنال‌های الکتریکی نیاز دارند از اینرو گاهی از آنها با نام ادوات ذخیره سازی مکانیکی یاد می‌شود [۲۴]. از آنجایی که قطعات ذخیره سازی الکترونیک معمولا از نیمه‌هادی غیر ارگانیک ساخته شده‌اند، از آنها با نام حافظه‌های الکترونیکی نیمه‌هادی یاد می‌شود. حافظه‌های الکترونیکی ارگانیک می‌تواند به عنوان تکنولوژی جایگزین و یا مکمل در کنار حافظه‌های نیمه‌هادی استفاده شود.

۱-۲-۲- نیاز به سرعت دلیلی بر وجود حافظه های متنوع

چرا حافظه در کامپیوتر تا بدین میزان متنوع و متفاوت است؟ پردازنده های با سرعت بالا نیازمند دستیابی سریع و آسان به حجم بالایی از داده ها به منظور افزایش بهره وری و کارآیی خود می‌باشند. در صورتیکه پردازنده قادر به تامین و دستیابی به داده های مورد نیاز در زمان مورد نظر نباشد، می‌بایست عملیات خود را متوقف و در انتظار تامین داده های مورد نیاز باشد. پردازنده‌های جدید با سرعت‌های گیگا هرتزی به حجم بالایی از داده ها (میلیاردها بایت در هر ثانیه) نیاز خواهند داشت. پردازنده‌هایی با سرعت اشاره شده گران قیمت بوده و قطعا اتلاف زمان مفید آنان مطلوب و قابل قبول نخواهد بود. طراحان کامپیوتر به منظور حل مشکل فوق ایده " لایه بندی حافظه " را مطرح نموده‌اند. در این راستا از حافظه های گران قیمت به میزان اندک استفاده و از حافظه های ارزان تر در حجم بیشتری استفاده بعمل می‌آید. ارزانترین حافظه متداول، هارد دیسک است. هارد دیسک یک رسانه ذخیره سازی ارزان قیمت با توان ذخیره سازی حجم بالایی از اطلاعات است. با توجه به ارزان بودن فضای ذخیره سازی اطلاعات بر روی هارد، اطلاعات مورد نظر بر روی آنها ذخیره و با استفاده از روش های متفاوتی نظیر حافظه مجازی

می‌توان بسادگی و به سرعت بدون نگرانی از فضای فیزیکی حافظه RAM ، از آنها استفاده نمود.

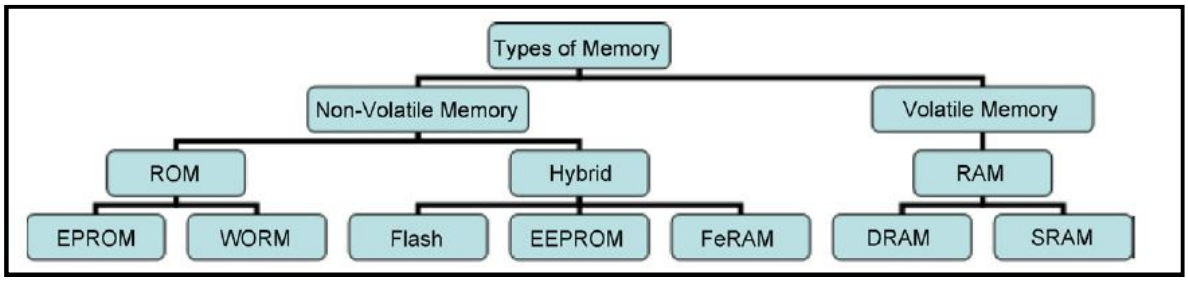
حافظه RAM سطح دستیابی بعدی در ساختار سلسله مراتبی حافظه است. تعداد بیت‌های یک پردازنده نشان دهنده تعداد بایت هایی از حافظه است که در یک لحظه می‌توان به آنها دستیابی داشت. مثلا یک پردازنده شانزده بیتی، قادر به پردازش دو بایت در هر لحظه است. مگاهرتز واحد سنجش سرعت پردازش در پردازنده ها است و معادل "میلیون در هر ثانیه" است. مثلا" یک کامپیوتر ۳۲ بیتی پنتیوم III با سرعت ۸۰۰-MHz، قادر به پردازش چهار بایت بصورت همزمان و ۸۰۰ میلیون بار در ثانیه است. حافظه RAM بتنهایی دارای سرعت مناسب برای همسنگ شدن با سرعت پردازنده نیست. بهمین دلیل است که از حافظه های Cache استفاده می‌گردد. بدیهی است هر اندازه که سرعت حافظه RAM بالاتر باشد مطلوب تر خواهد بود. اغلب تراشه های مربوطه، امروزه دارای سرعتی بین ۵۰ تا ۷۰ نانوثانیه می-باشند. سرعت خواندن و یا نوشتن در حافظه ارتباط مستقیم با نوع حافظه استفاده شده دارد. در این راستا ممکن است از حافظه های DRAM,SDRAM,RAMBUS استفاده گردد. سرعت RAM توسط پهنا و سرعت Bus، کنترل می‌گردد. پهنای Bus، تعداد بایتی که می‌تواند بطور همزمان برای پردازنده ارسال گردد را مشخص و سرعت BUS به تعداد دفعاتی که می‌توان یک گروه از بیت ها را در هر ثانیه ارسال کرد گفته می‌شود. سیکل منظم حرکت داده ها از حافظه بسمت پردازنده را Bus Cycle می‌گویند مثلا یک Bus با وضعیت : ۱۰۰ MHz و ۳۲ بیت، بصورت تئوری قادر به ارسال چهار بایت به پردازنده و یکصد میلیون مرتبه در هر ثانیه است. در حالی که یک BUS شانزده بیتی ۶۶ MHz بصورت تئوری قادر به ارسال دو بایت و ۶۶ میلیون مرتبه در هر ثانیه است. با توجه به مثال فوق مشاهده می‌گردد که با تغییر پهنای BUS از شانزده به سی و دو و سرعت از ۶۶ MHz به ۱۰۰ MHz سرعت ارسال داده برای پردازنده سه برابر گردید.

۱-۲-۳- انواع حافظه‌های الکترونیکی

حافظه‌های الکترونیک را می‌توان با توجه به فرّاریت به دو گروه اولیه فرّار و غیر فرّار تقسیم کرد. حافظه‌های فرّار اطلاعات ذخیره شده را به مجرد خاموش شدن سیستم از دست می‌دهند و نیاز به یک توان ثابت برای نگهداری اطلاعات دارند. حافظه‌های غیر فرّار حتی زمانی که توان الکتریکی قطع شود نیز می‌توانند اطلاعات ذخیره شده را در خود حفظ کنند. این حافظه‌ها می‌توانند به زیر شاخه‌هایی دیگر تقسیم شوند که در شکل شماره ۱-۲ نمایش داده شده‌اند. حافظه‌های پلیمری گزارش شده بیشتر شامل حافظه WORM (یک بار نوشته شود و به دفعات خوانده شود)، هیبرید حافظه‌های غیر فرّار و حافظه‌های فلش با قابلیت بازنویسی و حافظه‌هایی با دسترسی تصادفی دینامیک (DRAM) می‌باشد [۲۷-۲۵].

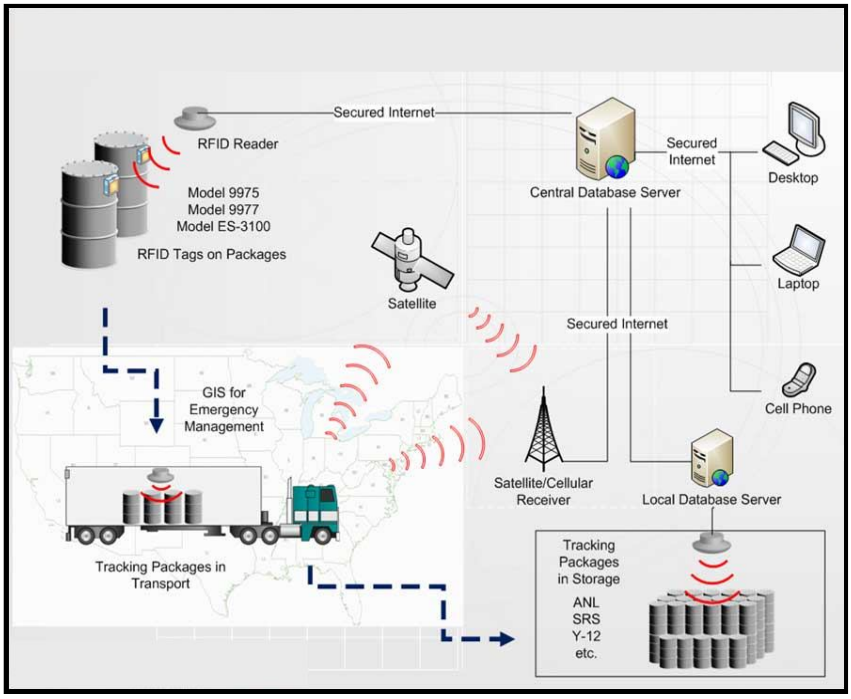
به عنوان حافظه غیر فرّار، یک حافظه WORM قادر به نگهداری دائم اطلاعات و خوانده شدن به

صورت مکرر است. در این نوع حافظه فقط یکبار میتوان به صورت فیزیکی نوشت و امکان اصلاح اطلاعات ذخیره شده وجود ندارد. از این نوع حافظه می‌توان برای ذخیره سازی استانداردهای آرشیوی، پایگاه‌های داده و دیگر داده‌هایی با حجم بالا که به صورت مداوم و در بازه‌ی طولانی زمانی خوانده شود، استفاده کرد. کاربرد متداول این نوع حافظه‌ها در برچسب‌های الکترونیکی و RFID است.



شکل شماره۱-۲) دسته‌بندی حافظه‌های الکترونیکی

نوع دیگری از حافظه‌های غیر فرّار، حافظه‌های فلش می‌باشد. حالت ذخیره آن را می‌توان به صورت الکتریکی مجددا برنامه ریزی کرد و ما قادر به نوشتن، خواندن، پاک کردن و نگهداری داده‌های درون آن هستیم. بنابراین این نوع حافظه هم غیر فرار و هم قابل بازنویسی است. حافظه‌های فلش به صورت گسترده‌ای در الکترونیک قابل انتقال، مورد استفاده است مانند PDA، رایانه‌های شخصی همراه، پخش کننده‌های صوتی یا ویدیویی و دوربین‌های دیجیتال. تکنولوژی حافظه فلش جاری بر پایه ترانزیستورهای اثر میدان فلز- اکسید- نیمه هادی با گیت شناور است.



شکل شماره ۱-۳) نمونه‌ای از کاربرد RFID

حافظه DRAM یک حافظه با دسترسی تصادفی است که هر بیت از داده را در یک خازن مجزّا ذخیره می‌کند. از آنجایی که یک خازن تمایل به نشت دادن الکترون‌ها دارد، اطلاعات سرانجام شروع به محو شدن می‌کند مگر اینکه بار خازن به صورت متناوب بازیابی شود. به دلیل این نیازمندی به بازیابی، این حافظه از نوع دینامیک می‌باشد. از آنجایی که DRAM اطلاعاتش را زمانی که توان آن را قطع می-کنیم از دست می‌دهد، این حافظه از نوع حافظه فرّار است. امروزه DRAM به عنوان حافظه اصلی در بیشتر کامپیوترها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برخی از حافظه‌های پلیمری از خود اثراتی مشابه حافظه-های فرّار با قابلیت نوشتن، خواندن، پاک کردن و بازیابی نشان می‌دهد.

۱-۲-۴- حافظه RAM

حافظه RAM(Random Access Memory) شناخته ترین نوع حافظه در دنیای کامپیوتر است. روش دستیابی به این نوع از حافظه ها تصادفی است، چون می‌توان به هر سلول حافظه مستقیما دستیابی پیدا کرد. در مقابل حافظه های RAM ، حافظه های(SAM(Serial Access Memory وجود دارند. حافظه های SAM اطلاعات را در مجموعه ای از سلول های حافظه ذخیره می‌کند و صرفا امکان دستیابی به آنها بصورت ترتیبی وجود خواهد داشت (نظیر نوار کاست). در صورتیکه داده مورد نظر در محل جاری نباشد هر یک از سلول های حافظه به ترتیب بررسی می‌گردد تا داده مورد نظر پیدا شود. حافظه های SAM در مواردی که پردازش داده ها الزاما بصورت ترتیبی خواهد بود مفید می‌باشند (نظیر حافظه موجود بر روی کارت های گرافیک). داده های ذخیره شده در حافظه RAM با هر اولویت دلخواه قابل دستیابی خواهند بود.

۱-۲-۵- مبانی حافظه RAM

حافظه RAM ، یک تراشه مدار مجتمع (IC) است که از میلیون‌ها ترانزیستور و خازن تشکیل می‌گردد. در اغلب حافظه‌ها با استفاده از یک خازن و یک ترانزیستور می‌توان یک سلول را ایجاد کرد. سلول فوق قادر به نگهداری یک بیت داده می‌باشد. خازن اطلاعات مربوط به بیت را که یک و یا صفر است، در خود نگهداری خواهد کرد. عملکرد ترانزیستور مشابه یک سوییچ بوده که امکان کنترل مدارهای موجود بر روی تراشه حافظه را فراهم می‌کند. این مدارها به منظور خواندن مقدار ذخیره شده در خازن و یا تغییر وضعیت مربوط به آن، استفاده می‌شود. خازن مشابه یک ظرف (سطل) بوده که قادر به نگهداری الکترون‌ها است. به منظور ذخیره سازی مقدار″ یک″ در حافظه، ظرف فوق میبایست از الکترون‌ها پر گردد. برای ذخیره سازی مقدار صفر، می‌بایست ظرف فوق خالی شود. مساله مهم در رابطه با خازن، نشت اطلاعات است (وجود سوراخ در ظرف) بدین ترتیب پس از گذشت چندین میلی ثانیه یک ظرف سرشار از الکترون تخلیه می‌گردد. بنابراین همانگونه که قبلا گفته شد به منظور اینکه حافظه بصورت پویا