كلية العلوم التطبيقية

قسم الفيزياء الحياتية

المرحلة الثالثة

الإلكترونيات

أ.م.د. غسان عدنان الهيتي

- المحاضرة الرابعة عشر -

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الدوائر المتكاملة Integated Circuits

المقدمة :

تتجه تكنولوجيا الالكترونيات الحديثة دائما لتصغير حجم المعدات و الاجهزة ،مع تقليل الطاقة المستهلكة ،وتحقيق اعلى فاعلية للالكترونيات ،واعلى درجة من الاعتماد ،وقد كانت تلك الاسباب وراء التطوير الهائل الذى شهدتة علوم اشباه الموصلات .وتكنولوجيا انتاجها .حتى بدأ في الستينات من القرن العشرين انتاج نوع مدمج من الدوائر الالكترونية عرفت باسم الدوائر المتكاملة Integated Circuit وتختصر IC ،وهي بلورات من المواد شبه الموصلةغير النقية ،وترسب بترتيب معين على شريحة من الجرمانيوم او السيلكون اوالزجاج او السيراميك او اي مادة مناسبة للاستخدام ،ويمكن بتكنولوجيا انتاج الدوائر تمثيل المقاومات والمكثفات والملفات ،الى جانب الوصلات الثنائية،والترانزستور بانواعه المختلفة ،ويتم ذلك من خلال احجام صغير جدا،وهذا يعني انه يمكن ترسيب دائرة كاملة لوحدة تكبير في شريحة واحدة،بدلا من كونها دائرة موصلة باسلاك حقيقة،او مسارات مطبوعة Printed Circuit ومع التطور وصل الامر الى امكان انتاج شريحة واحدة تحتوي على عدد كبير من مراحل التكبير ،وليس مرحلة واحدة،حتى وصلنا الى ما عرف باسم الدوائر المتكاملة ذات المدى الواسع ،اذ تحتوي الشريحة الواحدة من تلك الدوائر المتكاملة ،على الاف من مراحل الدوائر المعدنيةMOS-Metal Oxide Semiconductor،تمكن العلم من انتاج دوائر متكاملة ذات مدى واسع جدا ،وتحتوي على عدد الدوائر الالكترونية المختلفة يصل الى ملايين المراحل.وهذا التقدم المذهل هو الذى سمح بانتاج معدات واجهزة الالكترونية ذات احجام صغيرة جدا ،وتستهلك قدرة كهربائية لاتذكر مثل اجهزة التليفون المحمول شايعة الاستخدام ،التى تؤدي الوظائف نفسها التى كان يؤديها جهاز ارسال واستقبال يزن عشرة كيلو جرامات منذ عشرين سنة.وتختلف الدائرة المتكاملة عن الدائرة المنفصلة Discrete Circuitهو ان عناصر او ادوات الدائرة المتكاملة (من ترانزستورات وثنائيات ومقهومات ومتسعات وتوصيلات) توصل ببعضها حسب الدائرة وخلال التصنيع وبذلك لايمكن فصل هذه الادوات التي بات في الامكان جمع المئات منها بمساحة لاتزيد عن بضعمليمتر مربع.هنالك طريقتان اساسيتنان في صنع الدائرة المتكاملة:

اولا: الدائرة المتكاملة احادية البلورة Monolithic IC:

وتسمى هذه الدوائر باحادية البلورة لكونها تصنع على على بلورة منفردة واحدة من شريحة السيلكون حيث تصنع عناصر الداتئرة بطرق الانتشار، اما توصيلاتها فتتم بتبخير مادة موصلة على الشريحة.

ثانيا: دوائر الاغشية Film Circuits:

تكون دوائر هذا النوع الكبر حجما من النوع السابق وتستخدم في صنع العناصر غير الفعالة Passive Components كالمقاومة والمتسعة وتنقسم

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

دوائر هذا النوع بدورها الى صنفين الغشاء الرقيق Thin Film والغشاء السميك Thick Film.
بالاضافة الى نوعي الدوائر المكتكاملة (احادية البلورة والاغشية) هنالك ما يسمى بالدوائر المتكاملة الهجينةHybrid IC وتحوي الدائرة الهجينة الواحدة على اثنين او اكثر من دوائر IC احادية البلورة تحت نفس التغليف،وقد تجمع الدائرة الهجينة الواحدة كلا نوعي الدوائر المتكاملة(احادية البلورة والاغشية) .
على الرغم من ان الدوائر الاحادية البلورة هي من اكثر الانواع انتشارا لحد الان ومن ثم فان التركيز عليها سيكون اكثر من غيرها الا ان الدوائر الغشائية الرقيقة سيكون هي الافضل عندما تكون النسبة بين عدد العناصر غير فعالة عاليا، وعلية فأننا سنشير الى طبيعة هذة الدوائر ولكن من خلال التطرق للدوائر المتكاملة المختلطة وباختصار.

عزل العناصر عن بعضها في الدوائر المتكاملة

ان عنصر الدائرة المتكاملة يتم تكوينة داخل المنطقة السالبة n الملامسة لطبقة الاساس p وحيث ان الدائرة المتكاملة تحتوي على اكثر من عنصر لذا فانة يصبح من الضروري عزل مناطق n المختلفة (التابعة لمختلفة العناصر)عن بعضها الاخر وبذلك يتم عزل المكونات عن بعضها الاخر.وهناك طريقتان لاجراء العزل هما:

أ- عزل الثنائي PN

يتم الحصول على هذه الطريقة في العزل عملياً عن طريق ربط طبقة الاساس p الى اكثر الجهود سالبية (غالبا ماتكون الارض)في الدائرة، وبذلك يتولد لدينا ثنائي وصلة PN منحاز عكسيا ومن ثم لايسمح للتيار بالسيريان من منطقة N الى الاخر.

ب- عزل ثنائي اوكسيد-السيلكون Silicon – Dioxodeisolation

يتم عزل هذة الطبقة احاطة كل من منطقة N بطبقة من الثنائي اوكسيد السيلمون.تكون طبقة الاساس في هذه الحالهغير مطعمة او بعبارة اخرى انها من شبة موصل تفوق الطريقة الاولى وتمتاز عليها فالعزل هنا افضل لان ثنائي اوكسيد السيلكون يكون اكثر عزلا من وصلة الـPN المنحازة عكسيا كذلك فان المتسعة بين منطقة N وطبقة الاساس سوف تختفي (لاخفاء الاخيرة) وبذلك يتحسن عمل الدائرة في الترددات العالية .وعلى الرغم من المميزات اعلاه فان هذه الطريقة تتطلب زيادة في خطوات التصنيع مما يعني زيادة في الكلفة ذلك ان الكلفة الرخيصة هي الزاوية في صناعة الدوائر المتكاملة
كان الجرمانيوم (Ge) اهم العناصر العتمدة في صناعة اشباة الموصلات لسهولة تنقيته وتنميته للحصول على بلورة جرمانيوم كبيرة وكذلك للسرعة العالية في

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عملية التصنيع الخاصة بكل من الترانزستورات والثنائيات لان السيلكون (Si) استبدال بالجرمانيوم بسبب امتلاك السيلكون مميزات تتلخص فيما ياتي :-

١- انه عنصر شائع ومتوافر حيث انة يكون 20% من القشر الارض ويمكن لذلك استخراجة بسهولة مما يعني رخص صناعته

٢-تمتلك ذراتة طاقة ترابط عالية مما يعني استعمالة افضل بكثير من الجرمانيوم عند عمل في درجات الحرارة العالية او بعبارة اخرى صغر تيار التسرب فيه وارتفاع جهد الانهيار التابع له

٣- يمتلك اوكسيداً خاملا ومستقراً يمكن استخدامة كقناع ضوئي – Photo Mask في عملية تصنيع الدوائر المتكاملة كعازل جيد طبقة منيعة تحمي البلورة من التلوث والرطوبة . وكما ويمكن ازالة هذه الطبة بسهولة حيقث انها تذوب في حامض الهيدروفلوريدك الذي لا يذوب فيه السيلكون.

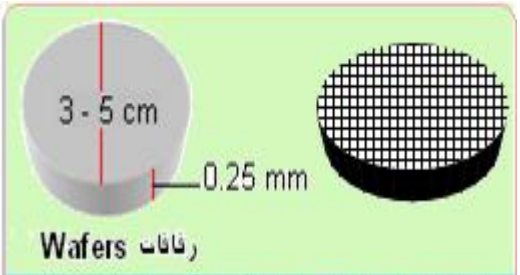
صناعة الدوائر المتكاملة:

تعد عملية تصنيع الدوائر المتكاملة احادية البلورة معقدة وفيما ياتي اهم الخطوات الخاصة بتحضير الشرائح اللازمة لهذه الصناعة:-

١- يوضع السيلكون النقي المستخرج من الرمل ويكون على هيئة مسحوق في جفنة التسخين وتتم عملية تسخينه في جو من غاز خامل (لمنع عملية التاكسد)حتى درجة انصهار السيلكون (1420م) ثم تضاف بلورة صغير منفردة تعد بمثابة بذرة seed ثلاثية التكافؤ يتم ادخالها المنصهر السيلكون في جفنة التسخين حيث تدار البذرة ببطء في داخل المنصهر ثم تسحب خارجا حيث يبدا السيلكون المتجمع حول البذرة بالتجمد اثناء عملية السحب وبهذا يتمتحضير بلورة سيلكون الموجبة (p)على شكل اسطوانة ذات قطر بين (2الى5)سنتمتر .مول يصل بضع عرات السنتمتر

٢- تقطع الاسطوانة عرضيا الى رقاقات Wafers ذات سمك حوالى ربع مليمتر

٣- يصقل احد سطحي الرقاقة صقلا جيدا وذلك لتخليص السطح من عيوبهImperfections عند ذلك تستعمل لهذه الرقاقة كطبقة اساس Substrateالتى ينمى فوقها الدوائر المتكاملة.



الشكل(1): رقاقة السيلكون Silicon Wafer.

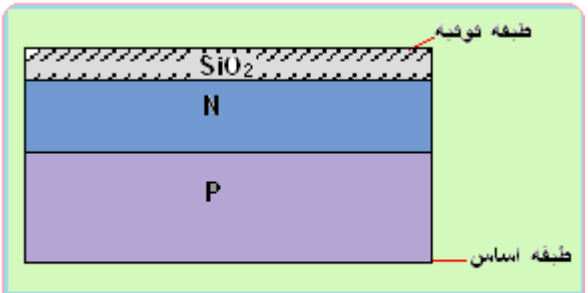
٤- تقسم الرقاقة الواحدة الى شرائح صغيرة chips بين (50-1500)وتحتوي كل شريحة على 50عنصرا (ترانزستوراو ثنائي المقاومة) كما في الشكل(1).حيث ان هذا التقسيم يشمل كل الشرائح المنتجة، لذا فان هذا الانتاج سيكون على نطاق واسع والذي يمثل السبب المباشر في تصنيع كلفه الدوائر المتكاملة.

- قبل التقسيم الرقاقات يتم وضعها في فرن ويسلط عليها مزيج غازي من ذرات السيلكون وذرات شوائب مانحة (خماسية التكافؤ) فتتكون طبقة فوق طبقة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الاساس، طبقة رقيقة من نوع N تسمى بالطبقة المرتبة فوقيا Expitaxial Layer والتى يبلغ سمكها من بضع مايكرون الى بضع عشرات المايكرون . ولحماية هذه الطبقة الفوقية من التلوث ينفخ سطحها بغاز الاوكسجين النقي فتتحد بذلك ذرات الاوكسجين مع ذرات السيلكونمكونة الطبقة الاوكسيدية SiO.

٥- - قبل التقسيم الرقاقات يتم وضعها في فرن ويسلط عليها مزيج غازي من ذرات السيلكون وذرات شوائب مانحة (خماسية التكافؤ) فتتكون طبقة فوق طبقة الاساس، طبقة رقيقة من نوع N تسمى بالطبقة المرتبة فوقيا Expitaxial Layer والتى يبلغ سمكها من بضع مايكرون الى بضع عشرات المايكرون . ولحماية هذه الطبقة الفوقية من التلوث ينفخ سطحها بغاز الاوكسجين النقي فتتحد بذلك ذرات الاوكسجين مع ذرات السيلكونمكونة الطبقة الاوكسيدية SiO.كما في الشكل(2) ان الخطوات المارة الذكر تكاد ان تكون مشتركة في كافة الدوائر المتكاملة ذي القطبين .



شكل(2): الطبقات المكونة للشريحة.

صناعة دوائر الثنائي البلوري المتكاملة:

اضافة الى الخطوات المتبعة في عملية تحضير الشرائح اعلاه نتبع مايلي:

١- يطلي السطح الاوكسيد بغشاء رقيق من مادة المضادات الضوئية Photoresist وهناك نوعين من المضادات وهي الموجبة والسالبة.وفي النوع الموجب يكون جزءالسطح المعرض لضوء الاشعة فوق البنفسجية قابلا للحفز Etching اما الجزء الذى لا يتعرض للضوء فانة لايذوب بالحامض (HF) وبذلك يبقى الجزء معزولا بواسطة الاوكسيد.

٢- يعرض السطح المطلي بالمضاد الضوئي الى ضوء الاشعة فوق البنفسجية خلال اقنعة ضوئية Photo-Maks تشبة الصور السالبة المستعملة في التصوير الفوتوغرافي كما في الشكل (3a)الذي يبين ان المضاد الضوئي والقناع استعملا بحيث ان الجزء من كل جانب من طبقة الاوكسيد قد حفز بالحامض.

٣- توضع الرقاقة في فرن وتعرض الى ذرات شوائب قابلة (ثلاثية التكافؤ)فتنتشر هذه الذرات في الاجزاء المحفورة دون الاجزاء التي لاتزال مغطاة بطبقة الاوكسيد كما في الشكل(3b) .

٤- يعرض السطح مرة اخرى الى الاوكسجين وذلك لتغطية بالطبقة الاوكسيدية كما في الشكل(3c).

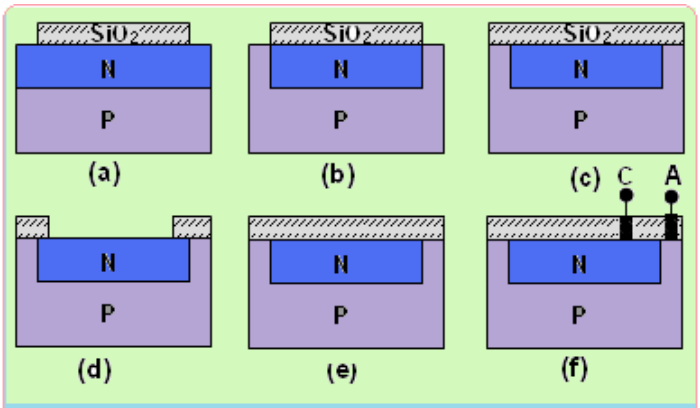
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

٥- يطلى بالمضاد الضوئي ثم يعرض الى الضوء خلال قناع اخر .بحيث يفتح شباكا في وسط البلورة لعمل حفرة بالحامض في هذة الخطوة يكون كاثود الثنائي قد حدد كما في الشكل (3d).

٦- تمرر ذرات ثلاثية التكافؤ خلال الشباك المفتوح فنحصل بعد ذلك على انود الثنائي الموجب.

٧- يعرض السطح الى الاوكسجين وذلك لتغطية بالطبقة الاوكسيدية العازلة كما في الشكل(3e).

٨- لعمل التوصيلات بطرفي الكاثود وةالانود يحفز شباكين بنفس الطريقة (وذلك بعد تغطية السطح كلة بغشاء رقيق من المعدن (الالمنيوم عادة) ثم تحفز هذه الطبقة من الاماكن المراد ازالة المعدن وبالنسبة لهذا المثال يزال الالمنيوم من جميع السطوح باستثناء الشباكين كما في الشكل (3f).



الشكل (3): مراحل تصنيع الثنائي البلوري.

صناعة دوائرالترانزستورالمتكاملة:

اضافة الى الخطوات المتبعة في عملية تحضير الشرائح اعلاه نتبع مايلي:

١- يطلي السطح الاوكسيد بغشاء رقيق من مادة المضادات الضوئية Photoresist.

٢- يعرض السطح المطلي بالمضاد الضوئي الى ضوء الاشعة فوق البنفسجية خلال اقنعة ضوئية Photo-Maks تشبة الصور السالبة المستعملة في التصوير الفوتوغرافي الذي يبين ان المضاد الضوئي والقناع استعملا بحيث ان الجزء من كل جانب من طبقة الاوكسيد قد حفز بالحامض كما في الشكل (4a).

٣- توضع الرقاقة في فرن وتعرض الى ذرات شوائب قابلة (ثلاثية التكافؤ)فتنتشر هذه الذرات في الاجزاء المحفورة دون الاجزاء التي لاتزال مغطاة بطبقة الاوكسيد ويطلق عادة على الفتحات المحفورة من الطبقة الوقية اصطلاح كما في الشكل(4b) الذي يبين هيئة البلورة بعد الخطوه الثامنة.

٤- يعرض السطح مرة اخرى الى الاوكسجين وذلك لتغطية بالطبقة الاوكسيدية كما في الشكل(4c).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

٥- يطلى بالمضاد الضوئي ثم يعرض الى الضوء خلال قناع اخر .بحيث يفتح شباكا في وسط البلورة بع حفرة بالحامض في هذة الخطوة يكون جامع الترانزستور قد حدد كما في الشكل (4d).

٦- تمرر ذرات ثلاثية التكافؤ خلال الشباك المفتوح فنحصل بعد ذلك على قاعدة الترانزستور الموجبة.

٧- يعرض السطح الى الاوكسجين وذلك لتغطية بالطبقة الاوكسيدية العازلة كما في الشكل(4e).

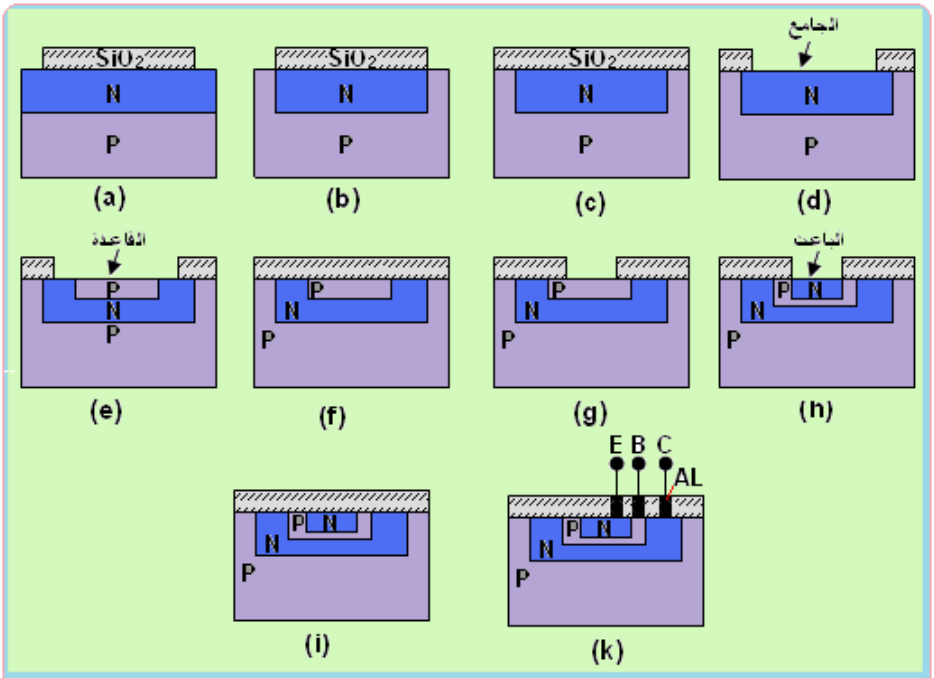
٨- لعمل التوصيلات بطرفي الكاثود ةالانود يحفز شباكين بنفس الطريقة (وذلك بعد تغطية السطح كلة بغشاء رقيق من المعدن (الالمنيوم عادة) ثم تحفز هذه الطبقة من الاماكن المراد ازالة المعدن وبالنسبة لهذا المثال يزال الالمنيوم من جميع السطوح باستثناء الشباكين كما في الشكل (4f).

٩- يطلى السطح بالمضاد الضوئي ثم يعرض الى ضوء خلال القناع لفتح شباك باعث الترانزستور كما في الشكل(4g).

١٠-تمرر ذرات الشوائب خماسية لتكافؤ خلال الشباك فنحصل على باعث الترانزستور السالب، كما في الشكل(4h)

١١-يغطى السطح مرة اخرى بطبقة اوكسيد كما في الشكل (4i) .

١٢- لعمل التوصيلات بالطرف الجامع والقاعدة والباعث تحفز ثلاث شبابيك بنفس الطريقة (وذلك بعد تغطية السطح كلة بغشاء رقيق من المعدن (الالمنيوم عادة) ثم تحفز هذه الطبقة من الاماكن المراد ازالة المعدن وبالنسبة لهذا المثال يزال الالمنيوم من جميع السطوح باستثناء الشبابيك الثلاثية كما في الشكل (4k) .ان صنع ترانزستورNPN في الدلئرة المتكاملة هو المفتاح لصناعة بقية العناصر .



الشكل (4) :مراحل تصنيع الترانزستور المتكامل.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com