استخدام تقينة الاظهار الكيميائي في تحديد اتجاهية المستويات البلورية لشرائح السليكون

د. سارية ذياب محمد* فاطمةعريص سلطان* و اقبال عبد المجيد*

تاريخ التقديم:2009/6/22
تاريخ القبول: 2010/1/7

الخلاصة

تلعب الاتجاهية البلورية لأشباه الموصلات دورا كبيرا في التأثير على خصائص النبطية المصنعة كالخلية الشمسية والكاشف الضوئي ونحوهما .

في هذا البحث تم استخدام تقنية الاظهار الكيميائي والفحوصات المجهرية لتحديد التوجيه البلوري لشرائح السليكون الاحادية ، حيث أدت عمليات التنعيم والصقل ومحاليل الاظهار المفضلة الى أظهار ندب الانخلاعات على شكل هيئات هندسية مميزة تشير الى المستويات البلورية لشرائح السليكون .

بينت الفحوصات المجهرية الاختلاف في هيئات ندب الانخلاعات للمستوي **(111)** في شرائح السليكون بتأثير اختلاف المحاليل الكيميائية ، حيث ظهرت ندب الانخلاعات بأشكال هندسية مثلثية مسطحة عند استخدام محلول **KOH** بينما أدى محلول CP-4 الى اظهار تلك الندب بهيئات مثلثية هرمية يشير الرأس الى الاتجاهية **[111]**.

استخدم خلال هذا البحث محلول أوكسيد الكروم الحامضي في اظهار ندب الانخلاعات للمستويات **(100)** لشرائح السليكون حيث كانت على هيئة مربعات حادة الحافات مسطحة تشير الى تلك المستويات وحسب توزيع معامل ملر في النظام المكعب لشرائح السليكون.

Using chemical etching technique to determination the crystal orientation for silicon wafer

Abstract

The crystal orientation of a semiconductor play a significant role to effects the characteristics of manufactured semiconductor solar cells and the optical detectors.

In this research we use the chemical etching technique and microscopic testing to determine the crystal orientation of the silicon wafer, where mechanical polishing and Wet Etching described the geometric dislocations pits which refers to thecrystallographicorientation. Microscopic examination has been describing differences geometric dislocations pits which reflected from plane**(111)** in the silicon wafer, by the impact of different chemical solutions.**CP-4** etch appear dislocations pits in geometric forms flat trigonometric, while using**KOH** solution show that pits in conical shape which refers to the vector**[111]** for silicon wafer.

In this work acid chromium oxide solution has been used to showing the geometric dislocations pits of plane **(100)** in the forms of four fold flat symmetry which refers to that plane in Silicon wafer, as the distribution of Miller Indices in the cubic system.

Keywords: crystal Orientation of Semiconductor, crystallographic Orientation of Semiconductor v

*قسم العلوم التطبيقية ، الجامعة التكنولوجية / بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.8.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

1- المقدمـــــة

تشـــكل البلـــورات الاحـــادية single crystal القواعد التكنولوجية في صناعة الليزرات والاجهزة الالكترونية والبصرية وفي بصريات الاشعاع الكهرومغناطيسي . أن معظم نبائط أشباه الموصلات من الدايودات والترانزستورات والخلايا الشمسية يتم صناعتها وبصورة أساسية من عنصر السليكون لذا فان تكنولوجيا السليكون هي الارقى بين جميع التكنولوجيات الاخرى لأشباه الموصلات .أن تكنولوجيا اشباه الموصلات المركبة لا تضاهي تكنولوجيا السليكون من حيث درجة تطورها ، بل إن تطورالأولى يعد جزئياً الى تطور تكنولوجيا السليكون .من هنا تم أختيار الكثير من الباحثين لشرائح السليكون كعينات لاجراء الدراسة عليها [1].

ان الخاصية المميزة للبلورات الاحادية الصلبة هي ترتيب مكوناتها (الذرات والايونات) بشكل منتظم وإعادة نفسها بفواصل وفي الاتجاهات الثلاثية ، عرف هذا الترتيب بالشـــبيكة البـــلورية **(crystal lattice)** وهي عبارة عن صفوف غير محددة الطول موزعة في فراغ بحيث إن كل ذرة لها محيط متماثل من الذرات **[2]**.

في مثل هذا الترتيب المنظم ، من الممكن أن تبنى بلورة كاملة برص متكرر للوحدة البنائية وتعرف هذه الوحدات بالخلية البدائية **(primitive cell)** وهذه الخلايا البدائية تتضمن جميع المعلومات المطلوبة لاعادة بناء مواقع الذرات في البلورة. تشمل نوعية التأصر لعنصر السليكون بأنها أواصر أيونية تساهمية للمدار . وأن الترتيب البلوري للسليكون يعرف بشبيكة الماس **(Diamond lattice)** يعبر عن الاتجاهات داخل البلورة عامة بدلالة المتجه ويكتب هذا المتجه في أتجاه معين بالشكل الاتي

$$\vec{h}\,\vec{a} + \vec{k}\,\vec{b} + \vec{l}\,\vec{c} \qquad \text{.....(1)}$$

حيث **a , b , c** هي وحدات المتجهات على طول كل أحداثي في المحاور .

تعتمد الكثير من الخواص الفيزيائية لأشباه الموصلات على الاتجاهية البلورية لذلك من الضروري مراعاة توجيه الانماء البلوري في الاتجاهية المطلوبة باستخدام بذرات(seed) بلورية موجهة في تقنيات الانماء البلوري **[3]**.

تبين تجريبياً إن جميع الطرائق ذات المشاهدة المرئية(Visual Observation) تستوجب معلومات فنية متقدمة أو مختصين في مجال الانماء البلوري لتحديد الســمات المميزة لأوجه الانماء **(Growth Facets)** أو إظهار الندب أو تحديد صفات التشققات على السطوح البلورية , حيث تستخدم تقنية حيود الاشعة الســينية**(XRD)** وطريقــة انعكاســية لاوي **(Reflection Laue)**، والتقنية البصرية **(Optical orientation)** في تحديد الاتجاهية لشرائح اشباه الموصلات **[1-3]** .

تحدث عمليات الاظهار نتيجة تفاعلية السطح مع مواد الاظهار ويساعد ذلك على تحديد التوجيه البلوري **(Crystallographic Orientation)** والعيوب الشبكية (Lattice Imperfections) و التراكـيب الكيميائـــــية **(Chemical Composition)** , وغالباً ما يستخدم الاصطلاحين الاظهار المفضل وغير المفضل (Preferential & Non Preferential) للاشارة الى تأثير المحاليل الكيميائية لأظهار الاتجاهية البلورية أو عدم أظهــارها على التــوالي **[4]**. يدعى الاظهار الذي يتضمن تفاعلات كيميائــية تلقائيــة بيــن الصلب والمظهــر بالاظهــار الكيميـــائي أما الاظهـــار للمعـــادن المنصـــهرة **(Molten Metal Etches)** فيتطلب درجات حرارية معينة لغرض انحلال

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

المعادن المنصهرة وإعادة تبلور (**Recrystallization**) فوق السطوح البلورية للجرمانيوم ومركبات (**III-V**) لأشباه الموصلات والذي يستخدم في التقنيات البصرية لتحديد الاتجاهية البلورية ، أما التقنيات الاخرى للاظهار مثل التحلل الانودي (**Anodic Dissolution**) والاظهار الكهروكيميائي (**Electrolytic Etching**) و القصف الايوني (**Ion Bombardment**) تعد اقل استخداما لاظهار هيئة ندب الانخلاعات (**Geometric Dislocations pits**) وحسب اتجاهية السطوح البلوري[5] .

يعزى التشابه في هيئة الندب المظهرة للمستويات الموجهة وبشكل عام في تراكيب بلورة الماس للجرمانيوم والسليكون وزنكيلاند للمركبات(**III-V**)في أشباه الموصلات الى تناسقية السطوح الرباعية حيث تحاط كل ذرة بأربع ذرات قريبة وتتآصر الذرات على طول الانخلاعية ثلاثياً للشبيكة وتشير الانخلاعات الى مواقع بلورية ذات أواصر متدلية تتفاعل تلك الاواصر بالمحاليل المظهرة فتظهر على هيئات هندسية مختلفة وحسب اتجاهية المستويات البلورية فتعكس سطوح المستويات (**111**),(**100**) ندب الانخلاعات ذات الهيئات المثلثية , ذات استطالة وعلى التوالي بينما تساعد محاليل الاظهار غير المنفصلة على تنعيم السطوح البلورية **[6].**

<u>هدف البحث:</u>

هو دراسةالمستويات البلورية لشرائح اشباه الموصلات باستخدام تقنية ضوئية مجهرية بسيطة تستخدم في مختبرات الشركات الصناعية لصناعة البلوات الاحادية.

<u>الجانب العملي:</u>

تم الحصول على النماذج البلورية للسليكون وللمستوي (**100**) المصنع في شركة المنصور العامة باستخدام تقنية السحب البلوري) وقد اعتمدت ايضاً نماذج سلكونية للمستوي (**111**) المصنعة في لحدى الشركات الالمانية باستخدام تقنية السحب البلوري أيضاً, والتي تم تحديد اتجاهاتها بطريقة (**XRD**) مسبقاً في شركة المنصور العامة.

<u>العمليات الميكانيكية</u>

لقد استخدمت عمليات الصقل لتنعيم القطع وللحصول على مستويات موازية للسطح ولازالة أخطاء القطع للمستويات المحددة وتشمل عمليات الصقل على الصقل **Grinding** والتنعيم **Polishing**. ولمنع تكسر الشرائح السليكونية تم تثبيتها على مساند الكبريت الهشة قبل المباشرة بتلك العمليات الميكانيكية ثم اخراجها من المساند لاحقا للاستفادة منها في التطبيقات العلمية .

تثبت اوراق التنعيم **Paper grinding** لدرجات تتراوح بين (**5 -25μm**) على قرص دوار لمنظومة الصقل لنوع **Flat Cast –Iron Lap**. تم امساك مساند النموذج وبشكل عمودي على سطح الورقة و بتحريك يدوياً على هيئة دائري وبأتجاه واحد ولمدة تتراوح بين (**15-30 min**) , للحصول على سطح ناعم مستوي خالي من الخدوش.

يثبت النموذج بعد ذلك على قماش التنعيم في القرص الدوار ويستخدم محلول الالومينا (AL_2O_3) ذات مقاس حبيبي (**5μm**) من سائل الكليسيرين أو الماء اللايوني لتنعيم الشرائح, ثم يستخدم معجون الماس **Diamond Pasts** (**0.25**) لصقل النموذج لحين الحصول على سطح صقيل يشبه المرآة . يغسل النموذج بالماء المقطر، تزال مساند الكبريت باستخدام ملقط حاد أو سكينة حادة ثم يستخدم محلول حامضي مخفف لتنظيف النماذج البلورية والمتكون من :

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

1HF: 10H_2O عند درجة حرارة الغرفة ثم يغسل بالماء المقطر ويجفف بالهواء الجاف.

الاظهار الكيميائي لندب الانخلاعات

تظهر النماذج البلورية بإحدى محاليل الاظهار الكيميائيةالمدونة في الجدول **(1)** ثم تفحص باستخدام مجهر ضوئي عاكس لنوع **Metallux 3** ولقوة تكبير مختلفة تتراوح **(50-1000)** مرة .

النتائج والمناقشة:

تعطي تقنية الاظهار الكيميائي هيئات هندسية لندب الانخلاعات عى شرائح السلكون بالأمكان الاستدلال من خلالها الى المستويات البلورية اعتماداً على المصادر العلمية المعتمدة لذلك [7 ، 1].

شرائح السليكون للمستوي (111):

يوضح الشكل **(a ,b) 1** الصور المجهرية لندب الانخلاعات المظهرة لسطوح شرائح السليكون وللمستوي (**111**) عند قوة تكبير مختلفة , بعد عمليات التنعيم و الصقل ثم استخدام المحلول الكيميائي الذي مكوناته هي:-

الوزن **50%** محلول هيدروكسيد الصوديوم عنددرجة حرارة **65°**

50 weight % NaOH at 65°C 10 min

يظهر الشكل **(a ,b) 1** هيئات هندسية على شكل مثلثات مسطحة ذي حافات حادة. تشير المستوي **(111)** في شرائح السليكون **[6]** .تعزى تلك الندب الى التنعيم و الصقل والمحاليل الكيميائية المفضلة في إظهار هيئات ندب الانخلاعات العائدة للمستوي **(111)** في تركيب المكعب لبلورات الماس **diamond** ,حيث تتحفر ثلاث جوانب هرمية **three-side inverted pyramid** من المستوي (**111**) وحسب توزيع معامل ملر في البلورات ذات نظام مكعب **(Cubic system)** والموضحة في الشكل **(2)**.

يظهر في الشكل**(a ,b) 2** تأثير المحلول الكيميائي المفضل **CP-4**

1 part HF : 3part HNO_3 : 10 part CH_3COOH 40 sec

تغير الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات في المستوي **(111)** لشرائح السليكون عند قوة تكبير مختلفة, حيث تظهر مثلثات هرمية القاعدة رأسه يشير الى الاتجاه **[111]** **(a ,b) 3** العلمية **[3,4]** .

يعزى سبب الاختلاف في هيئات الندب في الشكل **3(a, b)** عن الشكل **1(a, b)** الى فعالية محلول الاظهار المفضل **CP-4** ولفترة زمنية قليلة في إبراز وتجسيم ندب الانخلاعات المثلثية بأشكالها الهندسية لشرائح السليكون .

شرائح السليكون للمستوي (100)

يوضح الشكل **4(a, b)** صور مجهرية لندب الانخلاعات المظهرة على السطوح المستوي **(100)** لشرائح السليكون عند قوة تكبير مختلفة بعد عمليات التنعيم الصقل واستخدام المحلول الكيميائي المفضل

5 gm CrO_3: 10 ml H_2O: 7.5 ml HF at 20 min

يظهر في الشكل **4(a, b)** الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على شكل مربعات مسطحة ذي حافات حادة , يعزى ذلك الى تأثير الاظهار لتحفير الجوانب الاربعة الهرمية **(four – side pyramids)** في النظام المكعب لتركيب بلورات السليكون حيث يقترب معامل ملر في المستوي **(100)** لتركيب بلورات الدايمود **(Diamond)** ذات **FCC** الى الشكل المربع وكما موضح في الشكل (2) **[4]** .

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

الاســــــــــتنتاجات

1- إمكانية اعتماد الفحوصات المجهرية عند قوة تكبير مختلفة في تحديد الاتجاه البلوري لشرائح السليكون من خلال الإظهارالكيميائي لندب الانخلاعات على تلك السطوح .

2- تظهر الفحوصات المجهرية ندب ذات هيئات مثلثية مسطحة للمستوي (**111**) على شرائح السليكون .

3- فعالية المحاليل الكيميائية المفضلة في تغيير الهيئات الهندسية لندب الانخلاعات على السطوح للمستوي (**111**) .

4- تظهر الفحوصات المجهرية ندب انخلاعات ذات هيئات مربعة للمستوي (**100**) على شرائح السليكون

5- أن معدلات الاظهار للمستوي (**100**) ابطئ من (**111**) ويعــزى ذلــك الــى اختــلاف معــدلات االتحــلل (**Dissolution Rates**) لســطوح شرائح السيليكون والتناقص حسب التسلسل التالي:-

←

[111]>[100]>[110]

References

[1] R. Hull [Properties of Crystalline Silicon (INSPEC, London, 1999)]

[2] D. K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization ,John Wiley & Sons, New York,(1998), p. 634 .

[3] R. B. Bergmann," Crystal Growth Res". 1, 241 (1999)

[4] Saria D.AL Alagawi& Mnal A .aboud "Optical Method to Determine the Orientation of Monocrystalline Wafers" Eng&Technology, Vol.25, No.8,2007

[5] Seeger, Semiconductor Physics (Springer, Berlin-Heidelberg, 1999), p. 161

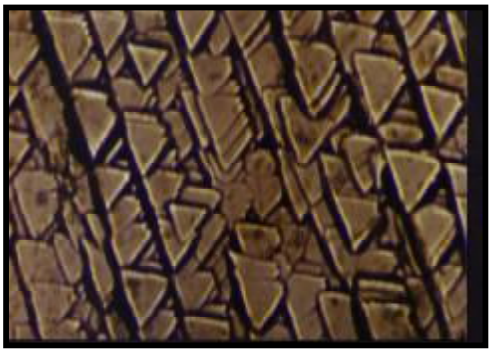
[6] ANNUAL Book of ASTM Standards Sections 10,Vol.10.05,Electronics (11),(1988)

[7] D. Walker, V. Kumar, K. Mi, P. Sandvik, P. Kung, X. H. Zhang, and M. Razeghi, Appl. Phys. Lett. 76, 403 (2000).

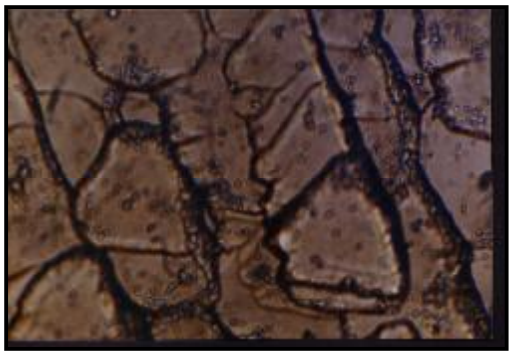
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول (1) المحاليل الكيميائية المستخدمة في إظهار المستويات لبعض بلورات أشباه الموصلات

مؤشرات عامة	ظروف الاظهار	محلول الاظهار	العدد
لاظهار الندب لمستوي (111)	(5-20)min at 65°C	50 weight % Sodium hydroxide Solution	1
لاظهار الندب لمستوي (111)	(5-40) sec	CP-4 1 part HF: 3 part HNO_3: 10 part CH_3COOH	2
لاظهار المستوي (100)	(10-20)min	5gm CrO_3 : 10 ml H_2O 7.5 ml HF	3



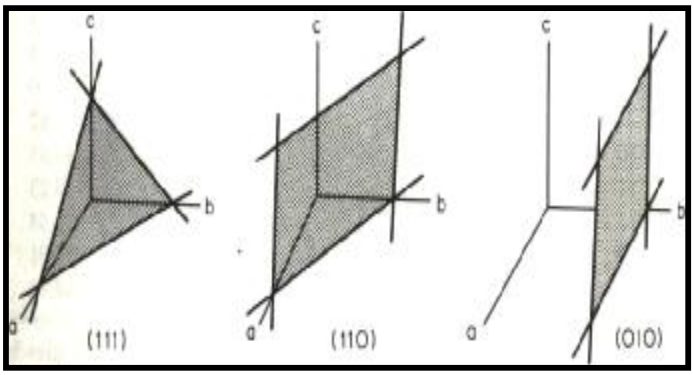
(a)



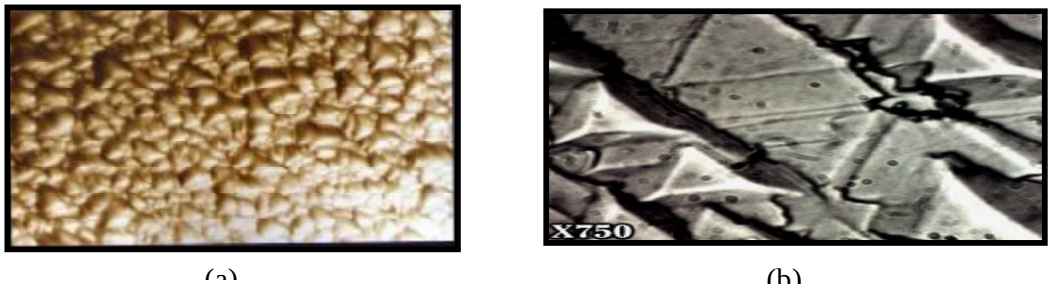
(b)

شكل (1) صور مجهرية لندب الانخلاعات المظهرة على شرائح السيليكون وللمستوي (111) باستخدام المحلول القاعدي a - تكبير X500 b- تكبير X1000

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

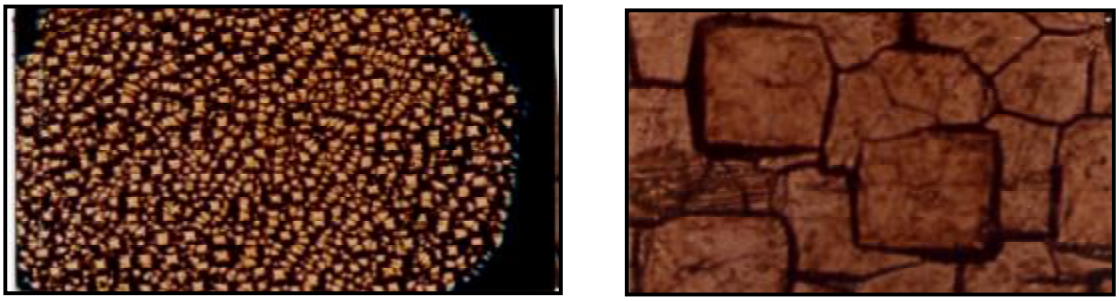


شكل (2) المستويات لمعامل ملر الواطئة في النظام المكعب (Diamond)[4]



(a) (b)

شكل (3) صورمجهرية لندب الانخلاعات المظهرة على شرائح السيليكون وللمستوي (111) باستخدام المحلول CP-4
a - تكبير 300X b- تكبير X1000



(a) (b)

شكل (4) صور مجهرية لندب الانخلاعات المظهرة على شرائح السليكون وللمستوي (100)
باستخدام محلول اوكسيد الكرومa - X 250 b - X 1000

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