

بررسی خواص غیر خطی الکتربیکی لایه نازک سیلیکان

صادق بیگی، نرگس ثابت داریانی، رضا

گروه فیزیک دانشگاه الزهرا(س)، ونک، تهران

چکیده

اندازه گیری مقاومت ویژه و فرهای سیلیکان (111) نوع n و p به روش ون در پاو انجام شد. سپس به وسیله تبخیر اشعه الکترونی، یک لایه نازک از سیلیکان بر روی ویفر سیلیکان نشانیدیم. با مقایسه نمودار ویفر سیلیکان با حالت لایه نشانی شده سیلیکان، مشاهده شد برای جریان های کمتر از 1mA تفاوت آشکاری میان دو حالت وجود دارد که ناشی از لایه نازک سیلیکان می باشد. کلید واژه- ون در پاو- سیلیکون- مقاومت ویژه

Nonlinear Electrical Properties of Silicon Thin Film

Sadeghbeigi, Narges; S. Driani, Reza

Physics Department, Alzahra University, Tehran,

Abstract

Resistivity measurements of silicon wafers (111) n and p type were performed by using the van der pauw technique. Then thin film of silicon was deposited on silicon wafer by electron beam evaporation. Curves of silicon wafer in comparison with deposited silicon shows that for currents less than 1mA there is a clear different between these curves which is due to silicon thin film.

Keywords: van der pauw, silicon, resistivity

مقدمه

فیزیکی دارد. روش GLAD با لایه نشانی مایل می توان با افزایش زاویه شار فرودی و نزدیک نمودن آن به زاویه 90 از اثر غالب مکانیسم سایه اندازی سود برد. این اثر موجب می شود که ساختار متخلخل درون لایه نازک ایجاد شود و به این ترتیب می توان به ساختار نانویی سه بعدی دست یافت. ساختار های سه دست آمده در این روش به ساختار فراکتالی نزدیک بوده و به نوعی می توان از روابط مربوط به این ساختار کمک گرفت [۲]. این روش با استفاده از تبخیر گرمایی، پرتو الکترونی و اسپاترینگ می تواند انجام شود. به علت نیاز به باریکه الکترونی متمرکز در یک نقطه، روش اسپاترینگ فیزیکی در اولویت نمی باشد، مگر اینکه با روش های خاصی باریکه فرودی بر هدف را باریک نمایند [۳].

با توجه به اینکه ساختار جدید ایجاد شده، امکان بروز خواص نوینی، نسبت به حالت حجمی ماده را خواهد داشت، نیاز به بررسی خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی نمونه داریم. به علت

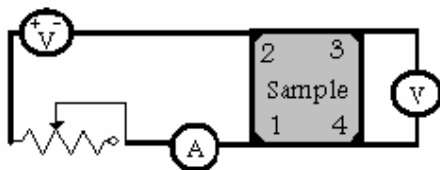
اخیرا ایجاد ساختار نانویی در لایه های نازک غالبا با استفاده از روش لیتوگرافی انجام می شود، که این روش، گران، زمان بر، محدود در استفاده از مواد مناسب و وابسته به قابلیت قلم زنی می باشد. روش لایه نشانی با زاویه فرودی مایل، روش مناسب، کم هزینه، با دامنه وسیع استفاده از مواد مختلف و عدم نیاز به ابزار پیچیده می تواند در ساختار سه بعدی لایه های نازک به طور کنترل شده ای با تغییر زاویه شار فرودی و زاویه زیر لایه به ساختار های متنوع و جدیدی در لایه های نازک سه بعدی برسد [۱]. در این روش بسته به آهنگ لایه نشانی می توان در زمان ۳۰ دقیقه به ساختار لایه نازک مورد نظر دست پیدا کرد [۱]. با توجه به مزایای عنوان شده این روش (GLAD) آینده رو به رشدی را از نظر تحقیقاتی و محصولات پیش رو دارد. این روش تنها روشی در حوزه ساختار نانو می باشد که کلیه فرایندهای آن مبنای

$$\exp\left[\frac{-\pi d}{\rho} R_{vertical}\right] + \exp\left[\frac{-\pi d}{\rho} R_{horizontal}\right] = 1 \quad (3)$$

با حل معادله اخیر بر حسب ρ می توانیم مقاومت ویژه دوبعدی نمونه را بیابیم. ارتباط مقاومت ویژه دو بعدی با مقاومت ویژه سه بعدی $\rho_{2D} = \frac{\rho_{3D}}{d}$ می باشد، که d ضخامت فیلم است [۸].

روش انجام کار:

ابتدا نمونه ها، که ویفر سیلیکون (۱۱۱) با ضخامتی در حدود ۵۰۰ میکرو متر می باشد را به روش ون در پاو تعیین مقاومت می کنیم. دو نمونه نوع n می باشد که یکی از آنها مربعی و دیگری از یک سمت انحنا داشته و در نتیجه تقارن آن از بین رفته بود. پنج نمونه نیز از نوع p بوده که چهار عدد آن به صورت مربعی ۲ سانتی متر در ۲ سانتی متر برش خورده است. برای استفاده از روش ون در پاو ابتدا باید با استفاده از چسب نقره اتصال اهمی میان نمونه و سیم مسی نازک به قطر مقطع 0.05mm ایجاد نماییم. برای این کار در چهار راس نمونه سیم مسی را با چسب نقره به نمونه می چسبانیم و پس از ۳۰ دقیقه با نشست چسب نقره و محکم شدن اتصالات، مدار را به صورت شکل ۲ می بندیم.

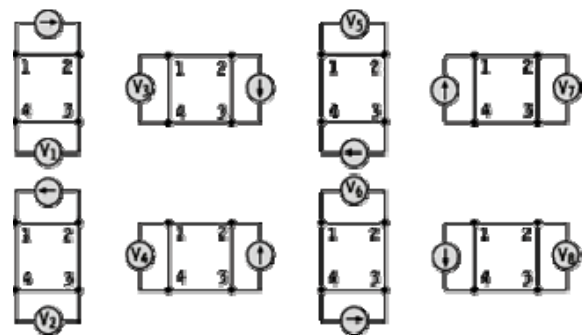


شکل ۲: طریقه بستن مدار به منظور ایجاد جریان و اندازه گیری ولتاژ در نمونه

روی هر نمونه برای حدود ۱۰ اندازه گیری بین جریان 0.1mA تا 10mA انجام شد. به طوری که جریان ورودی توسط مولد تنظیم و ولتاژ دو سر نمونه خوانده می شود، سپس برای هر ۸ حالت شکل ۱ این عمل تکرار و با استفاده از روابط ۱ و ۲ به دو مقدار $R_{vertical}$ و $R_{horizontal}$ رسیدیم. که با حل معادله غیر خطی ۳ به وسیله برنامه نوشته شده با زبان فرترن با استفاده از اعداد تصادفی و با خطای از مرتبه 10^{-4} نسبت به عدد ۱ در رابطه ۳

اهمیت اندازه گیری مقاومت ویژه در مواد نیم رسانا و خواص الکتریکی، به دنبال روش مناسب برای اندازه گیری مقاومت ویژه بودیم. به دلیل استفاده از سیلیکان به عنوان یک ماده نیمه هادی، برای اندازه گیری مقاومت ویژه روش های خطی کاربرد ندارد. برای این منظور از روش ون در پاو برای اندازه گیری مقاومت ویژه استفاده می کنیم. این روش اولین بار توسط L.J van der Pauw در سال ۱۹۵۸ ابداع شد [۴]. وی توانست توصیف نظری اندازه گیری ها بر روی نمونه های با شکل نامنظم را بر پایه نگاشت همدیس بنا کند. او نشان داد که چگونه مقاومت ویژه یک نمونه تخت با شکل دلخواه می تواند بدون دانستن طرح جریان اندازه گیری شود [۲]. اگر شرایط زیر برقرار باشد:

(الف) اتصالات در مدار بسته ای در داخل نمونه باشند. (ب) اتصالات به نحو قابل ملاحظه ای کوچک باشند. (ج) نمونه از نظر ضخامت همگن و یکنواخت باشد. (د) سطح نمونه یکپارچه بوده و نمونه حفره های ایزوله نداشته باشد [۵ و ۶].



شکل ۱: اشکال ممکن اندازه گیری ولتاژ و جریان به طور مستقیم و معکوس [۷].

$$R_{12,34} = \frac{V_{34}}{I_{12}} \quad (1)$$

$$R_{vertical} = \frac{R_{12,34} + R_{34,12} + R_{21,43} + R_{43,21}}{4} \quad (2)$$

$$R_{horizontal} = \frac{R_{23,41} + R_{41,23} + R_{32,14} + R_{14,32}}{4}$$

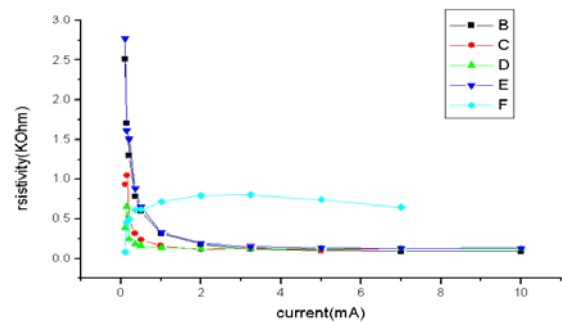
تنظیم کردیم. مقدار آهنگ و ضخامت هر ۵ دقیقه خوانده شد. پس از آن با گذشت ۱۷۰ دقیقه و میانگین آهنگ $0.25 \frac{\text{\AA}}{\text{Sec}}$ ضخامت لایه به 205.7nm رسید. با خارج کردن نمونه و دوباره اندازه گرفتن مقاومت آن به جدول زیر می رسیم. جدول ۱: مقادیر به دست آمده برای مقاومت نمونه های نوع p. نمونه شماره ۷ غیر مربعی و دیگر نمونه مربعی می باشند.

مقاومت سطحی نمونه ۷ (K Ω)	مقاومت سطحی نمونه ۶ (K Ω)	مقاومت سطحی نمونه ۵ (K Ω)	مقاومت سطحی نمونه ۴ (K Ω)	مقاومت سطحی نمونه ۳ (K Ω)	مقاومت سطحی نمونه ۲ (K Ω)
0.084	2.773	0.385	0.934	2.513	0.1
0.455	1.613	0.653	1.047	1.702	0.15
0.502	1.507	0.244	0.502	1.296	0.2
0.616	0.883	0.184	0.316	0.781	0.35
0.620	0.651	0.161	0.234	0.598	0.5
0.714	0.330	0.137	0.159	0.316	1
0.792	0.192	0.127	0.108	0.177	2
0.800	0.150	0.123	0.133	0.119	3.24
0.742	0.132	0.130	0.107	0.098	5
0.643	0.130	0.123	0.128	0.088	7
	0.131	0.123	0.127	0.088	10

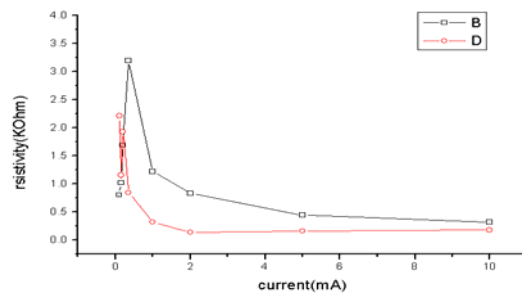
با توجه به نمودارهای شکل ۳ مشاهده می شود که برای جریان های کمتر از 2mA تغییرات شدید در مقاومت وجود دارد و این تغییرات بسته به نوع و شکل نمونه ها متفاوت می باشد، و این در حالی است که برای تمامی نمونه ها درجریان های بیشتر از 2mA تغییرات ناچیزی در مقدار مقاومت نمونه به چشم می خورد. در شکل ۳ نمودار B نمونه حالت نامتقارن داشته که پس از لایه نشانی به صورت مربعی بر روی نمونه می بینیم که نمودار با حالات مربعی شکل ۳ الف مطابقت می کند. این در حالی است که نمودار F در این شکل برای نمونه غیر مربعی می باشد. در حالت کلی تغییرات مقاومت بین $0.1\text{K}\Omega$ تا $1\text{K}\Omega$ می باشد به طوری که حد اکثر مقاومت بین ۷ نمونه $2.773\text{K}\Omega$ و حداقل آن $0.084\text{K}\Omega$ است.

نتیجه گیری و پیشنهادات

نمودار مقاومت بر حسب جریان را رسم نمودیم.



(الف)



(ب)

شکل ۳: نمودار مقاومت نمونه بر حسب جریان. الف: مقایسه نمونه های نوع p ب: مقایسه نمونه غیر متقارن نوع n قبل (B) و بعد از لایه نشانی (A)

سپس بر روی نمونه نوع n غیر مربعی لایه نشانی کردیم. به این ترتیب که ابتدا نمونه با استون پاک شد و پس از تمیز شدن چسب نقره، به مدت حدود ۸ دقیقه نمونه را در بشر محتوی استون درون دستگاه التراسونیک KDG و سپس به همین مدت درون اتانول قرار دادیم. پس از خشک شدن نمونه آن را درون محفظه نگهدارنده در زاویه صفر درجه نسبت به شار ذرات قرار دادیم. درون بوت از جنس گرافیت، سیلیکان را که از حالت پودری به قرص تبدیل کرده بودیم، قرار دادیم. دستگاه خلاء مورد استفاده با مشخصات Hind High VACUUM MODEL 12A4D می باشد. فاصله بوت تا نمونه و ضخامت سنج اندازه گیری شد. مشخصات نمونه و فاکتور ضخامت را در مانیفور ضخامت سنج دستگاه وارد کردیم. سپس دستگاه را روشن کردیم تا به خلا مورد نظر برسد. پس از رسیدن خلاء به $1.5 \times 10^{-5} \text{mbar}$ ، دستگاه الکترونی را روشن نموده و روی ولتاژ 5KV و جریان ۶۰mA

با اندازه گیری مقاومت ویژه های ویفر سیلیکان (۱۱۱) نوع n و p به روش ون در پاو و رسم نمودار مقاومت ویژه- جریان تغییرات مقاومت ویژه برای برای جریان های کمتر از ۲mA تغییرات شدید در مقاومت وجود دارد و درجریان های بیشتر از ۲mA تغییرات ناچیزی در مقدار مقاومت نمونه به چشم می خورد. پس از لایه نشانی سیلیکان بر روی ویفر به و سیله تبخیر اشعه الکترونی با اندازه گیری مقاومت ویژه آن به تغییراتی در اثر ایجاد لایه نازک برای جریان های کمتر از ۱mA رخ داد.

منابع

- [1] K. Robbie, G. Beydaghyan, T. Brown, C. Dean, J. Adams, C. Buzea;" Ultrahigh vacuum glancing angle deposition system for thin films with controlled three-dimensional nanoscale structure"; Rev. Sci. Instrum. **75**,1089 (2004).
- [2] K. Kaminska, A. Amassian, L. Martinu, and K. Robbie," Growth of vacuum evaporated ultraporous silicon studied with spectroscopic ellipsometry and scanning electron microscopy" *J. Appl. Phys.* **97**,013511,2005.
- [3] J. C. Sit,^a D. Vick, K. Robbie, and M. J. Brett;" Thin film microstructure control using glancing angle deposition by sputtering "; *J. Mater. Res.*, **14**, No. 4, Apr 1999.
- [4]<http://en.wikipedia.org>
- [5]D. K. Schroder, *Semiconductor Material and Device Characterization*, John Wiley and Sons Inc. ,
- [6]L. J. van der Pauw;" A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape"; *Philips Research Reports*
- [7]www.eurosemi.eu.com
- [[^]]G. D. Mahan, *Applied Mathematics*, Library of Congress Cataloging in Publication Data, 2001 .