

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКООМНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ-ТИТАНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Александрович П. А., Бохань Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Голосов Д. А. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследованы зависимости электрофизических характеристик пленок оксида и нитрида кремния-титана от параметров процесса совместного магнетронного распыления. Установлено, что удельное сопротивление пленок нитрида и оксида кремния-титана имело сильную зависимость от концентрации реактивного газа в камере. Для всех образцов наблюдались отрицательные значения температурный коэффициент сопротивления (ТКС) ($0,04\%/^{\circ}\text{C}$ – $1,08\%/^{\circ}\text{C}$). При увеличении удельного сопротивления ТКС пленок увеличивался.

Ключевые слова: тонкопленочный резистор, реактивное магнетронное распыление, совместное распыление, удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления

Введение. В настоящее время для калориметрии и регистрации слабых оптических сигналов все больше стали применяться твердотельные кремниевые фотоумножители. В них используются интегрированные высокоомные гасящие резисторы сопротивлением 250 – 300 кОм. Традиционно в качестве материала высокоомного гасящего резистора используется поликремний. Однако поликремний имеет сравнительно высокие значения температурного коэффициента сопротивления $\text{ТКС} = (-2 - -3) \text{ кОм}/^{\circ}\text{C}$. Для изготовления высокоомных резисторов в ряде работ предложено использовать нитриды и оксиды кремния-титана. Титан и кремний имеют противоположные значения ТКС, а оксидирование или нитритизация такой смеси позволяет в широких пределах регулировать удельное сопротивление пленок. Для формирования пленок оксида и нитрида кремния-титана большие перспективы имеет метод совместного реактивного магнетронного распыления. В этом методе для получения многокомпонентных пленок используется несколько распылительных устройств и каждый элемент наносится отдельным магнетроном.

В данной статье будет рассмотрена зависимость ТКС резистивных пленок оксида и нитрида кремния-титана от концентрации азота и кислорода при их формировании.

Основная часть. Формирование пленок проводилось на экспериментальной установке следующей конфигурации (рисунок 1):

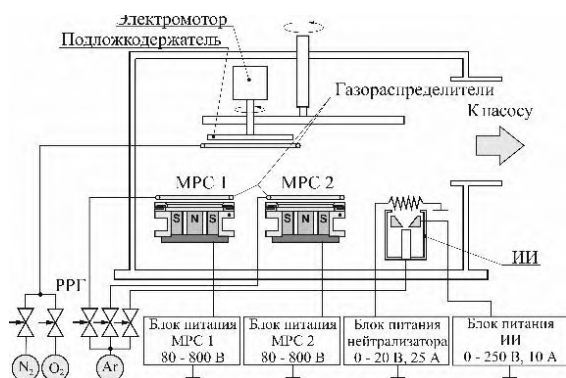


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для нанесения тонкопленочных слоев методом совместного реактивного магнетронного распыления

При нанесении пленок использовалась раздельная газоподача инертного и реактивного газов. Аргон подавался в газораспределительные системы магнетронов. Поток аргона в каждый магнетрон составлял $Q_{Ar} = 25 \text{ мл/мин}$. Реактивный газ (азот или кислород) подавался

в область подложки. Поток азота изменялся от 0 до 12,5 мл/мин. Поток кислорода изменялся от 0 до 7,5 мл/мин. Концентрация реактивного газа в камере рассчитывалась по формуле 1

$$\Gamma_R(\%) = \frac{Q_R}{Q_R + Q_{Ar}} 100, \quad (1)$$

где Γ_R – поток реактивного газа в камеру.

Соотношение Si и Ti в пленках регулировалась за счет изменения соотношения токов магнетронов. Ток разряда магнетронов изменялся от 0 до 1.5 А.

На рисунке 2 представлена зависимость удельного сопротивления и ТКС пленок нитрида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов. При токе разряда магнетронов $I_{Ti} = 0,5$ А, $I_{Si} = 1,0$ А и распылении мишеней в среде Ar удельное сопротивление пленок составляло 10^{-5} Ом·м и экспоненциально увеличивалось при добавке азота. При концентрации азота в камере около 14,5 % удельное сопротивление пленок достигало 0,01 Ом·м. При дальнейшем увеличении Γ_{N_2} формировались диэлектрические пленки с поверхностным сопротивлением более 1 МОм/кв. ТКС пленок имел отрицательное значение и увеличивался до 1,08 %/°С при концентрации азота Γ_{N_2} с 0,04 %/°С при концентрации азота 16,7 %.

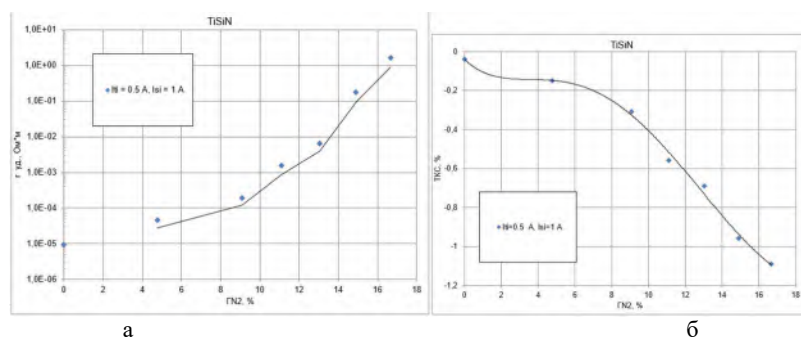


Рисунок 2 – Зависимость удельного сопротивления (а) и ТКС (б) пленок нитрида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов

На рисунке 3 представлены зависимости удельного сопротивления и ТКС пленок оксида кремния-титана от концентрации кислорода в Ar/O₂ смеси газов. При увеличении Γ_{O_2} также наблюдалось резкое увеличение удельного сопротивления пленок. Пленки с удельным сопротивлением 0,01 Ом·м формировались при концентрации кислорода в Ar/O₂ смеси газов около 9,5 %. Т.е. формирование диэлектрических пленок оксида кремния-титана наблюдалось при меньших концентрациях реактивного газа по сравнению с нитридом кремния-титана. ТКС пленок Ti_{1-x}Si_xO_y также был отрицательным. При увеличении Γ_{O_2} от 0 до 9,5 % ТКС пленок увеличивался от 0,04 %/°С до 0,8 %/°С.

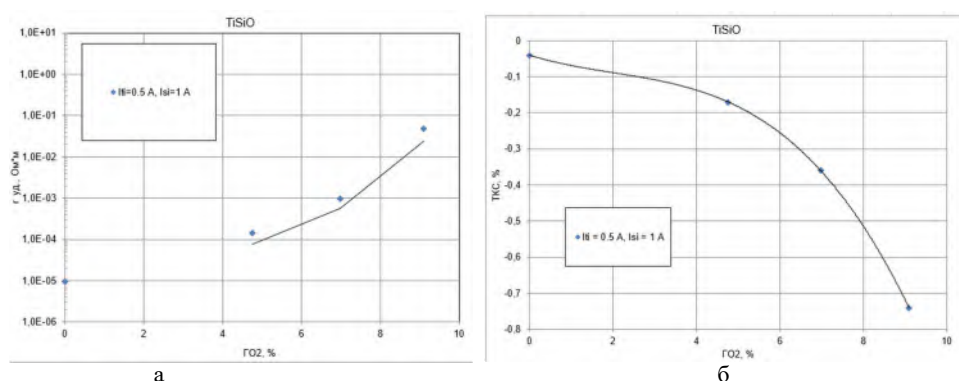


Рисунок 3 – Зависимость удельного сопротивления (а) и ТКС (б) пленок оксида кремния-титана от концентрации азота в Ar/N₂ смеси газов

Заключение. Проведены исследования влияния параметров процесса магнетронного распыления на состав, структуру и электрофизические характеристики пленок оксида и нитрида кремния-титана. На основе полученных экспериментальных данных установлено:

При распылении мишеней в среде Ar/N_2 рабочих газов удельное сопротивление пленок $\text{Ti}_{1-x}\text{Si}_x\text{N}_y$ увеличивается и достигает значений $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при концентрации азота в Ar/N_2 смеси газов $16,7 \%$. ТКС пленок имеет отрицательное значение и увеличивается при увеличении Γ_{N_2} с $0,04 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ при концентрации азота 0% до $1,08 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ при концентрации азота $16,7 \%$.

При распылении мишеней в среде Ar/O_2 рабочих газов удельное сопротивление пленок $\text{Ti}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_y$ увеличивается и достигает значений $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ при концентрации кислорода в Ar/O_2 смеси газов около $9,5 \%$. ТКС пленок имеет отрицательное значение и увеличивается при увеличении Γ_{O_2} с $0,04 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ при концентрации кислорода 0% до $0,8 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ при $\Gamma_{\text{O}_2} = 9,5 \%$. При концентрации кислорода $9,5 \%$.

Список литературы

1. *Ti₅Si₄ Nanobats with excellent field emission properties* / C.-M. Chang [et al.] // *J. Phys. Chem. C.* – 2009. – Vol. 113. – P. 9153–9156.
2. *Observation of thermal growth of silicide on titanium-deposited silicon surfaces* / T. Iida [et al.] // *Surf. Sci.* – 2007. – Vol. 601. – P. 4444–4448.
3. *Chen, L. J. Metal silicides: an integral part of microelectronics* / L. J. Chen // *JOM The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society.* – 2005. – Vol. 57. – P. 24–30.
4. *Growth of high-density titanium suicide nanowires in a single direction on a silicon surface* / H. C. Hsu [et al.] // *Nano Lett.* – 2007. – Vol. 7. – P. 885–889.
5. *Strain sensitivity of TiB₂, TiSi₂, TaSi₂ and WSi₂ thin films as possible candidates for high temperature strain gauges* / G. Schultes [et al.] // *Sensors Actuators A Phys.* – 2006. – Vol. 126. – P. 287–291.
6. *Nitride films deposited from an equimolar Al–Cr–Mo–Si–Ti alloy target by reactive direct current magnetron sputtering* / H.-W. Chang [et al.] // *Thin Solid Films.* – 2008. – Vol. 516. – P. 6402–6408.
7. *Plasma emission controlled multi-target reactive sputtering for in-situ crystallized Pb(Zr,Ti)O₃ thin films on 6" Si-wafers* / V. S. Vidyarthi [et al.] // *Thin Solid Films.* – 2007. – Vol. 515. – P. 3547–3553.
8. *Multi-target reactive sputtering – a promising technology for large-area Pb(Zr,Ti)O₃ thin film deposition* / G. Suchanek [et al.] // *J. of the European Ceramic Society.* – 2007. – Vol. 27. – P. 3789–3792.
9. *Murarka, S. P. Silicide formation in thin cosputtered (titanium+silicon) films on polycrystalline silicon and SiO₂* / S. P. Murarka, D. B. Fraser // *J. Appl. Phys.* – 1980. – Vol. 51. – P. 350–356.
10. *Plasma diagnostics. Discharge parameters and chemistry* / Ed.: O. Auciello, D.L. Flamm. – Academic Press, 1989. – 470 p.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

FORMATION OF HIGH-RESISTANCE RESISTIVE FILMS OF OXIDE AND NITRIDE OF SILICON-TITAN BY MAGNETRON SPUTTERING

Alexandrovitch P.A., Bohan L.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Golosov D. A. – *Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT*

Annotation. The dependence of the electrophysical characteristics of silicon-titanium oxide and nitride films on the parameters of the magnetron co-sputtering process was studied. It was found that resistivity of the silicon-titanium nitride and oxide films deposited by the reactive magnetron co-sputtering method had a strong dependence on the concentration of the reactive gas in the chamber. Negative TCR values ($0.04\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ – $1.08\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) were observed for all samples. As the resistivity of the films increased, the TCR increased.

Keywords: thin film resistor, reactive magnetron sputtering, co-sputtering, resistivity, temperature coefficient of resistance