

Оптические свойства структур $\text{VO}_2\text{-SiO}_2\text{-Si}$ в ИК и терагерцовой полосе спектра

Л.В. Григорьев¹, А.А.Семенов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе исследовались тонкие пленки диоксида ванадия VO_2 полученные реактивным магнетронным распылением металлической мишени. Исследовались оптические свойства в ИК и субмиллиметровой полосе спектра. По результатам исследований дана оценка применимости тонких пленок VO_2 для создания микроболометров, работающих в терагерцовой полосе спектра.

Ключевые слова: реактивное магнетронное распыление, тонкие пленки, диоксид ванадия, структура $\text{SiO}_2\text{-Si}$, микроболометры, радиофотоника.

1. Введение

Диоксид ванадия VO_2 обладает высокими значениями отрицательного температурного коэффициента сопротивления (ТКС), часто превышающими 4 %/К [1]. Однако, диоксид ванадия – нестандартный материал для КМОП-технологии и изготовление тонких пленок VO_2 является сложным для технологического управления процессом из-за узкого диапазона технологических параметров, обеспечивающих стабильность и оптимальность характеристик синтезируемого оксида. Большой научный интерес к пленкам VO_2 обусловлен тем, что они, обладая диэлектрическими свойствами, при частотах ниже 6.7 ТГц имеют высокую прозрачность и низкое поглощение, обусловленное низкой концентрацией свободных носителей ($\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$) [2]. При температуре $T = 68 \text{ }^\circ\text{C}$ диоксид ванадия претерпевает фазовый переход диэлектрик-металл, при котором моноклинная кристаллографическая структуры преобразуется в тетрагональную при этом происходит уменьшение электрического сопротивления исследуемой тонкопленочной структуры до пяти порядков. В случае использования для предварительной накачки пленки импульсного лазера с плотностью потока излучения 2.0 мДж/см^2 время переключения фазового перехода «диэлектрик-металл» лежит в диапазоне несколько сотен фемтосекунд. Для этого перехода характерен гистерезисный эффект. Это позволяет создавать на основе тонких пленок диоксида ванадия сверхбыстродействующие микроболометры ИК и субмиллиметрового (Терагерцового) излучения. Все эти выдающиеся характеристики указывают на мощный потенциал пленок VO_2 для создания на их основе широкополосных переключателей, модуляторов и неохлаждаемых сенсоров для ИК техники или радиофотоники.

В работе проведено совместное исследование оптических и шумовых свойств тонких пленок VO_2 , нанесенных на поверхность структуры $\text{SiO}_2\text{-Si}$ в ИК и субмиллиметровом диапазоне спектра.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Пленки диоксида ванадия для плоскостных структур $\text{VO}_2\text{-SiO}_2\text{-Si}$ получали методом реактивного магнетронного распыления ванадиевой мишени марки ОСЧ.

Подложка на которой была из кремния КДБ-10 ориентации (100), с выращенным

на ее поверхности диоксидом кремния, толщиной 420 нм. Толщина слоя из диоксида кремния была оценена из интерферометрических измерений. Слой из диоксида кремния был выращен в атмосфере сухого кислорода.

После проведения серии исследований были выбраны оптимальные основные технологические параметры - парциальное давление кислорода в камере, мощность разряда и плотность тока магнетрона. В настоящей работе варьировали температуру подложки в диапазоне 500-400 °С. Время напыления составляло 15 минут, при средней скорости осаждения слоя из диоксида ванадия 3.5 нм/с. Толщина слоя из диоксида ванадия составила 3.1 мкм. В качестве электродов использовали полученные магнетронным распылением пленки титана с поверхностным сопротивлением 100 Ом/см. Выбор материала электродов из титана был обусловлен тем, что у Ti является наиболее подходящим материалом для создания структур микроболлометров из VO₂.

Были проведены исследования спектров пропускания структур в ИК полосе спектра и в субмиллиметровой полосе. На рисунке 1 приведена спектральная зависимость коэффициента пропускания в ИК области.

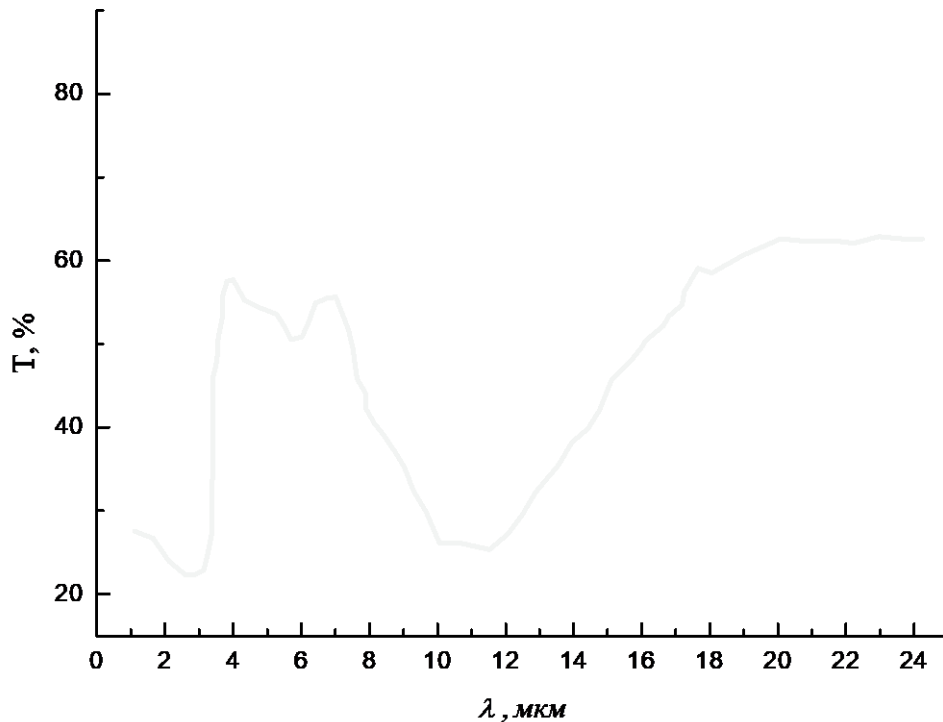


Рисунок 1. Коэффициент пропускания структур VO₂-SiO₂-Si в ИК области.

Коэффициент пропускания кремниевой структуры с тонкой пленкой VO₂ в ИК области имеет вид многогорбой кривой с минимумами в диапазоне 2.0- 4.0 и 8.0 – 12.0 мкм. В диапазоне 10.0 – 12.0 мкм коэффициент пропускания составляет не менее 28 %. Совместный анализ спектральных зависимостей коэффициента пропускания и отражения показал правильность выбранной физической модели построения микроболлометра, с использованием пленок диоксида ванадия, по схеме спектрального (оптического) резонатора.

На рисунке 2 приведена спектральная зависимость коэффициента пропускания в субмиллиметровой области.

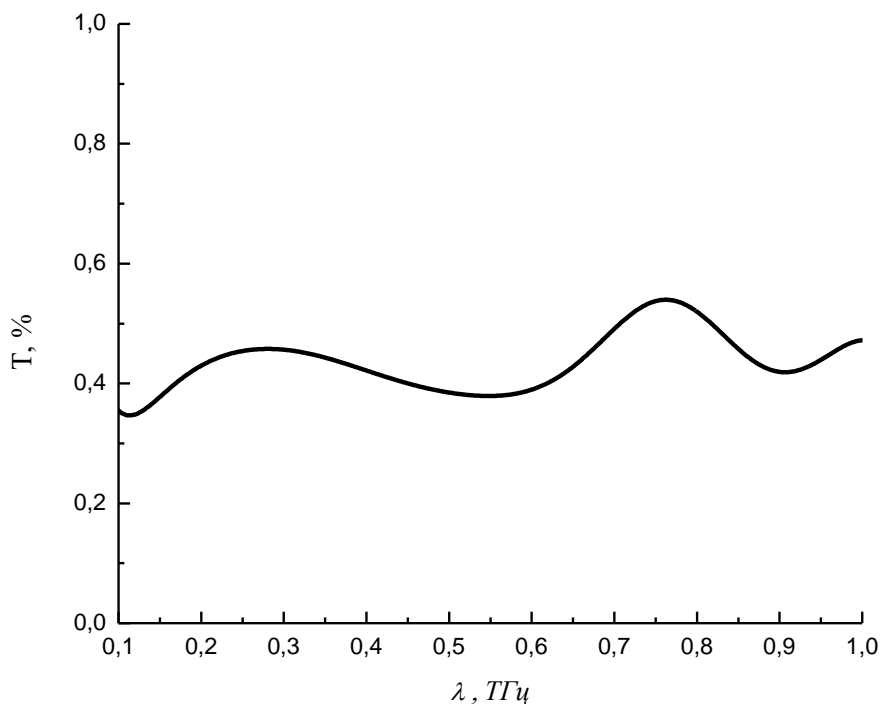


Рисунок 2. Коэффициент пропускания пленки VO_2 субмиллиметровой области.

Исследование спектров пропускания в терагерцовой области проводилось на установке, описанной в работе [3]. Генерация излучения в терагерцовой области осуществлялась оптическим способом: методом смешения двух оптических сигналов в нелинейно-оптическом кристалле. Диапазон генерируемого излучения находился от 0,1 ТГц до 1,2 ТГц. Регистрация терагерцового излучения происходила при помощи опто-акустического приемника, который помещался на место экрана. Величина падающей мощности ТГц излучения в диапазоне 0,1 – 1,2 ТГц не превышала 5 мкВт. Регистрировались импульсные спектральные зависимости на основе Фурье преобразований и метода регуляризации Тихонова-Лаврентьева восстанавливались спектральные зависимости коэффициента пропускания.

Приведенный на рисунке 2 вид коэффициента пропускания структуры, содержащей тонкую пленку оксида ванадия, позволяет применять данный материал для построения на его основе быстродействующих микроболометров ИК и субмиллиметрового диапазона спектра. Относительная равномерность в коэффициенте пропускания может быть использована для построения приемных площадок неохлаждаемых сенсоров ИК и Терагерцового излучения в приборах радиофотоники.

3. Заключение

С мишенью из ванадия марки ОСЧ, в планарной конфигурации электродов, были получены тонкие пленки диоксида ванадия на поверхности SiO_2 с $\rho = 3\text{-}5$ МОм/см. Средний ТКС микроболометрической структуры составляет 110 КОм/К, в диапазоне температур 25 – 40 °С, что в четыре раза превышает аналогичный параметр для микроболометрической структуры построенной на основе тонкой пленки аморфного кремния.

Таким образом, микроболометрическая структура на основе оксида ванадия, при условии отсутствия анизотропии свойств пленок оксида ванадия, превышает по эффективности преобразования ИК излучения структуру на основе аморфного кремния.

Список литературы

1. Зеров В.Ю., Куликов Ю.В., Маляров В.Г, Хребтов И.А., Шаганов И.И., Шадрин Е.Б. Пленки VO_x с улучшенными болометрическими характеристиками для ИК матриц //Письма в ЖТФ. – 2001. – Т. 27. – Вып.9 – С.57-63.
2. Марченко В.А. Реактивное магнетронное напыление пленок оксидов ванадия для неохлаждаемых болометров //Прикладная Физика. -2008. -№1.-С.35-39.
3. Григорьев Л.В., Горбачев А.А., Соломин С.О., Седых Е.А. // Оптика и Спектроскопия. - 2016.- Т.121.-№4.-С.601-605.