

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК ТИТАНА ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ

И.С. Нуприенок, А.М. Чапланов

Институт электроники НАН Беларуси, 220090, г. Минск, Логойский тракт, 22, т.265-33-22

Исследовано влияние лазерного излучения на электропроводность тонких пленок Ti, находящихся в нагретом состоянии. Установлено, что облучение пленок титана пучком линейно поляризованных фотонов с энергией кванта 1,96 эВ при отжиге в вакууме влияет на кинетику изменений сопротивлений.

Введение

В технологии изготовления полупроводниковых приборов широко используются тонкопленочные материалы. Полупроводниковые элементы на основе тугоплавких металлов в современной микроэлектронике считаются перспективными высокотемпературными приборами благодаря электрофизическим свойствам металлов, высокой температуре плавления их оксидов. В поликристаллических тонких металлических пленках при термическом отжиге протекают процессы рекристаллизации, в результате которых пленка переходит в термодинамически более равновесное состояние. Одновременно при отжиге поликристаллических геттерных пленок в вакууме протекают процессы их окисления, приводящие к формированию и росту оксидов, что затрудняет использование этих пленок в технологии изготовления микроэлектронных устройств. В последнее время широко исследуются процессы нетермического характера, происходящие в тонких пленках при термической обработке и одновременном воздействии пучком фотонов с различной энергией фотона, влияющей на структуру, фазовый состав, и как следствие, на электрофизические параметры пленки [1-7].

Накоплен большой экспериментальный и теоретический материал по исследованию термохимического действия светового излучения. Тем не менее, необходимо отметить, что полностью пока не выяснены процессы, касающиеся кинетики изменений сопротивлений тонких пленок при комбинированном отжиге, включающем в себя стационарный термический отжиг и одновременное лазерное облучение.

Методы обработки

Пленки титана толщиной 100 нм получали методом термического осаждения в вакууме (остаточное давление $p \sim 0.3$ мПа) на ситалловую подложку при температуре 373 К. Известно, что титан – хороший геттер, поэтому для уменьшения в получаемых пленках концентрации атомов остаточных газов осаждение пленок проводилось со скоростями порядка 100 Å/с. Перед осаждением подложки закрывались заслонкой. После стабилизации процесса испарения (через 10-15 с) заслонка открывалась и происходило осаждение пленок нужной толщины. Предварительное испарение материала также способствовало повышению вакуума и, следовательно, снижению в пленках концентрации примесей атомов остаточных газов.

Термическая обработка пленок осуществлялась в вакууме ($p \sim 0.05$ мПа) при температурах $T=400-600^\circ\text{C}$ и времени $\tau = 1-20$ мин. Лазерное облучение проводилось лазером ЛГН-215 с длиной волны $\lambda = 0.63$ мкм; мощность излучения, сфокусированного на поверхности образца, составляла 35 мВт, диаметр лазерного пучка был равен 5 мм.

Изменение сопротивления пленок титана, обработанных таким образом, исследовалось при помощи четырехзондового метода [11]: зонды устанавливались в вакуумной камере. Параметры обработки наиболее интересны с точки зрения выяснения процессов, происходящих в тонких пленках титана при мощности лазерного излучения 35 мВт. Лазерное излучение такой мощности не вызывает прироста температуры облучаемой поверхности образца и мощность контролировалась с помощью измерителя мощности ИМО-2 в течение всего процесса обработки. Для изменения поляризации лазерного излучения применялась призма Глана.

Результаты эксперимента

Проведенные работы показали, что при стационарной термической обработке пленок титана в зависимости от времени отжига происходит изменение сопротивлений пленок титана. Как показывает рис.1 (зависимость 1), исходное сопротивление пленки титана $R_1 = 2$ Ом в течение $\tau = 20$ мин увеличилось до $R_2 = 8$ Ом. Расчеты сопротивлений пленок проводились с учетом теории зондовых измерений электропроводности В.Л.Конькова [9], учитывающей геометрию исследуемого образца; в результаты измерений не входит контактное сопротивление.

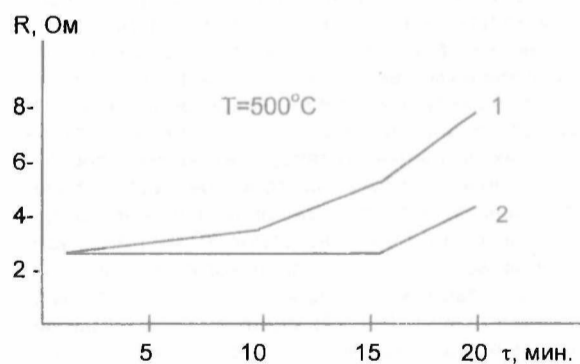
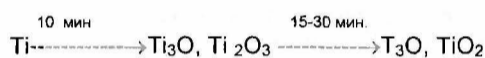


Рис.1. Изменение сопротивлений пленок титана

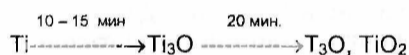
Иная ситуация наблюдается в пленках титана, отожженных при тех же условиях, но облучаемых в процессе отжига лазерным пучком с линейной поляризацией. Из рис.1 (зависимость 2) можно видеть, что на протяжении $\tau = 15$ мин. Изменения сопротивления пленок титана вообще не происходит, т.е. отсутствует эффект роста сопротивлений, наблюдаемый при термическом отжиге. Увеличение сопротивления наблюдается только при $\tau = 15-20$ мин.

Обсуждение результатов

В работах [7,8] исследовалось изменение структуры и фазового состава пленок титана при термическом отжиге с одновременным облучением гелий-неоновым лазером с $\lambda = 0.03$ мкм. Авторами было показано, что при термическом отжиге в вакууме пленок титана в них происходят процессы рекристаллизации и окисления. При температуре $T=500^\circ\text{C}$ наблюдается следующее изменение фазового состава в зависимости от длительности отжига:



При дополнительном облучении отжигаемой пленки гелий-неоновым лазером мощностью 35 мВт происходит подавление процессов окисления, изменяется кинетика окисления:



Следовательно, из сопоставления полученных нами результатов по изменению электропроводности пленок в зависимости от температуры и длительности отжига с данными по кинетике изменения фазового состава отжигаемых пленок титана следует, что увеличение электросопротивления пленок титана при термическом отжиге обусловлено в первую очередь окислением пленок, т.е. образованием и ростом оксидных фаз (рис.1, зависимость 1). Иначе изменяется электросопротивление пленок титана, отжигаемых при одновременном облучении гелий-неоновым лазером с энергией квантов 1.96 эВ (рис.1, зависимость 2). Электросопротивление пленок титана, отжигаемых при температуре 500°C практически не изменяется в течение 15 минут; дальнейшее увеличение времени отжига сопровождается незначительным увеличением электросопротивления. Как следует из схемы, представляющей последовательность фазовых превращений, происходящих в пленках титана, отжигаемых при одновременном облучении гелий-неоновым лазером, фазовый состав пленок не изменяется при длительностях отжига не более 15 мин. При увеличении времени отжига происходит образование твердого раствора кислорода в титане и формирование оксида TiO_2 . По-видимому, образование оксидных фаз и приводит к увеличению электросопротивления. Проведенные эксперименты по отжигу пленок титана при одновременном облучении лазерным пучком, имеющим круговую и

линейную поляризацию показали, что увеличение электросопротивления происходит лишь при облучении лазерным пучком, имеющим круговую поляризацию (рис. 2).

R, Ом

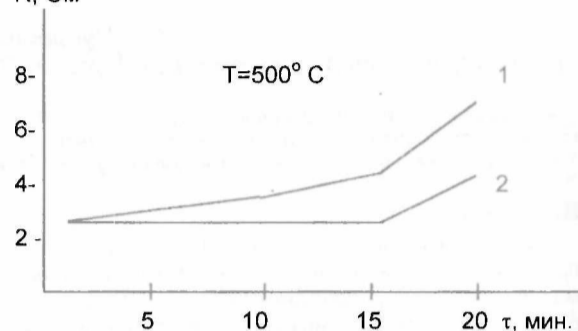


Рис.2. Изменение сопротивлений пленок титана при отжиге с облучением лазерным пучком: 1 - с круговой поляризацией; 2 - с линейной поляризацией

Электросопротивление отжигаемых пленок титана, подвергшихся одновременному облучению линейно-поляризованным лазерным пучком при длительности отжига до 15 мин. Практически не изменяется, но с увеличением длительности отжига незначительно возрастает. Полученные результаты коррелируют с данными, приведенными в работе [10], где исследовалось изменение фазового состава пленок, отжигаемых при одновременном облучении световым пучком гелий-неонового лазера, имеющего круговую и линейную поляризацию.

Возможно, вклад в электросопротивление пленок обусловлен анизотропией формы изометрических поверхностей, возникающей вследствие упругих деформаций в системе пленка-подложка, как это было показано в работах [8,10] для алюминиевых пленок.

Однако, мы считаем, что в нашем случае изменение электросопротивления обусловлено в первую очередь процессами окисления, протекающими в пленке титана при отжиге.

Заключение

Таким образом, на основании проведенных экспериментов было установлено, что изменение электросопротивления в пленках титана при стационарном отжиге обусловлено образованием и ростом оксидных фаз. Облучение линейно-поляризованным светом с энергией фотонов 1.96 эВ подавляет процессы окисления, что приводит лишь к незначительному увеличению электросопротивления пленок титана при отжиге.

Список литературы

1. Нуприенок И.С., Шибко А.Н. // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2002. – Т.7. - №2. – С. 86.
2. Чапманов А.М., Шибко А.Н. // Квантовая электроника. – 2000. – Т. 30. - №6. – С.532.
3. Чапманов А.М., Шибко А.Н. // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1998. - №9. – С.89.
4. Чапманов А.М., Шибко А.Н. // Квантовая электроника. – 1993. – Т.20. - №2. – С.191.
5. Чапманов А.М., Шибко А.Н. // Неорганические материалы. – 1993. – Т.29. - №11. – С.1477.

6. Нуприенок И.С., Чапланов А.М., Шибко А.Н. // Металлофизика и новейшие технологии. – 1995. – Т.17. – С.73.
7. Ховиев А.М. Лазерный метод формирования оксидных пленок на поверхности проводящих твердых тел. – Воронеж, 1977. – 80с.
8. Олеванов М.А. // Доклады Академии Наук. – 2001. – Т.376. - №2. – С.178.
9. Коньков В.Л., Рубцова Р.А. // Известия высших учебных заведений. – 1965. - №1. – С.135.
10. Рагульский В.В. // Доклады Академии Наук. – 1996. – Т.349. - №1. – С.38.
11. Гранитов Г.И. Физика полупроводников и полупроводниковые приборы. – М.: Советское радио, 1977. – 184с.

EFFECT OF POLARIZED LASER RADIATION ON THE RESISTANT OF TITANIUM FILMS UNDER THERMAL ANNEALING

I. Nupriyok, A. Chaplanov

Institute of Electronics NAN of Republic of Belarus, 220090, Minsk, 22 Logoiskii tract, ph. 265-33-32

The effect of laser irradiation of Ti films found in heated state on the change of their resistant is studied. The exposure of Ti films to a beam of linearly polarized photons with $h\nu = 1.96$ eV during their annealing in vacuum was found to suppress the resistant changes.