

УДК 537.312

В. М. АНИЩИК, Г. А. ГУМАНСКИЙ, В. М. ДРАКО

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК МЕДИ И ЖЕЛЕЗА ПРИ ОТЖИГЕ

В последнее время ведутся интенсивные исследования электрических свойств тонких металлических пленок при имплантации. Однако процессы, протекающие при отжиге таких пленок, изучены крайне слабо. В данном сообщении приводятся некоторые результаты исследования электросопротивления и структуры пленок меди и железа при изохронном отжиге.

Пленки меди (250—5000 Å) наносили на стеклянные подложки термическим испарением в вакууме 10^{-5} тор, пленки железа (1500—2000 Å) — на ситалловые подложки, подогретые до 300 °С, в вакууме 10^{-6} тор. Имплантацию ионами углерода и висмута с энергиями от 30 до 60 кэВ осуществляли при плотности тока 1—3 мкА/см², имплантацию ионами молекулярного азота энергией 60 кэВ — при 20 мкА/см².

Изохронный отжиг проводили в вакууме 10^{-7} тор, интервалами в 50 °С, начиная с 100 °С, с выдержкой 15 мин при каждой температуре.

Характер кривых изохронного отжига электросопротивления пленок железа, имплантированных ионами азота (рис. 1), резко отличается от кривых для пленок, имплантированных ионами углерода (рис. 2), и пленок меди, имплантированных ионами висмута (рис. 3). В первом случае сравнительно высокое начальное электросопротивление пленок железа, имплантированных азотом, резко убывает при 250 °С, причем для доз $1 \cdot 10^{17}$ ион/см² спад сопротивления идет в два этапа: при 250 и 350 °С. Можно отметить, что до отжига сопротивление образцов сильно зависит от дозы имплантации, после отжига становится практически одинаковым. Высокое сопротивление имплантированных азотом слоев железа, вероятно, обусловлено синтезом некоторых разновидностей нитрида железа в процессе имплантации, при котором может существенно измениться не только подвижность, но и концентрация электронов проводимости. Наличие нитридов в слоях железа, имплантированного азотом, подтверждается электронографически [1]. Спад сопротивления при отжиге может быть следствием распада нитридов из-за их термической неустойчивости. Наличие двух ступенек на кривых изохронного отжига образцов, имплантированных потоком $1 \cdot 10^{17}$ ион/см², указывает на наличие двух модификаций нитрида железа с различной термической устойчивостью.

Начальные значения электросопротивления на кривых изохронного отжига слоев железа, имплантированных ионами углерода (см. рис. 2), сравнительно невелики, причем в отличие от предыдущего случая замечен спад сопротивления при отжиге до 200 °С. Контрольный образец в этом интервале температур не изменяет своего сопротивления. Вероятно, при имплантации углерода в пленке железа образуются радиационные

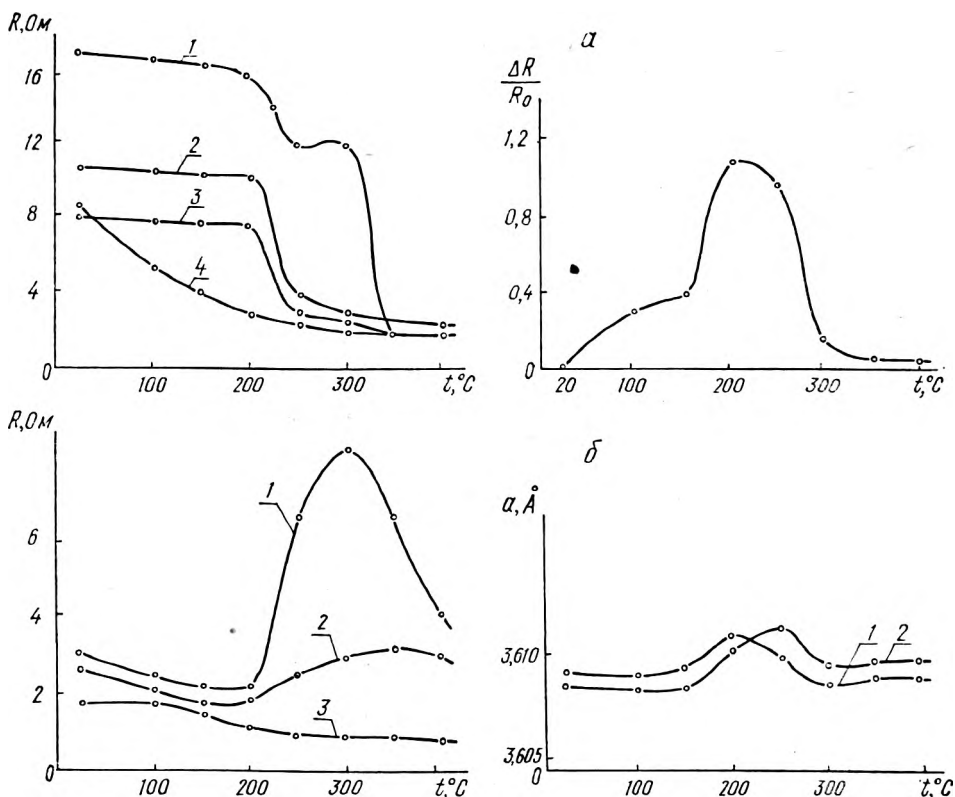


Рис. 1. Зависимость электросопротивления пленок железа, имплантированных ионами молекулярного азота, от температуры изохронного отжига:
1 — 10^{17} ; 2 — $2 \cdot 10^{16}$; 3 — $7 \cdot 10^{15}$ ион/см²; 4 — контрольный образец

Рис. 2. Зависимость электросопротивления пленок железа, имплантированных ионами углерода, от температуры изохронного отжига:
1 — 10^{17} ; 2 — $5 \cdot 10^{16}$ ион/см²; 3 — контрольный образец

Рис. 3. Относительное изменение электросопротивления пленок меди, имплантированных ионами висмута (40 кэВ), от температуры изохронного отжига (а); изменение параметров решетки пленки меди толщиной 5000 Å (б):
1 — образец № 1, 2 — образец № 2

дефекты, отжигающиеся на начальной стадии термообработки. При 250 °С начинается резкий рост сопротивления, которое достигает максимума при 300 °С, а затем уменьшается, особенно сильно для потока $1 \cdot 10^{17}$ ион/см². Электросопротивление имплантированных образцов сохраняет повышенное значение после изохронного отжига вплоть до 400 °С, причем имеется явная зависимость от дозы имплантации. Таким образом, можно предположить, что при имплантации пленок железа ускоренными ионами углерода карбид железа образуется при повышенных температурах, тогда как имплантация при комнатной температуре приводит лишь к насыщению слоя железа внедренными атомами углерода и радиационными дефектами без образования химического соединения. Максимум на кривой изохронного отжига при температурах 250—300 °С может быть обусловлен переходом углерода через мартенситную фазу (ϵ — карбид). Электронографические исследования ионнолегированного углеродом железа [2—4] показывают, что структурные превращения (возможно, образование карбида железа) идут в процессе ионной имплантации. Данные об электрических свойствах имплантированного ускоренными ионами железа в литературе отсутствуют. Можно предположить, что различие в поведении пленок железа, имплантированных углеродом и азотом, обусловлено неодинаковыми условиями имплантации ионами углерода и азота: применялись ионные пучки с существенно

различной плотностью тока. Так, при имплантации слоев железа ионами углерода плотность ионного тока составляла 1—3 мкА/см², при этом не происходило сколько-нибудь заметного разогрева мишени, в ней образовывались и накапливались радиационные дефекты, отжиг которых наблюдался на начальных участках кривых (см. рис. 2). Карбид железа при этих условиях не образуется. Имплантация железа ионами молекулярного азота проводилась при плотности ионного тока до 20 мкА/см². При такой плотности тока происходил определенный разогрев поверхности. О степени этого разогрева можно судить по начальным участкам кривых изохронного отжига электросопротивления на рис. 1. У образцов, имплантированных даже самыми малыми дозами, спад сопротивления выражен очень слабо вплоть до 200 °С, тогда как у контрольного образца (данная серия образцов не отжигалась перед облучением) отмечен интенсивный отжиг дефектов, образованных в процессе осаждения тонкой пленки на подложку. Следовательно, при имплантации ионами молекулярного азота отжигаются как дефекты, присущие образцу в исходном состоянии, так и в значительной мере радиационные дефекты, образующиеся в процессе имплантации. Такой отжиг возможен при заметном прогреве имплантируемой поверхности, при этом создаются условия для синтеза нитридов железа, образование которых наблюдается при сходных режимах имплантации [1].

На рис. 3, а приведена кривая изохронного отжига электросопротивления пленок меди, имплантированных ионами висмута. Висмут не обладает заметной растворимостью в меди, не образует с ней равновесных химических соединений, практически не образует даже эвтектики (состав эвтектики 99,4% вес. Вi, 0,6% вес. Сu). Поэтому прогрев до температур выше 300 °С приводит к выделению висмута на поверхности образцов, заметному визуально для больших потоков имплантации. Происхождение максимума на рис. 3, а не совсем ясно и требует дополнительных исследований, однако, несомненно, он отражает процесс перераспределения атомов висмута, внедренных в медную пленку.

На наличие структурных изменений в образцах меди, имплантированных ионами висмута и отожженных при 250 °С, указывают результаты рентгенодифрактометрических исследований. Изучалась зависимость формы и положения дифракционной линии (III) от потока ускоренных ионов и температуры изохронного отжига имплантированных слоев меди. Обнаружено, что интенсивность и форма дифракционной линии (III) существенно не изменяются. Параметр решетки увеличивается после имплантации на 0,1—0,2%. На рис. 3, б изображена зависимость параметра решетки пленок меди толщиной 5000 Å, имплантированных ионами висмута потоком $1 \cdot 10^{17}$ ион/см², в зависимости от температуры изохронного отжига. Имеющийся на кривой максимум коррелирует с максимумом на рис. 3, а. Изменение параметра решетки в максимуме достигает 0,15%, что в три раза выше погрешности эксперимента. Это изменение параметра решетки обусловлено возникновением напряжений в пленке за счет структурных изменений в поверхностном слое, содержащем имплантированный висмут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В. Н. и др.— ФТТ, 1976, т. 18, с. 1.
2. Павлов А. В.— Уч. зап. Горьковского ун-та, 1973, с. 167.
3. Павлов А. В. и др. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом, ч. 1.— Киев, 1974.
4. Vogel F. L.— Thin Solid Films, 1975, v. 27, p.2.

Поступила в редакцию
03.10.78.

Кафедра физики твердого тела