

Summary

Parameters of the laser soldering and microwelding of electronics products are investigated and optimized. Optimum modes of the laser soldering are: capacity 24 Wt, diameter of a beam of 2.5 mm, speed of moving 7 mm / with, productivity up to 300 contacts/minutes. Depth of fusion at microwelding linearly depends on energy of radiation, duration of a pulse and diameter of a laser beam.

Б.Э. Эгамбердиев, Б.Ч. Холлиев, А.С. Маллаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ПРОФИЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОГО МАРГАНЦА В КРЕМНИИ

*Ташкентский государственный технический университет,
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Республика Узбекистан*

В полупроводниковой микроэлектронике широкое применение находят материалы, в которые вводятся примеси путем ионной имплантации, позволяющие в широком диапазоне варьировать концентрацию легирующих элементов в приповерхностных слоях.

Как известно, профили распределения примесей в кремнии, легированных элементами, создающими мелкие уровни, описываются теорией ЛШШ.

Цель настоящей работы – изучение имплантированных атомов марганца в кремнии в зависимости от дозы имплантации и температуры отжига.

Для исследований использован кремний p -типа марки КДБ-10, имплантированный марганцем с дозой 10^{15} – 10^{17} ион/см². В целях активации примесей и отжига радиационных дефектов производится термоотжиг в интервале температур 300–1000⁰С.

Профили распределения марганца в кремнии определены методом вторично ионно-масс-спектрометрии (ВИМС), а также послойным измерением удельного сопротивления 4 зондовым методом в комбинации с удалением тонких слоев медленным травлением.

На рис. 1 показана зависимость изменения поверхностного сопротивления ρ_n – образцов с дозой имплантации $N_0=10^{16}$ ион/см² от длительности отжига при температурах 300, 515 и 600⁰С. Из рисунка следует, что с ростом длительности отжига сначала ρ_n повышается до некоторого максимального значения, затем снижается до параметров исходного материала независимо от температуры. При этом резкое изменение ρ_n происходит при температуре 300⁰С, так как за 60 мин отжига восстанавливаются параметры исходного материала. Наиболее медленное восстановление параметров исходного материала наблюдается при температуре 515⁰С.

Аналогичные зависимости изменения ρ_n от длительности отжига характерны для всех доз имплантации. При температурах до 600⁰С зависимость изменения ρ_n также не зависела от вакуума. В отличие от этого при $T > 600^0$ С изменения ρ_n от длительности отжига становятся зависимыми от условий отжига. Такая зависимость при $T = 800^0$ С приведена на рис. 2.

Как видно, при отжиге под давлением аргона характер изменения ρ_n аналогичен характеру изменения при $T = 600^0$ С, тогда как ρ_n образцов, отожженных в вакууме, по мере повышения длите-

льности отжига увеличивается, достигая своего максимального значения (n -тип $\rho_n = 1,1 \cdot 10^5$ Ом) в течение 1 часа. В дальнейшем ρ_n несколько уменьшается.

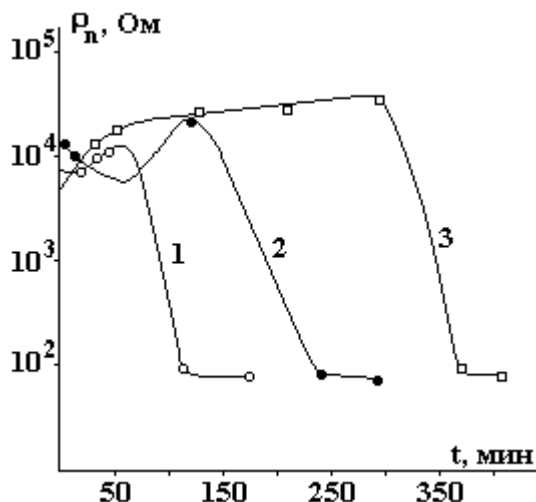


Рис. 1. Зависимость изменения ρ_n от температуры и длительности отжига. $N_0 = 10^{16}$ ион/см²; T , °C: 1 – 300; 2 – 515; 3 – 600

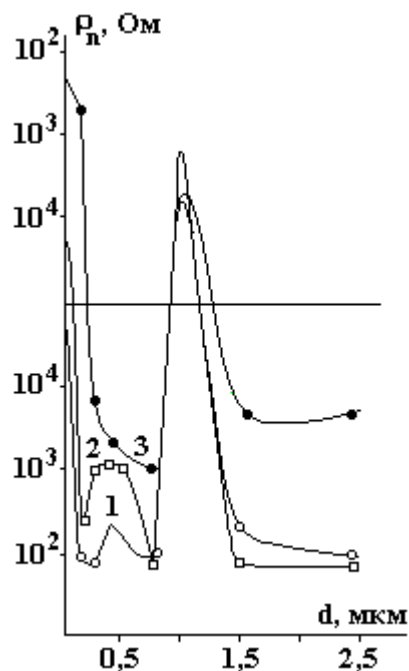


Рис. 2. Профиль распределения ρ_n в зависимости от температуры отжига. $N_0 = 10^{16}$ ион/см²; $t = 60$ мин, $P = 10^{-4}$ мм рт.ст., T , °C: 1 – 600; 2 – 800; 3 – 1000

Теперь приступим к рассмотрению профиля распределения по глубине образца, так как он несет информацию о профиле распределения имплантированных атомов. На рис. 2 приведены профили распределения ρ_n образцов, отожженных при 600, 800 и 1000°C под вакуумом 10^{-4} мм рт. ст., снятые в течение 1 часа. Из рисунка следует, что профиль распределения имеет три участка: первый – это поверхностный участок, где происходит резкое изменение ρ_n вглубь кристалла. Протяженность 1-го участка увеличивается по мере роста температуры отжига; второй – средний участок, где профиль ρ_n более однороден, если не учитывать некоторый рост при глубине 0,4 мкм, при $T = 700^\circ\text{C}$ на данном участке с ростом T величина ρ_n несколько увеличивается; третий – на этом участке происходит вновь резкое повышение ρ_n с последующей инверсией проводимости на n -тип. На глубине 1 мкм происходит максимальное изменение ρ_n , и в дальнейшем величины ρ_n резко уменьшаются до параметров исходного материала. Следует отметить, что путем термоотжига в интервале температур $T = 700\text{--}1000^\circ\text{C}$ в образцах кремния, имплантированных MN с дозой 10^{16} ион/см² в течение 1 часа, могут быть получены скрытые p - n переходы на глубине 1 мкм.

Особое внимание представляет исследование влияния условий отжига на профиль распределения ρ_n . На рис. 3 показан профиль распределения ρ_n в зависимости от длительности отжига для образцов с дозой $N_0 = 10^{16}$ ион/см², отожженных в вакууме при $T = 800^\circ\text{C}$; для сравнения на этом рисунке приведены также профили распределения образцов, отожженных под давлением аргона в течение 2 часов. Из рисунка следует, что повышение длительности отжига до 2 часов приводит к резкому повышению ρ_n второго участка. При длительности же отжига 3 часа ρ_n второго участка вновь становится сравнимым с ρ_n при часовом отжиге. Протяженность первого участка зависит от длительности отжига, и с ростом последнего она углубляется в объем кристалла. В отличие от образцов, отожженных в вакууме, в образце, отожженном под давлением аргона, первый участок отсутствует, а на втором участке появляются два максимума на глубинах 0,25 и 0,5 мкм.

Следует отметить, что наблюдаемые изменения ρ_n при температурах отжига $T < 1000^\circ\text{C}$ происходят лишь на приповерхностном участке. Тогда как в объеме кристалла заметное изменение удельного сопротивления не наблюдается.

С целью уточнения возможности применения теории ЛШШ для описания профилей распределения имплантированных атомов марганца в кремнии, а также установления природы изменения ρ_n исследованы спектры ВИМС как до, так и после различных термообработок.

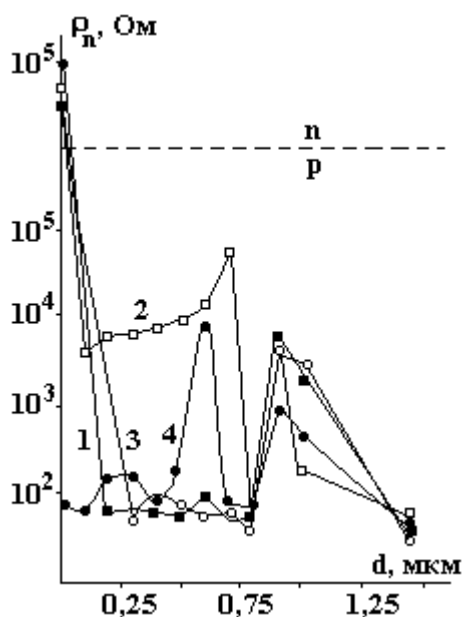


Рис. 3. Профиль распределения ρ_n в зависимости от длительности отжига. $P = 10^4$ мм рт.ст. под давлением Ar; t , мин: 1 – 60; 2 и 4 – 120; 3 – 180

Из результатов по исследованию профиля распределения образцов кремния, отожженных при различных температурах, имплантированного марганцем, следует, что величина поверхностного ρ_n и протяженность первого участка зависят от условий отжига (температуры, длительности отжига, остаточного давления в ампуле). Если учесть, что и профиль распределения марганца после отжига, также зависит от условий отжига, то очевидно, что этот участок повышения ρ_n образцов не носит диффузионного характера. В данном случае особенности изменения ρ_n могут быть связаны с наличием двух конкурирующих процессов:

- восстановления кристаллической решетки во время отжига, в процессе которого из-за ограниченной растворимости примесные атомы марганца вытесняются с поверхности кристалла в объем;
- усиления испарения марганца в процессе отжига, по мере снижения остаточного давления в ампуле марганец перемещается из объема на поверхность.

Если изменения величины ρ_n образцов кремния, имплантированного элементами 3-й и 5-й группы таблицы Менделеева, в процессе термообработки в интервале 600–1000⁰С связывают с активацией их в объеме кристаллов, то изменение ρ_n образцов кремния, имплантированного марганцем, все же трудно связать с непосредственной активацией самого марганца. Такое предположение связано с тем, что непосредственно примесные атомы марганца могут активироваться лишь в том случае, если они попадают в междоузельные кристаллические решетки или образуют различные донорные акцепторные комплексы с исходными атомами или дефектами кристаллической решетки. Возможно также образование нейтральных комплексов с отдельными точечными дефектами (вакансии, образующиеся в процессе ионной бомбардировки). Как междоузельные атомы марганца, так и их комплексы нестабильны при $T > 300^0$ С.

Таким образом можно отметить, что при термообработке образцов кремния, имплантированного марганцем, происходит сложный процесс активации марганца за счет образования различных силицидов как на поверхностном участке, так и в объеме кристалла.

Поступила 27.05.04

Summary

The results of investigation and research of some particularities of distribution and electro-physical properties of the ion-implanted Mn atoms in silicon as a function of the dose of implantation and the temperature of annealing are presented in the given work. It has been determined that in the process of thermal processing of the Mn- ion-implanted silicon samples, complex process of activation of Mn takes place. Meanwhile, the process of Mn activation takes place due to formation of various silicides both on the surface and in the bulk of crystal lattices.