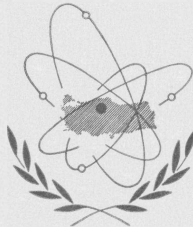


T. C.
ATOM ENERJİSİ KOMİSYONU

MOS (METAL-OXİDE-SEMİCONDUCTOR) YAPISINDA
N_{ss} YÜZEY ENERJİ DURUMLARI YOĞUNLUĞUNUN
X-IŞINLARI İLE DEĞİŞİMİ*

R.ELLİALTIOĞLU - O.SENCER - U.BÜGET

Kasım, 1973



MOS (METAL-OXİDE-SEMİCONDUCTOR) YAPISINDA
N_{ss} YÜZEY ENERJİ DURUMLARI YOĞUNLUĞUNUN
X-IŞINLARI İLE DEĞİŞİMİ*

R.ELLİALTIOĞLU - O.SENCER - U.BÜGET

Kasım, 1973

*Bu çalışma TÜBİTAK IV. Bilim
Kongresine sunulmuştur.

ÖZET

5 ohm-cm rezistiviteli p-tipi bir silisyum dilimi üzerinde 2160 Å kalınlığında SiO₂ tabakası büyütülerek Au-SiO₂-Si-Al MOS yapısı inşa edildi ve 4.5 MHz 'de yapının C-V karakteristikleri ölçüldü. Ölçülerden faydalanarak yüzey enerji durumları yoğunluğu hesaplandı ve $1.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ olarak bulundu. Yüzey enerji durumları yoğunluğunun, ışınlama hızı 60 R/dak, çalışma voltajı 150 KV ve anod akımı 5 mA olan bir X-ışını tüpü kullanarak, ışınlama süresiyle değişimi incelendi ve doyma eğrisi elde edildi.

SUMMARY

A 2160 Å thick SiO₂ layer was growth on a p-type silicon wafer of the resistivity of 5 ohm-cm and an Au-SiO₂-Si-Al MOS structure was built. The C-V characteristics of the structure was measured at 4.5 MHz. The surface-state density was calculated using these measurements and found as $1.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$. Using an X-ray machine with the operating voltage of 150 kV the anode current of 5 mA and the exposure rate of 60 R/min., variations of surface-state density with the irradiation time was observed and the saturation curve was plotted.

MOS (METAL-OXİDE-SEMİCONDUCTOR) YAPISINDA N_{ss} YÜZEY ENERJİ DURUMLARI YOĞUNLUĞUNUN X-IŞINLARI İLE DEĞİŞİMİ

M. R. ELLİALTIOĞLU, A. E. K. Ankara Nükleer Araştırma Merkezi
O. SENCER, A. E. K. Ankara Nükleer Araştırma Merkezi
U. BÜGET, A. E. K. Ankara Nükleer Araştırma Merkezi

GİRİŞ

MOS yapısı metal, yalıtkan ve yarı iletken den meydana gelen bir sandviç yapıya sahiptir. Genellikle yarı-iletken olarak silisyum, yalıtkan olarak silisyum dioksit ve metal olarak da doğrultucu kontak temin edebilmesi için altın kullanılır. MOS yapısı değişken bir kapasite elemanı olarak ilk defa PFANN ve GARRETT (1) tarafından ileri sürüldü. Daha sonra GARRETT ve BRATTAIN (2) ın termodinamik dengenin kurulduğu yarı-iletken yüzeyindeki yük dağılımları için geliştirdiği basit teoriyi LINDNER (3) Si-SiO₂ MOS yapısına uyguladı. Elde ettiği teorik eğri ile deneysel eğrinin farkından $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ lik bir yüzey enerji durumları yoğunluğu buldu. Daha sonra bir çok araştırmacı tarafından bulunan yüzey enerji durumları yoğunluğu 10^{11} ile 10^{12} cm^{-2} değerleri arasındadır (4).

MOS yapılarında radyasyonun etkisi bir çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve ara yüzeydeki tuzakların iyonize olarak yüzey enerji durumları yoğunluğunda artma meydana getirdiği gözlenmiştir (4, 5, 6). Bu çalışmada da X-ışınına tutulan p-tipi bir Si-SiO₂-Au MOS yapısında ışınlama süresine bağlı yüzey enerji durumları yoğunluğunu veren bir doyma eğrisi elde edilmiştir.

SEMBOLLER

A	Metal kontak alanı
C	Toplam MOS kapasitesi
C/C_0	Normalize edilmiş MOS kapasitesi
C_0	Oksit kapasitesi
C_s	Schottky kapasitesi
k	Boltzmann sabiti
L_D	Debye uzunluğu
N_A	Akseptör konsantrasyonu
n_i	Saf yarı-iletken için taşıyıcı konsantrasyonu
N_{ss}	Yüzey enerji durumları yoğunluğu
q	Elektron yükü
Q_s	Schottky bölgesinde biriken yük yoğunluğu
T	Sıcaklık
V_G	Kontak potansiyeli
ΔV	Voltaaj kayması
ϵ	Boşluk geçirgenliği
ϵ_s	Silisyumun dielektrik sabiti
ϕ_{MS}	Metal-yarı iletken engeli
ψ_s	Yüzey potansiyeli

TEORİ

Teorik MOS kapasitesi, sıfır bayasta yapının düz band modunda çalıştığı varsayılarak bulunur; yani oksit tabakası içinde yük olmadığı kabul edilir. Dolayısıyla, elde edilen teorik ve deneysel C-V eğrilerinin düz band kapasitelerine karşılık gelen ΔV voltaj kaymasına (Şekil 1), metal-yarı iletken iş fonksiyonları farkı ile yüzey yükü sebep olur. Buna göre yüzey enerji durumları yoğunluğu

$$N_{ss} = - \frac{C_o}{q} (\Delta V - \phi_{MS}) \quad (1)$$

ifadesinden hesaplanır (7).

Uygulanan kontak potansiyelinin, bir kesri oksit üzerine düşer; kalanı da yarı-iletkenin ara yüzey yakınında band bükülmesi meydana getirir. Buna göre, kontak potansiyeli için

$$V_G = - \frac{Q_s}{C_o} + \phi_s \quad (2)$$

ifadesi verilir. (4) Schottky kapasitesi, ara yüzeyde biriken yükün yüzey potansiyeli ile değişimine eşittir, yani (8)

$$C_s = - \frac{dQ_s}{d\phi_s} \quad (3)$$

Burada

$$Q_s = \pm \frac{2 \epsilon \epsilon_s k T}{q L_o} \left\{ \exp \left(- \frac{q \phi_s}{k T} \right) + \frac{q \phi_s}{k T} - 1 + \frac{n_i^2}{N_A^2} \left[\exp \left(\frac{q \phi_s}{k T} \right) - \frac{q \phi_s}{k T} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad (4)$$

dir. Eşitliğin önündeki işaret $\phi_s < 0$ için pozitif, $\phi_s > 0$ için negatif alınır.

(2), (3) ve (4) ifadelerinden görüldüğü gibi hem kontak potansiyeli V_G , hem de normalize edilmiş MOS kapasitesi $C/C_o = (1 + C_o/C_s)^{-1}$, yüzey potansiyeli ϕ_s 'in lineer olmayan birer fonksiyonudur. Bundan dolayı ϕ_s 'e değerler verilerek V_G ve C/C_o hesaplanır ve grafiğe geçirilir (9).

DENEYSEL YÖNTEM VE İRDELEME

5 ohm-cm rezistiviteli p-tipi bir silisyum dilimi önce ince aliminyum tozuyla mekanik olarak sonra da CP-4 asit karışımı ile kimyasal olarak parlatıldı. Daha sonra, içerisinden dakikada 200 ml. kuru oksijen gazı geçirilen Griffin oksidasyon fırınında 350 dakika tutularak üzerinde oksit tabakası büyütüldü. Oksit kalınlığı, MOS kapasitesinin deneysel olarak bulunan maksimum kapasitesinden hesaplandı (9) ve 2160 Å olarak bulundu. Yüzeylerden birindeki oksit tabakası CP-4 asit karışımı ile kazındı ve üzerine Edwards vakum sistemi içinde ve 10^{-4} torr'dan daha düşük basınçta Aliminyum buharlaştırıldı. Aliminyumun omik kontak meydana getirmesini temin etmek için kristal 577°C de (10) 2 dakika ısıtıldı. Daha sonra oksit yüzeyine doğrultucu kontak meydana getirmek üzere daire şeklinde Altın buharlaştırıldı. Altın kontakın alanı mikroskop yardımı ile ölçüldü ve $A = 5.02 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ olarak bulundu.

Güç kaynağı, voltmetre, osilatör, köprü ve alıcıdan kurulan bir sistem yardımıyla MOS yapısının 4,5 MHz de ışınlamadan önce ve ışınlama hızı 60 R/dak., çalışma voltajı 150 KV ve anod akımı 5mA olan bir X-ışını tüpü ile

ışınlamalardan sonra C-V karakteristikleri ölçüldü. Denklem (2) ve (3) ün kompüter hesaplamalarından elde edilen teorik eğri ile birlikte grafiğe geçirildi (Şekil 2).

Elde edilen grafiklerden Şekil (1) de görüldüğü gibi voltaj kaymaları bulundu. Sonra Denklem (1) yardımıyla Nss yüzey enerji durumları yoğunlukları hesaplandı ve $1.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ den $6.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ye arttığı görüldü (Şekil 3).

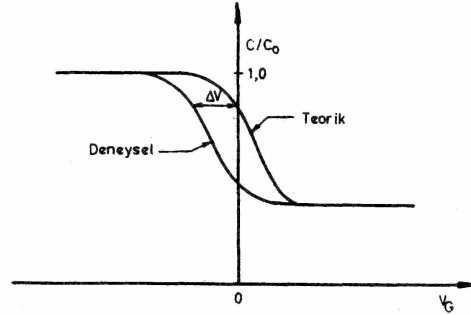
İşinlamadan önce alınan değerlerle elde edilen C-V eğrisinden hesaplanan yüzey enerji durumları yoğunluğu iyonik silisyum artığı modeliyle izah edilen sabit yüzey yükünü meydana getirir. Dolayısıyla Şekil (3) de elde edilen eğrinin düşey olarak başlangıça kaydırılması ile radyasyon yoluyla iyonize olan tuzak yoğunluğunun işinlama süresine bağlı değişimi elde edilebilir.

Şimdiye kadar yapılan araştırmalar, radyasyon yoluyla iyonize edilen tuzak yoğunluğunun 10^{12} cm^{-2} mertebesinde olduğunu göstermiştir (11). Buna göre belli bir dozdan sonra iyonize tuzak yoğunluğunun doymaya gitmesi beklenir. (Şekil 3) de elde edilen eğri bu fikri doğrulamaktadır.

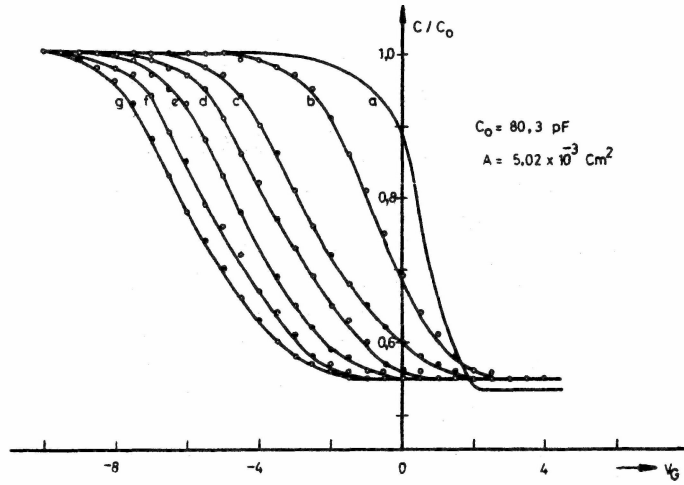
LİTERATÜR

- (1) R. HALL and J.P. WHITE, Solid-State Electronics 8, 211 (1965).
- (2) C.G.B. GARRETT and W.H. BRATTAIN, Phys. Rev. 99, 376 (1955).
- (3) R. LINDNER, Bell Tech. J. 41, 803 (1962).
- (4) A.S. GROVE, Physics and Technology of Semiconductor Devices, John Wiley and Sons, Inc., (1967).
- (5) E. KOOI, The Surface Properties of Oxidized Silicon, Cleaver-Hume Press Ltd., London (1967).
- (6) K.H. Zaininger, Appl. Phys. Letters 8, 140 (1966).
- (7) M.H. WHITE and J.R. CRICCHI, Solid-State Electronics, 9, 991 (1966).
- (8) S.M. SZE, Physics of Semiconductor Devices, Wiley-Interscience, (1969).
- (9) R.S.C. COBBOLT, Theory and Applications of Field-Effect Transistors, Wiley-Interscience, (1970).
- (10) F.J. BIONDI, ed., Transistor Technology V.III, D. Van Nostrand Company, Inc., (1958).
- (11) E.H. SNOW, A.S. GROVE and D.J. FITZGERALD, Proc. IEEE 55, 1168 (1967).

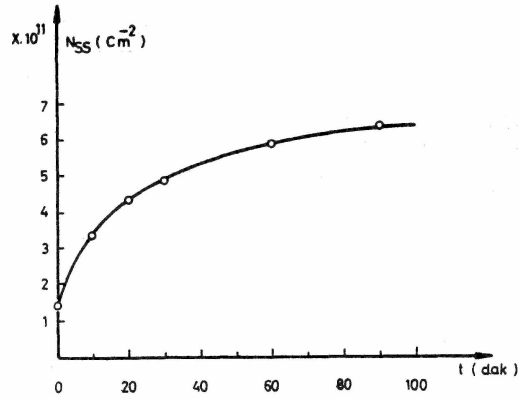
MOS (METAL-OXIDE-SEMİCONDUCTOR) YAPISINDA N YÜZEY ENERJİ DURUMLARI YOĞUNLUĞUNUN
X-IŞINLARI İLE DEĞİŞİMİ



Şekil-1: P-tipi bir MOS yapısının teorik ve deneysel C-V eğrileri ile düz band moduna karşılık gelen voltaj kayması ΔV .



Şekil-2: Okalt kalınlığı 2000 Å olan 5 ohm-cm rezistiviteli p-tipi bir Si-SiO₂-Au MOS yapısının C-V karakteristikleri. (a) Teorik, (b) ışınlamadan önce, (c) 10, (d) 20, (e) 30, (f) 60, (g) 90 dakikalık ışınlamadan sonra.



Şekil-3: Yüzey enerji durumları yoğunluğunun ışınlama süresine bağlı olarak değişimi.